

## DEFLIACIJOS EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI: KRITINIO VĖJO GREIČIO MATAVIMAI

Stasys Paškauskas, Irena Vekeriotienė

*Geologijos ir geografijos institutas, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223, Vilnius*

*El. paštas: paskauskas@geo.lt; vekeriotiene@geo.lt*

---

Paškauskas S. Vekeriotienė I. EXPERIMENTAL STUDIES OF WIND EROSION: MEASUREMENTS OF CRITICAL WIND VELOCITIES. *Annales Geographicae* 42(1-2), 2009.

**Abstract.** Based on the data of physical modelling in an air tube wind velocities inducing erosion of soils of different granulometric compositions were investigated. Three values of critical wind velocity were determined characterizing the beginning and further phases of deflation: from dislodgement of soil grains through to mass blowing out of soil.

References 21. Figs 5 Tables 2. In Lithuanian, summary in English.

**Keywords:** wind erosion of soil (deflations), critical wind velocity

Received: 15 August 2009; accepted: 27 November 2009.

---

### Įvadas

Defliacija – geomorfologinis procesas, keičiantis reljefą bei skatinantis dirvožemio degradavimą. Defliacijos metu dėl priežemio oro srauto ir dirvos paviršiaus sąveikos vyksta grunto dalelių išjudinimas, atplėšimas nuo dirvos paviršiaus, pernaša ir akumuliacija. Vėjas smulkžemį transportuoja įvairiais būdais: kripu, saltacija ir suspensija (Bagnold, 1954). Tačiau, kad prasidėtų ir vyktų išpustymas, reikalingas atitinkamų sąlygų kompleksas (Кириченко, 1985). Viena svarbiausių sąlygų – pakankamo greičio vėjas, galintis išjudinti ir transportuoti grunto daleles. Minimalus vėjo greitis, sukkeliantis dalelių judėjimą ir lemiantis defliacijos pradžią, vadinamas kritiniu vėjo greičiu ( $V_k$ ). Tai viena svarbiausių eolinio proceso struktūrinių ir dinaminių charakteristikų, atspindinčių grunto paviršiaus jautrumą vėjo poveikiui. Kritinis vėjo greitis yra bazinis parametras, figūruojantis eolinio proceso skaitmeniniuose modeliuose bei sudaromose įvairaus pobūdžio matematinėse priklausomybėse, aprašančiose defliaciją ir jos vyksmo sąlygas. Todėl, nagrinėjant eolinio proceso vyksmo ir teritorinės sklaidos dėsningumus bei su šio proceso valdymu susijusias problemas, reikalingi vyraujančių dirvožemių bei gruntų  $V_k$  duomenys.

Lietuvoje defliaciją sukkeliantys vėjo greičiai plačiai nenagrinėti. Vykstant defliacijos proceso tyrimus aerovamzdyje, buvo nustatytas velėninių jaurinių smėlio dirvožemių ir skirtingos granulometrinės sudėties (smėlio, priesmėlio, priemolio) dirvų  $V_k$  (Paškauskas, 2000; Бакшанский и др., 1987; Paškauskas ir kt., 1995). Pradinis, išpustymą sukkeliantis, vėjo greitis buvo matuojamas ir natūraliomis sąlygose (Paškauskas, 1994–1995). Sudarant potencialios defliacijos paplitimo ar intensyvumo kartoschemas neretai tenka remtis generalizuotais, apibendrinančiais, bendrusius proceso dėsningumus atspindinčiais duomenimis (Beconis ir kt., 1993; Morkūnaitė ir kt., 1989–1990; Morkūnaitė, 1994–1995).

Duomenų stoka apie šalyje vyraujančių dirvožemių bei gruntų išpustymo kritinį vėjo greitį ( $V_k$ ) apsunkina regioninių skaitmeninių defliacijos modelių sudarymą ar jau sukurtų modelių verifikaciją bei adaptaciją Lietuvos teritorijai. Be to, šie duomenys reikalingi ir projektuojant dirvų apsaugos nuo išpustymo priemones. Eolinių procesų tyrimų patirtis rodo, kad natūralioje aplinkoje atlikti  $V_k$  matavimus yra sudėtinga, todėl patogiau taikyti eksperimentinius tyrimus – modeliuoti procesus aerovamzdyje. Analizuojant vėjo greičius, sukkeliančius defliaciją,  $V_k$  tikslinga matuoti viena metodika, bent jau tiriant šiuo atžvilgiu šalyje vyraujančius dirvožemius, kartu įvertinant ir vyraujančių gruntų (pagal granulometrinę sudėtį) išpustymo galimybes, t. y.  $V_k$ .

Straipsnyje aptariamas šalyje vyraujančių velėninių jaurinių dirvožemių (jie užima daugiau kaip 60 % šalies ploto) jautrumas defliacijai  $V_k$  matavimų duomenimis. Buvo siekiama iširti, prie kokio vėjo greičio prasideda šių dirvožemių išpustymas ir kaip kinta kritinis vėjo greitis keičiantis dirvožemio granulometrinei sudėčiai.

## 1. Metodika

Defliacijos eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami su velėninių jaurinių (menkai ir vidutiniškai pajaurėjusių) dirvožemių imstais iš dirbamų laukų viršutinio ariamojo horizonto. Dirvožemių mėginiai tyrimams buvo renkami dar iki naujosios dirvožemių klasifikacijos įteisinimo. Pagal naują dirvožemių klasifikaciją (Mažvila ir kt., 2006), tirti dirvožemiai atitiktų balkšvažemius, palvažemius, smėlžemius ir kitus tipus. Anksčiau autorių surinktus dirvožemio bandinius tiksliai identifikuoti pagal naują dirvožemių klasifikaciją buvo sudėtinga, nes visa tyrimų medžiaga yra susijusi su senąja dirvožemių klasifikacija. Todėl visiškai pagrįsta D. Galvydytės kritika, kad nauja dirvožemių klasifikacija nėra tinkamai parengta ir pritaikyta praktiniam naudojimui ir kelianti daug diskusinių klausimų (Galvydytė, 2001; 2006). Atsižvelgiant į tai,  $V_k$  pokyčiai analizuoti ne pagal dirvožemių genetinę diferenciaciją, o pagal jų granulimetrinės sudėties skirtingumus. Atrinktų dirvožemio imstų granulimetrinė bei struktūrinė ir agregatinė sudėtis buvo nustatyta sauso sijojimo metodu pagal aprobuotas metodikas (Вадюнина, Корчагина, 1973). Tyrimai apėmė įvairios granulimetrinės sudėties dirvožemio imstus. Pagal smėlio, dulkių ir dumblo frakcijų kiekį (Lietuvos..., 2001) skiriamos 6 tirtų dirvožemio granulimetrinės klasės: smėlis (s), rišlus smėlis ( $s_1$ ), priemėlis (ps), smėlingas lengvas priemėlis (sp), vidutinio sunkumo priemėlis ( $p_1$ ) ir dulkiškas lengvas priemėlis (dp). Tiriamuose dirvožemiuose vyrauja smėlio dalelės, išskyrus ( $p_1$ ) ir (dp), kuriuose daugiausia dulkių ir dumblo frakcijos (1 lent.).

1 lentelė. Tirtųjų dirvožemių granulimetrinė sudėtis.

Table 1. Granulometric composition of investigated soils

Granulimetrinės klasės ir simbolis <i>Granulometric class and symbol</i>	Tekstūra / <i>Teksture, %</i>			Skeletas, % bendro svorio <i>Skeleton, % of the total weight</i>
	Smėlis / <i>Sand</i>	Dulkės / <i>Dust</i>	Dumblas / <i>Silt</i>	
Smėlis (s) / <i>Sand</i>	92,1	3,9	4,0	2,4
Rišlus smėlis ( $s_1$ ) <i>Cohesive sand</i>	81,9	11,3	6,8	4,2
Priemėlis (ps) <i>Sandy loam</i>	67,0	26,9	6,1	0,8
Smėlingas lengvasis priemėlis (sp) <i>Sandy light loam</i>	65,1	24,6	10,3	3
Vidutinio sunkumo priemėlis ( $p_1$ ) <i>Medium weight loam</i>	47,6	39,3	13,1	0
Dulkiškas lengvasis priemėlis (dp) <i>Powdery light loam</i>	38,0	50,9	11,1	0

Aerodinaminiai dirvožemių tyrimai autorių vykdyti stacionariame (laboratoriniame) atviro tipo aerovamzdyje, veikiančiame siurbimo principu. Šio prietaiso parametrai, konstrukcija, veikimo principas išsamiai aprašyti Bakšanskio ir kt. darbe (Бакшанский и др., 1987). Defliacijos proceso fizinis modeliavimas vykdytas su orausio būvio (iki 3 % drėgmės) dirvožemio imstais, juos veikiant įvairaus greičio oro srautu. Vėjo greitis matuotas 25 cm aukštyje virš bandinio paviršiaus. Eksperimento vykdymo eiga bei defliacijos matavimai atlikti pagal G. Glazunovo (Глазун, 1983), M. Kuznecovo (Кузнецов, Глазун, 1985) skelbtas metodikas bei remiantis ankstesnių tyrimų patirtimi (Paškauskas, 2000). Tyrimų metu fiksuoti trys  $V_k$  charakterizuojantys defliacijos pradžią. Dirvožemio imstų defliacijos modeliavimas pradedamas nuo mažo oro srauto greičio (1–2 m/s), kuris palaipsniui didinamas. Imsto paviršiuje pastebėjus pavienių grunto dalelių judėjimą (lėtas riedėjimas, šliaužimas, virpėjimas ir pan.), fiksuojamas oro srauto greitis. Tai atitiktų pirmąjį vėjo kritinį greitį  $V_{k1}$ , kuris sukelia pavienių dalelių judėjimą, t. y. momentą, kada dalelių rimties (statinė) būseną pakeičia dinaminė. Defliacijos pradžia fiksuojama vizualiai, nes instrumentiškai fiksuoti labai silpną išpustymą techniškai neįmanoma.  $V_{k1}$  žymi vėjo

greičio ribą tarp prasidedančio dalelių išpustymo ir jų nepustymo. Šis dydis savo prasme ir skaitine išraiška artimas kitų tyrėjų (Глазунов, 1983) nustatytam, dar nepajėgiančiam išpustyti dalelių, vėjo kritiniam greičiui.

Didėjant vėjo greičiui, defliacijos intensyvumas taip pat didėja, ir jį jau galima fiksuoti instrumentiškai. Esant išpustymui  $10^{-3} \text{ kg} \cdot 0,1 \text{ m}^{-2} \cdot 60 \text{ sek.}^{-1}$  fiksuojamas antrasis vėjo kritinis greitis  $V_{k2}$ . Šis dydis žymi silpnos defliacijos pradžią, kuri ilgainiui, nedidėjant vėjo greičiui, gali nuslopti. Išjudinamas gruntas transportuojamas ne tik kripo būdu, bet prasideda ir dalelių saltacija. Su kai kuriomis išlygomis galima teigti, kad  $V_{k2}$  atspindi dalelių saltacijos pradžią. Anksčiau skelbtuose darbuose (Бакшанский и др., 1987; Morkūnaitė ir kt., 1989–1990) defliaciją sukeliantis vėjo kritinis greitis taip pat buvo matuojamas esant fiksuotam proceso intensyvumui, t. y. analogiškam, kaip ir nustatant  $V_{k2}$ . Tai leidžia atlikti šių duomenų lyginamąją analizę, daryti apibendrinimus apie dirvožemių jautrumą defliacijai, sklaidos ypatybes ir pan.

Eksperimentą tęsiant ir didinant vėjo greitį, proceso pobūdis, pasiekus vėjui tam tikrą greitį, pasikeičia – prasideda masinis, lavinos pobūdžio, dalelių nupustymas ir pernaša nuo paviršiaus. Vėjo greičio padidėjimą ir defliacijos intensyvumą sieja jau nebe tiesinė priklausomybė, o laipsninė funkcija. Proceso kokybinius ir kiekybinius pokyčius žymi trečiasis vėjo kritinis greitis  $V_{k3}$ , atspindintis grunto dalelių masiško išpustymo pradžią. Šis greitis apskaičiuojamas remiantis eksperimento duomenimis, pasitelkus antrąją defliacijos intensyvumo išvestinę pagal vėjo greitį (Глазунов, 1983; Кузнецов, Глазунов, 1985).

Empiriniai vėjo kritinio greičio matavimų duomenys buvo palyginti su teoriniais ( $V_{t1}$ ), apskaičiuotais Bagnoldo lygtimi (Bagnold, 1954).

Matuotieji vėjo kritiniai greičiai ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ ) atspindi defliacijos pradžios (vystymosi) atitinkamas fazes: pavienių grunto dalelių išjudinimą, epizodinį grunto išpustymą ir saltacijos pradžią bei masinį (lavininį) smulkožemio išpustymą.

## 2. Tyrimų rezultatai

Dirvožemio defliacijos tyrimuose vėjo kritinis greitis nustatomas tiesioginiais matavimais, procesui vykstant natūralioje aplinkoje, modeliuojant išpustymą aerovamzdyje, arba jis apskaičiuojamas matematiškai empirinėmis, pusiau empirinėmis ar teorinėmis lygtimis.

### 2.1. $V_k$ fizinio modeliavimo duomenimis

Įvairių frakcijų dalelių defliacijos tyrimai parodė, kad mažiausias vėjo greitis yra reikalingas išjudinti 0,08–0,12 mm skersmens smiltis (Кузнецов, Глазунов, 1985; Bagnold, 1954; Смирнова, 1985). Tokio dydžio dalelių yra visuose tirtųjų dirvožemių imstuose, todėl tikėtina, kad jų pirmasis kritinis vėjo greitis ( $V_{k1}$ ) bus labai panašus. Tačiau aerodinaminiai tyrimai parodė, kad pirmieji išpustymo požymiai atsiranda esant platokai oro srauto greičio amplitudei: 4,1–7,0  $\text{ms}^{-1}$ . Pirmieji defliacijos požymiai atsiranda smėlio bei priemolio dirvose. Ženkli  $V_{k1}$  svyravimo amplitudė – 2,9  $\text{ms}^{-1}$  sietina su defliacijai neatspariausių dalelių (~ 0,1mm skersmens) nevienodu paplitimu imstų paviršiuje bei netolygiu paviršiaus šiurkštumu, kuri lemia stambesnių (>0,5–1 mm) struktūrinių agregatų kiekis bei pasiskirstymas.

Lengviausiai išjudinamos smėlingo dirvožemio dalelės ( $V_{k1} < 5,0 \text{ ms}^{-1}$ ). Smulkėjant ir sunkėjant dirvožemio granulometrinei sudėčiai, nustatytos  $V_{k1}$  didėjimo tendencijos. Tačiau apibendrinus  $V_{k1}$  duomenis pagal dalelių granulometrines klases, matyti, kad šį sąryšį vadinti dėsningu galima tik su kai kuriomis išlygomis, nes tirtų bandinių granulometrinės sudėties pokyčių tolygi seka (1 lent.) nėra adekvati analogiškai  $V_{k1}$  sekai (2 lent.). Bene labiausiai išsiskiria dp dirvožemiai, kurie jautrumu defliacijai (pagal  $V_{k1}$ ) artimesni smėlio, o ne priemolio dirvoms. Kai kurie tyrėjai (Morkūnaitė, 1994–1995) teigia, kad defliacijos intensyvumas priemolio dirvožemiuose gali būti net 4 kartus didesnis lyginant su priemoliais. Šio straipsnio autorių manymu, tokie dideli skirtumai nelabai tikėtini, ypač Lietuvos dirvožemiuose, kurių dirvodarinės uolienos sąlyginai dar jaunos, juolab kad publikuoti duomenys rodo, kad, vėjo greičiui viršijus kritinį, vis dėlto intensyviau išpustomi priemoliai, o ne priemoliai (Paškauskas ir kt., 1995). Granulometrinės sudėties ir ( $V_{k1}$ ) sąryšio dėsningumas „sujaukia“ ir ps gruntai, kurių  $V_{k1}$  reikšmės turėtų užimti tarpinę padėtį tarp smėlių ir priemolių, tačiau jos yra mažiausios ir ps yra neatspariausi defliacijai. Remiantis  $V_{k1}$  matavimų duomenimis, pagal atsparumą defliacijai (didėjančia tvarka) skirtingos gra-

nuliometrinės sudėties dirvožemiai išsidėsto taip: ps → s<sub>1</sub> → s → dp → p<sub>1</sub> → sp. Vidutinis V<sub>k1</sub> greičio pokytis tarp gretimų granulometrijos klasių yra ± 0,6 ms<sup>-1</sup>, o skaičiuojant vidutinį V<sub>k1</sub> visų tirtųjų dirvožemių imstų, gaunama 5,2 ms<sup>-1</sup>.

Taigi šie nuokrypiai nuo bendros pokyčių tendencijos gali būti sietini su dirvodariinių uoliučių geneze, dirvodaros procesais, gruntų mineralogine sudėtimi ir kt. savybėmis, nes analizuojant struktūrinių agregatų ar granulometrinių frakcijų įtaką V<sub>k1</sub>, reikšmingų ryšių nenustatyta.

**2 lentelė.** Skirtingos granulometrijos dirvožemių kritinio vėjo greičiai

**Table 2.** Critical wind velocities for soils of different granulometric composition

Dirvožemio granulometrija Granulometric composition of soil	Kritinio vėjo greičiai, ms <sup>-1</sup> Critical wind velocities, ms <sup>-1</sup>		
	V <sub>k1</sub>	V <sub>k2</sub>	V <sub>k3</sub>
Smėlis (s) Sand	4,9	6,4; 5,4*	7,4
Rišlus smėlis (s <sub>1</sub> ) / Cohesive sand	4,7	6,4; 5,3*	7,8
Priesmėlis (ps) Sandy loam	4,4	5,7; 6,1*	7,3
Smėlingas lengvasis priemolis (sp) Sandy light loam	6,3	7,2	9,5
Vidutinio sunkumo priemolis (p.) Medium weight loam	6,1	7,7; 7,7*	10,4
Dulkiškas lengvasis priemolis (dp) Powdery light loam	5,2	8,3	10,6

\* - duomenys pagal: Бакшанский и др., 1987 / Source: Бакшанский и др., 1987

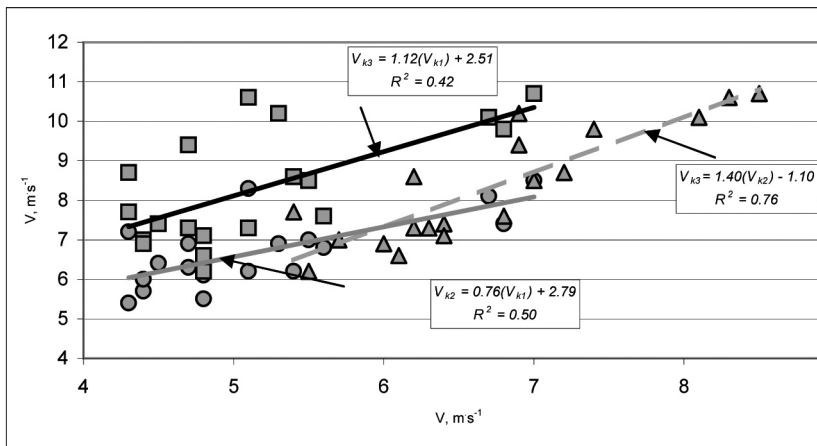
Padidėjus vėjo greičiui (0,6–3,3 ms<sup>-1</sup>), defliacijos intensyvumas išauga iki 10<sup>-3</sup> kg·0,1m<sup>-2</sup>·60 sek.<sup>-1</sup> ir fiksuojamas kitoks vėjo kritinis greitis (V<sub>k2</sub>). Vidutinis vėjo greičio padidėjimas, lyginant su V<sub>k1</sub>, tesiekia 1,5 ms<sup>-1</sup>. Truputį pasikeičia dirvožemio granulometrijos klasių pagal jautrumą defliacijai seka: dp ir sp pasikeičia vietomis, ir nesąryšis tarp granulometrinės sudėties ir V<sub>k2</sub> sumažėja. Ankstesnių tyrimų (Бакшанский и др., 1987) duomenys tokio ps „išsišokimo“ nerodo, t. y. jie pagal V<sub>k2</sub> dydį išiterpia tarp smėlių ir priemolių (2 lent.). Pažymėtina, kad V<sub>k2</sub> svyravimo amplitudė yra platesnė negu V<sub>k1</sub> tiek lyginant visų bandinių duomenis, tiek granulometrijos klasės ribose (atitinkamai 3,1 ms<sup>-1</sup> ir 2,6 ms<sup>-1</sup>). Vidutinis V<sub>k2</sub> greičio skirtumas, pereinant iš vienos granulometrinės klasės į kitą, išlieka panašus kaip ir (V<sub>k1</sub>), t. y. ±0,7 ms<sup>-1</sup>, o visų tirtų imstų vidutinis V<sub>k2</sub> padidėja iki 6,7 ms<sup>-1</sup>, t. y. jis 1,3 karto didesnis lyginant su ankstesniuoju V<sub>k1</sub>. Kitų tyrėjų duomenimis (Бакшанский и др., 1987), epizodinė defliacija smėlio dirvožemiuose prasideda prie silpnėsių vėjų, o priesmėlio – prie stipresnių, lyginant su autorių atliktų tyrimų rezultatais. Tačiau matyti, kad šie skirtumai nėra dideli, išlieka panašūs ir V<sub>k2</sub> kaitos dėsningumai, keičiantis dirvožemio granulometrijai (2 lent.).

Tęsiant eksperimentą prie didesnių vėjo greičių, defliacijos pobūdis ir intensyvumas keičiasi. Šiuos pokyčius žymi kritinis greitis V<sub>k3</sub>, kuris, lyginant su V<sub>k2</sub>, vidutiniškai padidėja 1,3 karto. Smėlio, priesmėlio dirvožemiuose aktyvus išpustymas prasideda greičiau, nes vėjo greičio padidėjimas mažesnis (iki 1,5 ms<sup>-1</sup>), lyginant su priemoliais, kuriuose defliacijos pobūdis pasikeičia padidėjus vėjo greičiui – esant daugiau kaip 2 ms<sup>-1</sup>. Didesni V<sub>k3</sub> skirtumai (vidutiniai) ir tarp gretimų granulometrijos klasių: ± 0,8 ms<sup>-1</sup>. Vidutinė V<sub>k3</sub> reikšmė, visų imstų tyrimų duomenimis, lygi 8,3 ms<sup>-1</sup>.

Tarp nustatytų vėjo kritinių greičių ryškėja nevienodo glaudumo ryšiai – tiesinės priklausomybės. Eksperimentiniais matavimais nustačius vieną iš vėjo kritinių greičių, kitus vėjo kritinius greičius galima apskaičiuoti šios tiesinės regresijos lygtimis (1 pav.). Tiesa, statistiniu požiūriu šie ryšiai vertinami kaip patenkinami, tad ir apskaičiuotų vėjo kritinių greičių patikimumą reikėtų vertinti atitinkamai.

Defliacijos fizinio modeliavimo duomenys rodo, kad vėjo greičių santykis nuo defliacijos užuomazgos (V<sub>k1</sub>) iki masiško smulkžemio išpustymo pradžios (V<sub>k3</sub>) svyruoja nuo 1,51–1,66 smėlio ir priesmėlio dirvožemių, iki 1,70–2,04 priemolių, vidutinis santykis (V<sub>k3</sub>/V<sub>k1</sub>) – 1,68. Panašius skaičius pateikia ir kiti autoriai, tyrinėję įvairesnius genetiniu ir granulometriniu atžvilgiu dirvožemius (Глазунов, 1983; Кузнецов, Глазунов, 1985; Смирнова, 1985; Гендугов, Глазунов, 2007). Sprendžiant praktinius klausimus, pavyzdžiui, vertinant

dirvožemių atsparumą išpustymui, pasirenkant ir projektuojant apsaugos priemones defliacijai pavojingose teritorijose ar skaičiuojant potencialios defliacijos apimtis bei nuostolius, tikslinga orientuotis į  $V_{k3}$  duomenis.



1 pav. Ryšys tarp kritinio vėjo greičių ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ )  
Fig. 1. Relationship between critical wind velocities ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ )

## 2.2. $V_k$ matematinio skaičiavimo duomenimis

Žinoma, kad įvairaus dydžio grunto daleles išjudinti ir transportuoti oru gali tik atitinkamo greičio vėjas. Šį kritinį vėjo greitį galima apskaičiuoti remiantis įvairiomis empirinėmis ar pusiau empirinėmis priklausomybėmis, atsižvelgiant į žinomus proceso vyksmo dėsningumus. Teoriškai šį klausimą bene geriausiai išsprendė R. Bagnoldas. Remdamasis dalelę veikiančių priešingų jėgų balansu, jis pasiūlė paprastą lygtį (Bagnold, 1954). Vėliau ši lygtis ne kartą buvo tobulinama, modifikuojama, tačiau iš esmės ji nepasikeitė (Chepil, 1959; Shao, Lun, 2000; Глазунов, 1983). Šio straipsnio autoriai tiriamųjų dirvožemių kritinio vėjo greičio teorinius skaičiavimus atliko taikydami Bagnoldo lygtį (Bagnold, 1954):

$$V_{*t} = A \cdot [((Q_s - Q_a)/Q_a) \cdot g \cdot d_e]^{0.5},$$

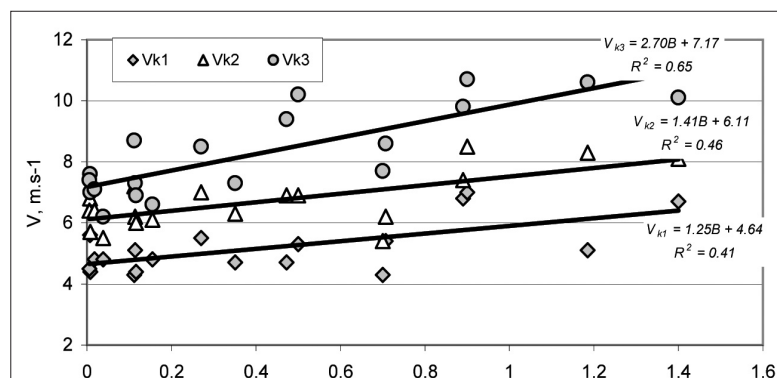
čia  $A$  – empirinis koeficientas;  $Q_s$  – dalelių tankis;  $Q_a$  – oro tankis,  $g$  – gravitacijos konstanta;  $d_e$  – vidutinis grunto dalelių skersmuo.

Remiantis Bagnoldo atliktais vienodo dydžio dalelių tyrimais, koeficientas  $A$  svyruoja 0,085–0,18 ribose, vidutinis – 0,118 (Bagnold, 1954). Skaičiuojant mišrios sudėties gruntu kritinį vėjo greitį, taikomos aukštesnės koeficiento  $A$  reikšmės. Pavyzdžiui, Glazunovo (Глазунов, 1983) ir kitų tyrėjų darbuose (Смирнова, 1985; Гендугов, Глазунов, 2007), kuriuose vertinamas įvairių dirvožemių atsparumas defliacijai,  $A$  nurodomas lygus 2,4. Tokia pati  $A$  reikšmė taikyta ir šiuose tyrimuose, tačiau apskaičiuotieji kritiniai vėjo greičiai ženkliai skyrėsi (iki 75 %), lyginant su eksperimentinių tyrimų duomenimis, todėl koeficientas  $A$  buvo pakoreguotas. Autorių atliktų tyrimų duomenimis, tiriamųjų dirvožemių  $A$  kinta 1,7–4,0 ribose. Šio koeficiento reikšmės iš dalies susijusios su granulimetrinės sudėties pokyčiais, t. y. grunte daugėjant smulkių frakcijų (dulkių ir dumblo), akivaizdžios  $A$  mažėjimo tendencijos (toks sąryšis apima apie 40–45 % visų atvejų) ir atvirkščiai didėjant smėlio dalelių kiekiui, ( $A$ ) taip pat didėja (30% visų atvejų). Atsižvelgiant į tai, skaičiuojant vėjo kritinį greitį ( $V_{*t}$ ) Bagnoldo formule, autoriai siūlo diferencijuoti empirinio koeficiento ( $A$ ) reikšmes: smėlio ir priemolio dirvožemiams taikyti  $A = 2,83$ , o įvairaus sunkumo priemoliams  $A = 1,95$ . Atlikus skaičiavimus su šiomis  $A$  reikšmėmis ( $V_{*t}$ ), paklaidos tarp matematiškai apskaičiuotojo ir eksperimentiškai nustatyto vidutinio dydžio sudarė 8,5 %. Nuokrypių pobūdis nėra vienareikšmis, nes apskaičiuotosios kritinio vėjo greičio reikšmės buvo ir didesnės, ir mažesnės, lyginant su eksperimento duomenimis. Didesnės paklaidos gaunamos skaičiuojant smėlio ir priemolio dirvožemių  $V_{*t}$  (vidutinis – 11,3 %), o priemolio sudaro tik 2,5 %. Tyrimų rezultatai rodo, kad turint dirvožemių agregatinės sudėties duomenis, pakankamai tiksliai kritinį vėjo greitį galima apskaičiuoti plačiai žinoma ir nesudėtinga R. Bagnoldo formule.

### 2.3. $V_k$ ryšis su dirvožemio savybėmis

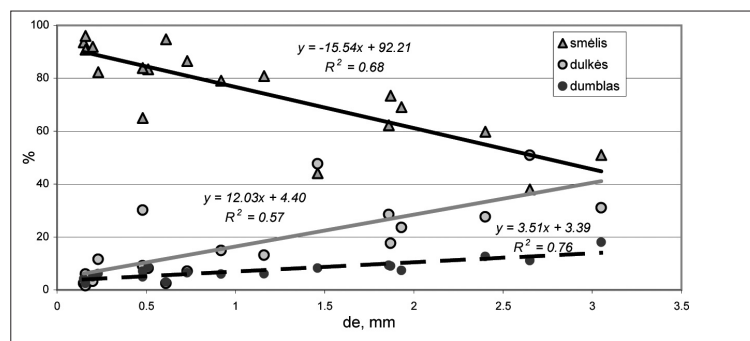
Defliacijos fiziniu modeliavimu nustatyti dirvožemių  $V_k$  gerokai svyruoja – nuo 4,1 m/s iki 10,7 m/s (imant mažiausio –  $V_{k1}$  ir didžiausio –  $V_{k3}$  reikšmes).  $V_k$  skirtumai sietini su tiriamų gruntų geneze, jų fizinėmis, cheminėmis savybėmis. Pradiniame defliacijos etape svarbus vaidmuo tenka dirvožemio agregatinės struktūros sudėčiai (Chepil, 1959; Смирнова, 1985; Кузнецов, Глазун, 1985). Struktūrinių agregatų įtaka defliacijai išreiškiama per įvairius integralius rodiklius. Vienas jų – defliacijai santykinai atsparių (>1 mm) ir neatsparių (<1 mm) agregatų santykis (B). Šis santykis iš dalies atspindi ir paviršiaus grumstėtumą, t. y. kuo jis didesnis, tuo paviršius šiurkštesnis ir kartu atsparesnis vėjo poveikiui. Tą rodo ir tyrimų duomenys: didėjant B reikšmei, auga ir kritinis vėjo greitis. Ši sąsaja išreiškiama tiesinėmis priklausomybėmis, kurių koreliacija gerėja didėjant vėjo greičiui (2 pav.). Kitas agregatinės struktūros integralus rodiklis – agregatų vidutinis skersmuo (de), iš kurio reikšmių taip pat galima spręsti apie grunto paviršiaus šiurkštumą, jautrumą defliacijai. Analizuojamų dirvožemių agregatinės struktūros tyrimai parodė, kad de mažiausias smėlio bandinių

– 0,034 cm, o didžiausi struktūriniai agregatai susidaro dulkiško priemolio dirvose – jų vidutinis de lygus 0,26 cm. Vidutinio skersmens de pokyčius lemia ir dirvožemio granulometrinė sudėtis. Ši įtaka nėra vienareikšmė, nes esami duomenys rodo, kad smėlio dalelių įtaka agregatų formavimuisi yra dezintegruojanti.

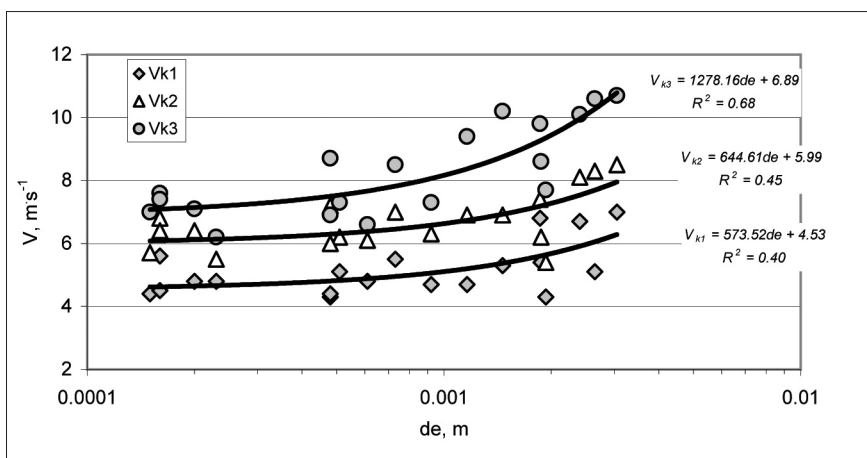


2 pav. Kritinio vėjo greičių ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ ) ryšys su dalelių dydžio >1mm/<1mm santykiu (B)  
Fig. 2. Relationship between critical wind velocities ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ ) and ratio >1mm/<1mm of grain size

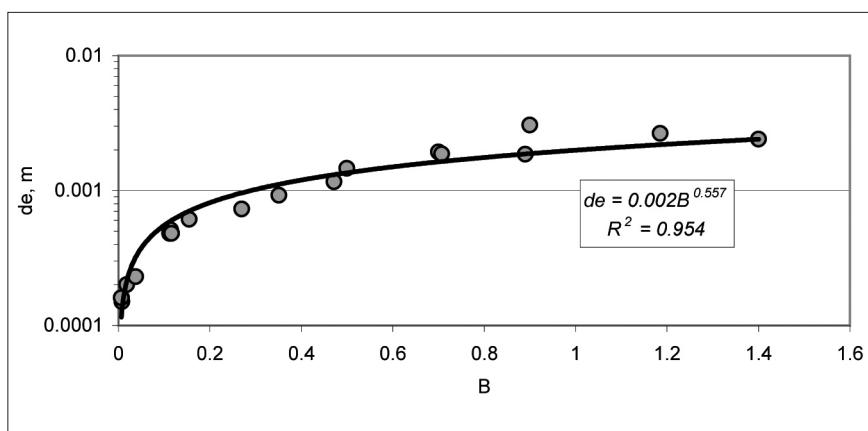
Priešingai veikia dulkių bei dumblo frakcijos, kurios skatina dirvos struktūrinių agregatų susidarymą ir didėjimą. (3 pav.). Kritinio vėjo greičio  $V_k$  santykį su de geriausiai aproksimuoja tiesinės priklausomybės. Pažymėtina, kad koreliaciniai ryšiai de ir B su  $V_k$  – beveik identiški (2, 4 pav.), ir tai yra dėsninga, nes šie rodikliai yra glaudžiai susiję (5 pav.). Būdinga tai, kad paviršiaus grumstėtumo vaidmuo defliacijai išauga, prasidėjus masiniam dalelių išpustymui ir jo įtaka aiškiai didėja, augant vėjo greičiui. Tačiau tai nereiškia, kad dėsningai didėja ir į oro srautą įtraukiamų dalelių dydis. Nustatyta, kad eolinių nešmenų vidutinis skersmuo turi tendenciją mažėti didėjant pustomo paviršiaus grumstėtumui (Chepil, Milne, 1941; Смирнова, 1985).



3 pav. Dirvožemio struktūrinių agregatų (de) ryšys su granulometrine sudėtimi (smėlio, dulkių, dumblo frakcijomis)  
Fig. 3. Relationship between structural aggregates of the soil (de) and granulometric composition (sand, dust, silt fractions)



4 pav. Kritinio vėjo greičių ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ ) ryšys su dirvožemio agregatų vidutiniu skersmeniu ( $d_e$ ).  
 Fig. 4. Relationship between the critical wind velocities ( $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ ,  $V_{k3}$ ) and average diameter of soil aggregates ( $d_e$ )



5 pav. Ryšys tarp dirvožemio struktūrinių agregatų vidutinio skersmens ( $d_e$ ) ir santykio  $B$  (>1mm/<1mm).  
 Fig. 5. Relationship between the average diameter of structural soil aggregates ( $d_e$ ) and ratio  $B$  (>1mm/<1mm)

## Išvados

1. Defliacijos pradžia apibūdinama trimis kritinio vėjo greičiais, atspindinčiais atitinkamas proceso fazes: pavienių dalelių išjudinimą ( $V_{k1}$ ), epizodinio išpustymo ir saltacijos pradžią ( $V_{k2}$ ), masiško dalelių išpustymo (intensyvios defliacijos) pradžią ( $V_{k3}$ ).

2 Intensyvi defliacija smėlio ir priemolio dirvožemiuose prasideda esant vėjo greičiui ( $V_{k3}$ ) 7,3–7,8  $\text{ms}^{-1}$ , o priemolio dirvose – 9,5–10,6  $\text{ms}^{-1}$ .

3. Tarp nustatytų kritinio vėjo greičių ( $V_{k1}$ – $V_{k3}$ ) egzistuoja statistškai patikima koreliacija, o vėjo greičių, kintančių nuo defliacijos užuomazgą sukeliančio ( $V_{k1}$ ) iki masiško smulkožemio išpustymo pradžios ( $V_{k3}$ ), santykis kinta 1,51–2,04 ribose, vidutinis lygus 1,68.

4. Defliacijos tyrimuose, turint dirvožemių agregatinės sudėties duomenis, kritinį vėjo greitį galima apskaičiuoti Bagnoldo kritinio vėjo greičio lygtimi. Patikimi rezultatai gaunami diferencijuotai taikant šios lygties empirinio koeficiento ( $A$ ) reikšmes: smėlio ir priemolio dirvožemių  $A = 2,83$ , priemolio  $A = 1,95$ .

5. Kritinio vėjo greičio kaita didele dalimi priklauso nuo dirvožemių granulometrijos, agregatinės struktūros integralių rodiklių, vidutinio dalelių skersmens ( $d_e$ ),  $r = 0,64$ – $0,82$  ir struktūrinių agregatų santykio ( $B > 1\text{mm}/<1\text{mm}$ ),  $r = 0,64$ – $0,81$ .

## Literatūra

- Bagnold R. A.** 1954. The Physics of blown sand and desert dunes. London: Chapman and Hall, 265 p.
- Beconis M.**, Minkevičius V., Morkūnaitė R., Paškauskas S., Račinskas A., Vekeriotienė I. 1993. Lietuvos dirvožemių vertinimas ir kartografavimas defliaciniu požiūriu. *Geografija*, Nr. 29, p. 72–77.
- Chepil W. S.**, Milne R. A. 1941. Wind erosion of soils in relation to size and nature of exposed area. *Scientific Agriculture*, Vol. 21, No. 8. p. 479–487.
- Chepil W. S.** 1959. Equilibrium of soil grain the threshold of movement by wind. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Vol. 23, p. 422–428.
- Galvydytė D.** 2001. Senosios Lietuvos dirvožemių klasifikacijos papildymai ir pataisymai. *Geografija*, Nr. 37(1), p. 5–16.
- Galvydytė D.** 2006. Nauja Lietuvos dirvožemių klasifikacija: lyginamoji kritinė analizė. *Annales Geographicae*, Nr 39(1), p. 53–58.
- Lietuvos dirvožemiai.** 2001. A. Liekis (sud. ir red.). *Lietuvos mokslas*, 31 kn. Vilnius, 1244 p.
- Mažvila J.**, Vaičys M., Buivydaitė V. 2006. Lietuvos dirvožemių makromorfologinė diagnostika. Lietuvos žemdirbystės institutas, Akademija, 283 p.
- Morkūnaitė R.**, Paškauskas S., Račinskas A., Vekeriotienė I. 1989–1990. Dirvožemio defliacijos veiksniai ir dėsningumai Pajūrio žemumoje. *Geografijos metraštis*, Nr. 25–26, p. 98–107.
- Morkūnaitė R.** 1994–1995. Svarbiausi Lietuvos dirvožemių defliacijos veiksniai ir jos prognozė. *Geografijos metraštis*, Nr. 28, p. 122–134.
- Paškauskas S.** 1994–1995. Dirvožemių defliacija Lietuvos pajūrio žemumoje. *Geografijos metraštis*, Nr. 28, p. 104–121.
- Paškauskas S.**, Minkevičius V., Vekeriotienė I. 1995. Defliacija moreninės lygumos landšafte. *Geomorfologija*, p. 111–124.
- Paškauskas S.** 2000. Menkai pajaurėjusių velėninių jaurinių smėlio dirvožemių jautrumas defliacijai. *Geografijos metraštis*, Nr. 33, p. 237–243.
- Shao Y. P.**, Lu H. 2000. A simple expression for wind erosion threshold friction velocity. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105 (D17), p. 22437–22443.
- Бакшанский В. И.**, Моркунайте Р. В., Рачинскас А. С. 1987. Дефляционные свойства почв Литовской ССР. Тр. АН Литовской ССР, сер. Б(162), с. 143–149.
- Вадюнина А. Ф.**, Корчагина З. А. 1973. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. Москва: Агропромиздат, 416 с.
- Гендугов В. М.**, Глазунов Г. П. 2007. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха. Москва, Издательская группа URSS, 240 с.
- Глазунов Г. П.** 1983. Критическая скорость ветра как показатель противодефляционной стойкости почв. *Почвоведение*, No. 3, с. 112–118.
- Кириченко М. Д.** 1985. Причины и факторы ветровой эрозии почв. Эрозия почв и научные основы борьбы с ней. Москва, с. 124–132.
- Кузнецов М. С.**, Глазунов Г. П. 1985. Эрозия почв. Москва: МГУ, 91 с.
- Смирнова Л. Ф.** 1985. Ветровая эрозия почв. Москва: МГУ, 136 с.



**Stasys Paškauskas, Irena Vekeriotienė**  
**Experimental Studies of Wind Erosion: Measurements**  
**of Critical Wind Velocities**

*Institute of Geology & Geography, Vilnius*  
*E. mail: paskauskas@geo.lt; vekeriotiene@geo.lt*

### Summary

Wind erosion (deflation) is a geomorphological process transforming the landforms and stimulating soil degradation. Wind erosion is generated and predetermined by a complex of different conditions among which wind velocity, able to move and transport soil grains, is the most important one. The minimal wind velocity initiating grain movement and beginning of wind erosion is called critical wind velocity. It is one of the major characteristics of aeolian process which is determined by different investigation methods.

Based on the data of wind erosion modelling in aero tube, the author analyses critical wind velocities causing wind erosion in soils of different granulometric composition (from sand to powdery light loam). Three values of critical wind velocity have been distinguished reflecting the starting phases of wind erosion: dislodgement of solitary soil grains ( $V_{k1}$ ), sporadic blowing out, beginning of saltation ( $V_{k2}$ ), and mass blowing out of fine-grained soil (beginning of intensive wind erosion) ( $V_{k3}$ ). Dislodgement of solitary soil grains begins at wind velocity ( $V_{k1}$ ) 4.1–7.0  $\text{ms}^{-1}$ . Deflation begins first in sand, sandy loam ( $V_{k1} = 4.1\text{--}5.0 \text{ms}^{-1}$ ) and powdery light loam soils ( $V_{k1} = 4.7\text{--}5.2 \text{ms}^{-1}$ ). Stronger winds ( $V_{k1} = 6.3\text{--}7.0 \text{ms}^{-1}$ ) are necessary for dislodgement of grains of light and medium-weight loams.

Sporadic blowing out and saltation begins when wind velocity exceeds  $V_{k1}$  by 1.5  $\text{ms}^{-1}$  on the average. The average  $V_{k2}$  ranges from 5.7–6.4  $\text{ms}^{-1}$  in sands and loams to 8.3  $\text{ms}^{-1}$  in powdery light loams. An intensive mass blowing out of soil grains begins at wind velocity 6.6–10.9  $\text{ms}^{-1}$ . The average  $V_{k3}$  for sand and sandy loam is 7.3–7.8  $\text{ms}^{-1}$  and for loam it must reach 9.5–10.6  $\text{ms}^{-1}$ . The ratio between the critical wind velocities at the initial stage ( $V_{k1}$ ) of wind erosion and intensive blowing out of fine-grained soil ( $V_{k3}$ ) ranges within 1.51–2.04; the average value is 1.68.

The mathematical calculations of critical wind velocities ( $V_{*i}$ ) using Bagnold formula based on the data of aggregate soil structure yields correct results and can be used for investigations of soil deflation in Lithuania. Yet the value of empirical coefficient ( $A$ ) should be corrected because the  $A$  values suggested by other authors yield marked deviations from the results of experimental studies. The following values of empirical coefficient ( $A$ ) have been determined by experimental studies of wind erosion:  $A = 2.83$  for sand and sandy loam and  $A = 1.95$  for loam. Reliable results about soil deflation in Lithuania are obtained by differentiated application of the values of empirical coefficient ( $A$ ) in the Bagnold formula (the average error of critical wind velocity is 8.5 %).

The relationship between the values of critical wind velocity and structural elements of aggregates (fractions) is insignificant and statistically unreliable. The interdependence between the critical wind velocity and integral indices of aggregate structure has been determined using linear regression equations for the latter. The variations of critical wind velocity values depend on the indices of granulometric composition of soils, i.e. integral indices of aggregate structure: average grain diameter ( $d_e$ ),  $r = 0.64\text{--}0.82$ , and ratio of structural aggregates ( $B > 1\text{mm}/< 1\text{mm}$ ),  $r = 0.64\text{--}0.81$ .