

# Dirvožemio terminis režimas Lietuvoje

Viktorija Mačiulytė,

Egidijus Rimkus

Vilniaus universitetas,  
M. K. Čiurlionio g. 21, LT-03101 Vilnius  
El. paštas: viktorija.maciulyte@gf.vu.lt;  
egidijus.rimkus@gf.vu.lt

Mačiulytė V., Rimkus E. Dirvožemio terminis režimas Lietuvoje. *Geologija. Geografija*. 2016. T. 2(1). ISSN 2351-7549.

Tyrimo tikslas – išnagrinėti dirvožemio temperatūros režimą bei sąsajas su oro temperatūra ir sezoninio dirvožemio įšalo rodikliais Lietuvos teritorijoje. Tyrime panaudoti 17 Lietuvos meteorologijos stočių išmatuoti dydžiai. Analizuojama dirvožemio temperatūros iki 3,2 m gylio kaita per metus (1981–2010), daugiametės kaitos tendencijos (1961–2010), dirvožemio temperatūros ryšys su oro temperatūra bei maksimaliu įšalo gyliu ir trukme. Nustatyta, kad dirvožemio temperatūra glaudžiai koreliuoja su oro temperatūra, o gilesniuose sluoksniuose temperatūros svyravimai vėluoja paviršiaus atžvilgiu. Analizuojamuoju laikotarpiu greičiausiai augo vidutinė metinė paviršiaus temperatūra (vidutiniškai 0,4 °C per dešimtmetį), o gilesniuose dirvožemio sluoksniuose šis dydis kito nuo 0,26 (0,2 m gylyje) iki 0,29 °C per dešimtmetį (0,8 m gylyje). Teigiami statistiškai reikšmingi pokyčiai visoje Lietuvos teritorijoje dirvožemio paviršiuje nustatyti balandžio mėn., o didesnėje jos dalyje – gegužę, liepą ir rugpjūtį. Neigiami statistiškai nereikšmingi pokyčiai beveik visoje Lietuvoje užfiksuoti spalį, o birželį – pusėje šalies teritorijos. Gilesniuose sluoksniuose fiksuojami tik teigiami temperatūros pokyčiai, kurių absoliuti dauguma yra statistiškai reikšmingi. Dirvožemio įšalo rodikliai priklauso nuo šalčio laikotarpio (lapkričio–balandžio) oro temperatūros. Augant šalčio sezono oro temperatūrai, įšalo trukmė 1961–2010 m. visoje šalies teritorijoje statistiškai reikšmingai sumažėjo (vidutiniškai 9 dienomis per dešimtmetį). Vidutinis maksimalus įšalo gylis taip pat sumažėjo (vidutiniškai 8 cm per dešimtmetį), o daugumoje meteorologijos stočių pokyčiai yra statistiškai reikšmingi.

**Raktažodžiai:** dirvožemio temperatūra, sezoninis dirvožemio įšalas, klimato pokyčiai

## ĮVADAS

Paklotinis paviršius yra labai svarbus klimato sistemos komponentas (Luo ir kt., 2003), o dirvožemis, kaip viena iš pagrindinių paviršiaus dalių, aktyviai sąveikauja su atmosfera, biosfera ir hidrosfera. Vienas iš dirvožemį apibūdinančių rodiklių yra jo paviršiaus ir paviršinio sluoksnio temperatūra. Dirvožemio terminis režimas priklauso nuo jo fizinių savybių, granulimetrinės sudėties, drėgmės kiekio ir kt. (Galvonaitė ir kt., 2007). Taip pat dirvožemio temperatūra priklauso nuo Saulės spinduliuotės intensyvumo, šiltų ar šaltų oro masių advekcijos.

Dirvožemio temperatūra daro įtaką daugeliui svarbių procesų, vykstančių gamtoje (Lehnert, 2014). Nuo dirvožemio temperatūros priklauso biocheminiai procesai, tokie, kaip ištirpusios organinės anglies pernešimas (Haei ir kt., 2010). Nustatyta, kad dirvožemio temperatūra turi ryšį su CO<sub>2</sub> ir NO<sub>2</sub> emisija: šylant dirvožemiui šių dujų išskyrimas į atmosferą didėja. Taigi šis efektas tampa teigiamu grįžtamuoju ryšiu klimato sistemoje (Haei ir kt., 2013; Lu, Xu, 2014; Albergel ir kt., 2015).

Dirvožemio terminis režimas itin svarbus rodiklis žemės ūkiui. Vidutinėse ir aukštosiose platumose augalams svarbus vasarą dirvožemyje sukaupiamas šilumos kiekis, o rudenį ir žiemą – įšalo

gylis bei sniego dangos storis. Dirvožemio temperatūra daro įtaką augalų šaknų sistemos vystymosi greičiui ir energijai, dėl kurios šaknys prasiskverbia į dirvožemį. Nuo šaknų sistemos priklauso tolesnis augalo augimas ir vystymasis (Kaspar, Bland, 1992).

Dirvožemio temperatūra taip pat daro įtaką augalijos vegetacijos sezono trukmei (Euskirchen ir kt., 2006; Öquist, Laudon, 2008; Lehnert, 2014), mineralizacijos greičiui (Haei ir kt., 2013), organinės medžiagos dirvožemyje irimui (Davidson, Janssens, 2006), maisto medžiagų įsisavinimui augaluose (Domisch ir kt., 2001; Melillo ir kt., 2002), miškų produktyvumui (Strömngren, Linder, 2002) ir kt.

Keičiantis globaliam klimatui kyla ne tik oro, bet ir dirvožemio temperatūra. Nustatyta kad dėl kylančios oro temperatūros didžiausias poveikis dirvožemio terminiam režimui bus jaučiamas borealiniuose regionuose su sezonine sniego danga (Jungqvist ir kt., 2014). Nors dirvožemio ir oro temperatūra susieta glaudžiais ryšiais, tačiau daugiamečių kaitos tendencijos nebūtinai turi sutapti (Gilichinsky ir kt., 1998). Dėl plonėjančios sniego dangos dirvožemis gali stipriau išalti, todėl kai kuriais šaltojo sezono mėnesiais gali būti fiksuojamas dirvožemio temperatūros mažėjimas (Stieglitz ir kt., 2003; Maljanen ir kt., 2007; Brown, DeGaetano, 2011; Qian ir kt., 2011). Nustatyta, kad kylant oro temperatūrai, dirvožemio temperatūra gali kisti mažiau ir dėl didėjančio vasaros kritulių kiekio (Zhang ir kt., 2001; Beniston, Diaz, 2004).

Dirvožemis iš esmės yra neatsinaujinantis ekosistemos komponentas (Feizienė ir kt., 2009). Jo pažeidžiamumas didėja ne tik dėl klimato kaitos, tačiau ir dėl žmogaus ūkinės veiklos: didėjant jo druskingumui, rūgštingumui, eutrofikacijai ir erozijai (Blum, 2005).

Borealinėse platumose dirvožemio terminiams režimo tyrimams yra skiriama itin daug dėmesio. Ypač daug tyrimų atlikta Rusijoje, Skandinavijoje, Kanadoje (Glichinsky ir kt., 1998; Zhang ir kt., 2005; Helama ir kt., 2011; Park ir kt., 2014). Beveik visų tyrimų rezultatai rodo, kad pastaraisiais dešimtmečiais dirvožemio temperatūra auga, o sezoninio dirvos įšalo rodikliai (maksimalus gylis bei įšalo trukmė) mažėja (Frauenfeld, Zhang, 2011; Helama ir kt., 2011).

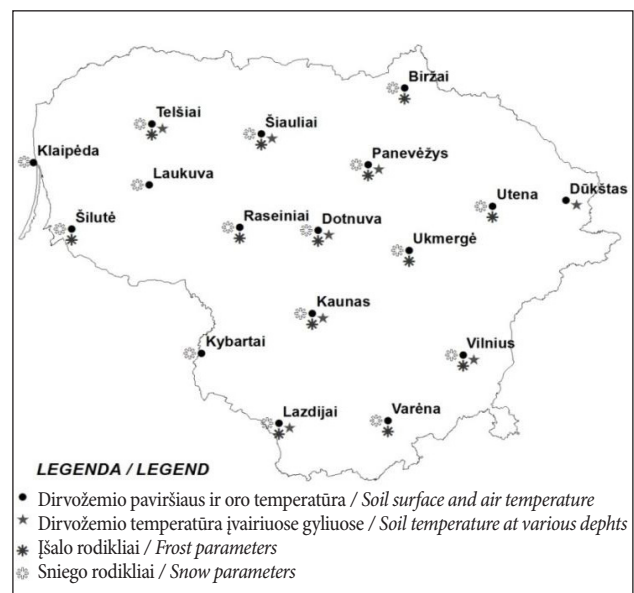
Lietuvoje taip pat yra atlikta dirvožemio temperatūros (Bukantis, 1994; Važnevičiūtė, 2007;

Galvonaitė ir kt., 2007) bei sezoninio įšalo gylis ir trukmės rodiklių tyrimų (Taminskas ir kt., 2005; Taminskas ir kt., 2006; Krotovas, 2012). J. Taminskas su bendraautoriais (2005, 2006) nustatė, kad XX a. pabaigoje mažėjo tiek maksimalus įšalo storis, tiek jo trukmė.

Tačiau kol kas menkai tirtos sąsajos tarp oro ir dirvožemio temperatūros bei įšalo gylis. Mažai dėmesio skirta dirvožemio temperatūros įvairiuose gyliuose daugiamečių kaitos Lietuvos teritorijoje analizei. Todėl šio tyrimo tikslas – išnagrinėti dirvožemio temperatūros režimą įvairiuose gyliuose bei jo sąsajas su oro temperatūra ir sezoninio įšalo rodikliais Lietuvoje, taip pat ištirti dirvožemio temperatūros kaitos tendencijas 1961–2010 metais.

## DUOMENYS IR METODIKA

Atliekant šį tyrimą analizuojami meteorologiniai rodikliai, išmatuoti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos tinklui priklausančiose meteorologijos stotyse (toliau MS) (1 pav.): oro temperatūra, dirvožemio paviršiaus temperatūra, dirvožemio temperatūra 0,2, 0,8, 1,6 ir 3,2 m gyliuose, dienų su įšalu skaičius ir maksimalus įšalo gylis. Matavimų 17 meteorologijos stočių duomenys gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos archyvų.



**1 pav.** Tyrimo naudoti meteorologiniai rodikliai ir meteorologijos stočių vieta

**Fig. 1.** Location of meteorological stations whose data were used in the study and investigated meteorological indices

Oro ir dirvožemio paviršiaus temperatūros matavimai atlikti skysčio termometrais, o įvairiuose dirvožemio gyliuose – giluminiais ištraukiamaisiais TM-10 termometrais aikštelėje su natūralia žoline danga. Gilesnių dirvožemio sluoksnių temperatūra analizuojamuoju laikotarpiu matuota aštuoniose stotyse. Dūkšte tokie matavimai pradėti tik 1970 m., todėl šios stoties duomenys panaudoti skaičiuojant tik vidutines 1981–2010 m. reikšmes.

Dirvožemio tipas stotyse, kuriose analizuoti temperatūros pokyčiai įvairiuose gyliuose, skiriasi. Remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenimis Dotnuvoje, tai velėniniai glėjiniai priemoliai; Dūkšte – velėninis jaurinis vidutiniškai nujaurėjęs molis; Kaune – velėninio karbonatinio nujaurėjusio molio uolienos; Lazdijuose – velėninis karbonatinis žvyras ant priemolio; Panevėžyje – velėninis glėjiškas išplautas vidutinis priemolis; Šiauliuose – velėninis jaurinis silpnai nujaurėjęs smėlis ant priemolio; Telšiuose – velėninis jaurinis mažai nujaurėjęs nuardytas priemolis; Vilniuje – velėninis karbonatinis išplautas žvyras.

Sniego dangos matavimai atlikti stacionaria matuokle, įrengta meteorologijos stotyje, o įšalo gylio – pašalomačiu.

Analizuojamasis laikotarpis – 1961–2010 m., tačiau kai kuriose stotyse matavimai pradėti vėliau. Oro temperatūrą Dotnuvoje imta matuoti 1963 m., 3,2 m gylio temperatūrą Lazdijuose – 1987 metais. Dūkšte dirvožemio temperatūra įvairiuose gyliuose pradėta matuoti 1970 m., oro temperatūra – 1972 metais. Analizuojamasis laikotarpis iki 2010 m., nes dėl atlikto Lietuvos meteorologijos stočių tinklo pertvarkymo dalis meteorologinių rodiklių nebėra matuojami.

Pradinių matavimo duomenų trūkiai užpildyti naudojant tame pačiame klimatiniame rajone esančios atraminės stoties duomenis, su kuria rekonstruojamos stoties matavimo rezultatus sieja glaudžiausias koreliacinis ryšys. Užpildant trūkius buvo remiamasi vidutiniu skirtumu tarp rekonstruojamos ir atraminės stoties duomenų sekų vidurkių.

Tyrime analizuojama dirvožemio temperatūros iki 3,2 m gylio kaita per metus 1981–2010 m. bei daugiametės kaitos tendencijos 1961–2010 metais. Taip pat įvertintas dirvožemio temperatūros ryšys su oro temperatūra bei maksimaliu įšalo

gyliu ir trukme. Nustatytos dirvožemio įšalo rodiklių daugiametės kaitos tendencijos ir sąsajos su oro temperatūra.

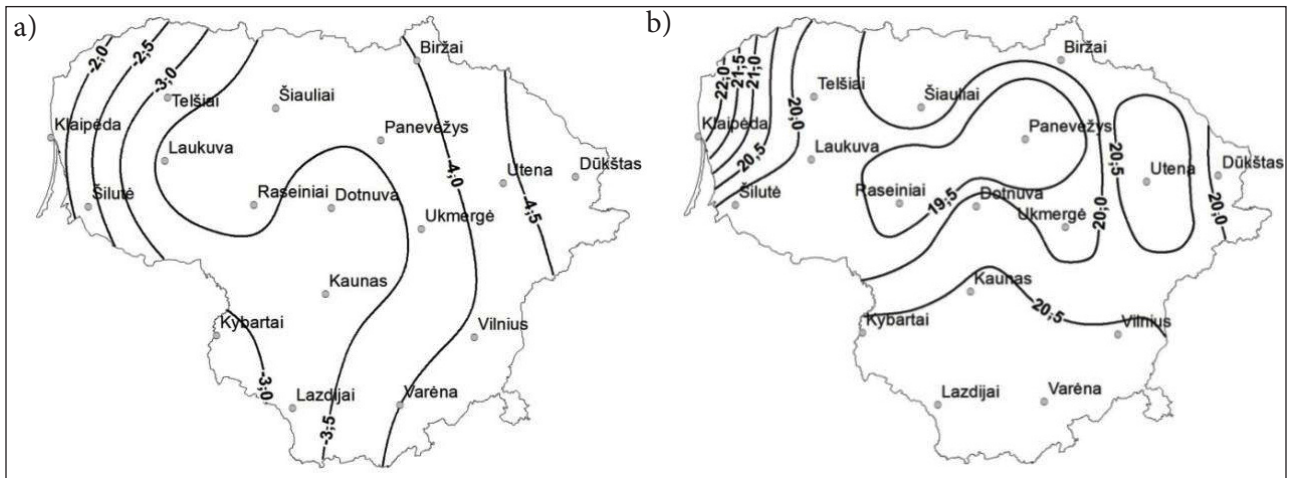
Koreliacinė analizė atlikta siekiant įvertinti ryšius tarp įvairių gylių dirvožemio temperatūros, oro temperatūros, dirvožemio įšalo rodiklių. Analizuotos sąsajos tarp tiriamųjų parametrų tiek bėgant laikui, tiek erdvėje. Įvertintas Pirsono tiesinės koreliacijos koeficientų statistinis reikšmingumas (jie laikyti statistiškai reikšmingais, kai  $p < 0,05$ ).

Daugiametės analizuojamųjų rodiklių kaitos tendencijos, nustatytos tiesinės regresijos pagalba, o pokyčių per analizuojamąjį 1961–2010 m. laikotarpį dydžiai apskaičiuoti remiantis regresijos koeficientų reikšmėmis. Pokyčių statistinis reikšmingumas įvertintas Stjudento kriterijumi (statistiškai reikšmingais laikyti tie pokyčiai, kurių atsitiktinio susidarymo galimybė mažesnė nei 0,05).

#### **VIDUTINĖ DIRVOŽEMIO TEMPERATŪRA 1981–2010 M. IR SĄSAJOS SU ORO TEMPERATŪRA**

1981–2010 m. vidutinė metinė dirvožemio paviršius temperatūra Lietuvoje buvo lygi 7,9 °C ir kito nuo 7,1 °C Dūkšto MS iki 9,7 °C Klaipėdos MS. Žiemos metu dėl šildančio Baltijos jūros poveikio dirvožemio paviršiaus temperatūra didėja artėjant jūros link ir pajūrio regione yra aukštesnė nei –2,5 °C, o šalies šiaurės rytuose nukrinta žemiau –4,5 °C (2a pav.). Vasarą vidutiniškai aukščiausia dirvožemio temperatūra fiksuojama Klaipėdos MS (dėl ilgesnės Saulės spindėjimo trukmės bei greitai išylančio smėlinio dirvožemio) ir Pietų Lietuvoje. Čia lemiamą vaidmenį vaidiną didesnis Saulės pakilimo kampas bei mažesne šilumine talpa pasižymintys smėlio ir lengvo priemolio dirvožemiai. Tuo tarpu Panevėžyje ir Raseiniuose, kur vyrauja lėčiau dienos metu išylantis vidutinis ir sunkus priemolis, vidutinė vasaros dirvožemio paviršiaus temperatūra yra mažiausia.

Vidutiniškai žemiausia dirvožemio temperatūra Lietuvoje 1981–2010 m. buvo vasarį (–4,0 °C), o aukščiausia – liepą (21,8 °C). Klaipėdoje liepą dirvožemis vidutiniškai sušyla iki 24 °C. Šilumos perdavimo į dirvožemio gilumą (ar į paviršių šaluoju metu laiku) greitis priklauso nuo vertikalau



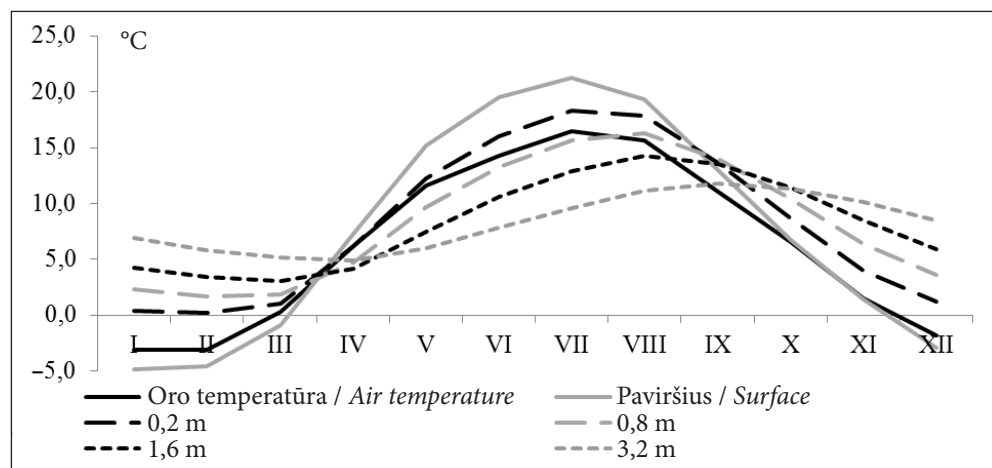
**2 pav.** Vidutinė dirvožemio paviršiaus temperatūra (°C) žiemą (a) ir vasarą (b) 1981–2010 m.  
**Fig. 2.** Mean soil surface temperature (°C) in winter (a) and summer (b) in 1981–2010

temperatūros gradiento dirvožemyje, kuris didėjant gyliui dažniausiai mažėja. Todėl šilumos srauto intensyvumas gilėjant mažėja, dėl to mažėja ir metinė dirvožemio temperatūros amplitudė (3 pav.). Be to, šilumos perdavimas vyksta ribotu greičiu, kuris priklauso nuo dirvožemio šilumos laidumo, todėl ekstremumų laikas paviršiuje bei gilesniuose sluoksniuose nesutampa.

Vidutinė metinė temperatūra 0,2, 0,8, 1,6 ir 3,2 m gylyje Lietuvoje (apskaičiuota iš septynių meteorologijos stočių duomenų) yra vienoda – 8,3 °C. Vidutinė minimali temperatūra visose stotyse 0,2 ir 0,8 m gylyje yra fiksuojama vasarį, 1,6 m gylyje – kovą, o balandį – 3,2 m gylyje. Maksima-

li – 0,2 m gylyje liepą, 0,8 ir 1,6 m gylyje – rugpjūtį, o 3,2 m gylyje – rugsėjį (3 pav.).

Vidutiniškai Lietuvoje 0,2 m gylyje metinė temperatūros svyravimo amplitudė siekia 18,2 °C, 0,8 m gylyje – 14,5 °C, 1,6 m gylyje – 11,2 °C, o 3,2 m gylyje – 6,7 °C. Didžiausia amplitudė visuose gyliuose nustatyta Vilniuje, o mažiausia (išskyrus 0,2 m gyly) – Šiauliuose. Tai sietina su tuo, kad Vilniuje esantis žvirgždas yra laidesnis šilumai, nei priemolis Šiauliuose. Nors žvirgždo šiluminis laidumas yra didelis, tačiau talpa maža, todėl Vilniuje dirvožemis vasarą stipriau išyla, o žiemą stipriau atvėsta, palyginti su kitomis, matuoto dirvožemio temperatūros įvairiuose gyliuose, vietovėmis.



**3 pav.** Dirvožemio įvairiuose gyliuose ir oro temperatūros (°C) kaita per metus Lietuvoje 1981–2010 m.

**Fig. 3.** Intra-annual variation of soil temperature (°C) at various depths and air temperature (°C) in Lithuania in 1981–2010

Analizuojant dirvožemio temperatūros įvairiuose gyliuose erdvinį ryšį nustatyta, kad teritoriniu požiūriu dirvožemio temperatūros reikšmės sieja statistiškai reikšmingi stiprūs ir labai stiprūs ryšiai. Vidutinės metinės dirvožemio paviršiaus temperatūros koreliacija tarp stočių kinta nuo 0,89 iki 0,99, o gilesniuose dirvožemio sluoksniuose – nuo 0,68 iki 0,96. Ryšio glaudumas priklauso nuo atstumo tarp stočių bei dirvožemio sudėties vienodumo. Analizuojant atskirus mėnesius nustatyta, kad stipriausias ryšys fiksuojamas rudenį ir žiemą, kai Lietuvos orai daugiausia priklauso nuo oro masių advekcijos. Tuo tarpu antroje pavasario pusėje bei vasarą išauga vietos veiksnių (tarp jų ir dirvožemio tipo) poveikis terminiam režimui, todėl koreliacija tarp stočių susilpnėja, nors vis dar išlieka stipri.

Vidutiniškai meteorologijos stotyse išmatuota vidutinė metinė dirvožemio temperatūra yra apie 1,5 °C aukštesnė nei oro temperatūra. Tačiau šis skirtumas atskirais metų mėnesiais yra nevienodas (3 pav.). Balandžio–rugsėjo mėn., kai dirvožemio paviršius dienos metu yra stipriai išildomas tiesioginių Saulės spindulių, vidutinė dirvožemio temperatūra yra didesnė nei oro. Birželio–liepos mėn. (kai Saulė pakyla aukščiausiai) šis skirtumas Lietuvos teritorijoje vidutiniškai viršija 3,5 °C. Šiuo metų laiku didelė gaunamos energijos dalis yra sunaudojama gilesniems dirvožemio sluoksniams šildyti. Tuo tarpu spalį–kovą, kai suminis gaunamos Saulės spinduliuotės kiekis yra labai mažas, dirvožemis atvėsta, ir jo temperatūra yra žemesnė nei oro. Be to, kovo mėn. didelė dalis spindulinės energijos, patenkančios ant dirvožemio paviršiaus, yra panaudojama drėgmei nuo dirvos paviršiaus garinti. Oro temperatūra žiemos mėnesiais yra didesnė nei dirvožemio paviršiaus (paviršiaus temperatūra matuojama ant sniego paviršiaus) dėl vyraujančios vakarinės oro pernašos ir santykinai šiltų jūrinių oro masių advekcijos. Šaltuoju metų laikotarpiu dirvožemio ir oro temperatūros skirtumas yra mažesnis nei vasarą ir daugumoje meteorologijos stočių neviršija 1 °C.

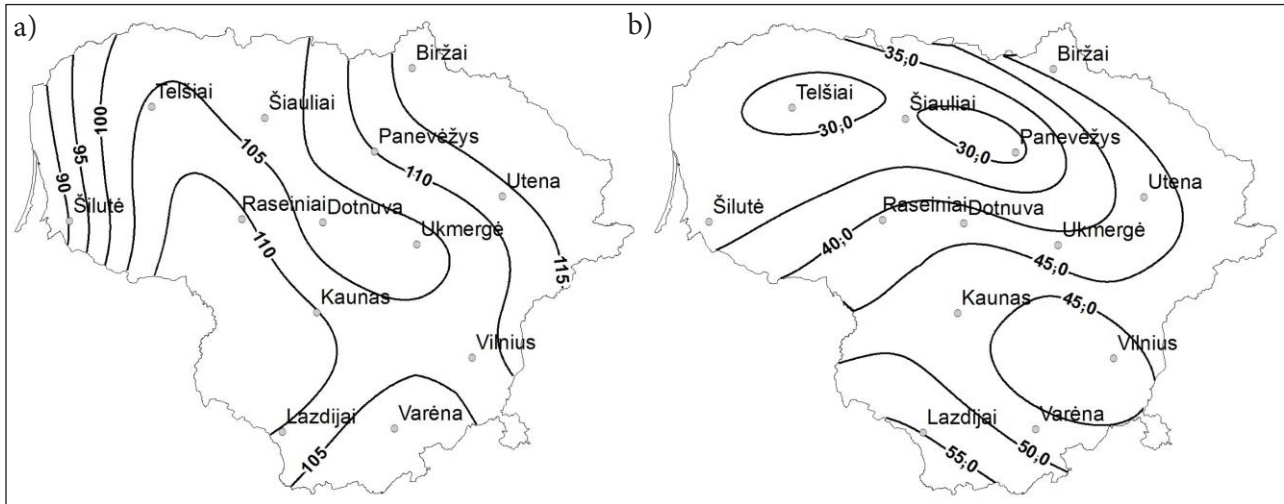
Vidutinė metinė dirvožemio temperatūra 0,2 metrų gylyje taip pat yra didesnė nei oro, tik šiuo atveju vidutinis skirtumas siekia 2,0 °C. Priešingai nei lyginant su paviršiumi, šis skirtumas žiemą yra teigiamas ir viršija 3 °C. Dirvožemį šiame gylyje nuo atvėsimo saugo sniego danga, be to, tam tikras šilumos kiekis gaunamas iš gilesnių dirvožemio sluoksnių. Tik pavasarį dirvožemio tempe-

ratūra šiame gylyje yra šiek tiek žemesnė nei oro, nes nemaža dalis pavasarį gaunamos energijos yra sunaudojama įšalui tirpdyti bei drėgmei garinti. Be to, antroje pavasario pusėje gilesni dirvožemio sluoksniai yra vėsesni, todėl šilumos srautas būna nukreiptas žemyn. Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose (0,8, 1,6 ir 3,2 m) balandžio–rugsėjo dirvožemio temperatūra yra žemesnė nei oro, o likusiais metų mėnesiais – aukštesnė.

Tyrimo metu nustatyta, kad dirvožemio paviršiaus bei 0,2 m gylio temperatūra beveik visose meteorologijos stotyse visais metų mėnesiais geriausiai siejasi su to paties mėnesio oro temperatūra. Šiltuoju metų laiku (balandis–spalis) daugumos koreliacijos koeficientų reikšmės viršija 0,8, o žiemą šis ryšys yra silpnesnis. Kai kuriose meteorologijos stotyse kovo bei balandžio mėn. dirvožemio temperatūra stipriau susijusi su pirmosios žiemos pusės oro temperatūra. Tai sietina su sniego dangos (esant storai sniego dangai šis ryšys silpsta, nes mažėja šilumos apykaita tarp oro ir dirvožemio) bei įšalo (dalis dirvožemyje sukauptos energijos yra panaudojama įšalui tirpdyti bei drėgmei garinti) poveikiu. Su to paties mėnesio oro temperatūra geriausia siejasi dirvožemio temperatūra 0,8 m gylyje. Tačiau šiuo atveju koreliacijos koeficientai beveik visais metų mėnesiais kinta nuo 0,5 iki 0,8. 1,6 m gylyje stipriausias ryšys dirvožemio temperatūrą dažniausiai sieja su vienu mėnesiu anksčiau fiksuota oro temperatūra (nors atskirais atvejais glaudžiausiai koreliuoja ir su to paties mėnesio temperatūra), o 3,2 m gylyje – su prieš 2–4 mėnesius buvusiu oro temperatūra. Visi paminėti ryšiai yra statistiškai reikšmingi, o 1,6 ir 3,2 m gylyje glaudžiausių ryšių apibūdinančių koreliacijos koeficientų reikšmės dažniausiai kinta nuo 0,4 iki 0,7.

## DIRVOŽEMIO TEMPERATŪROS RYŠYS SU SEZONIO ĮŠALO RODIKLIAIS

Vidutinis dienų su sezoniniu įšalu skaičius Lietuvoje 1981–2010 m. kito nuo mažiau nei 90 dienų pajūryje iki daugiau nei 115 dienų šalies šiaurės rytuose (4a pav.). Vidutiniškai ilgiausia įšalo trukmė 1961–2010 m. šalies teritorijoje užfiksuota 1969 (164 dienos), o trumpiausia – 2009 m. (52 dienos). Didžiausias vidutinis įšalo gylis nustatytas Lazdijuose (55 cm) (4b pav.). Tai sietina su gana dideliu sniego dangos nepastovumu ir mažu jo storiu pietvakarių Lietuvoje, taip pat kad čia vyrauja



**4 pav.** Dienų su išalu skaičius (a) ir maksimalus dirvožemio išalo gylis (cm) (b) 1981–2010 m. Lietuvos teritorijoje  
**Fig. 4.** Mean soil frost duration (a) and mean maximal soil frost depth (b) in Lithuania in 1981–2010

giliai išalantys sausi smėlio dirvožemiai. Todėl šalies teritorijoje nusistovėjęs šaltiems orams išalo storis gali greitai išaugti. Pačios mažiausios vidutinės išalo storio reikšmės užfiksuotos Panevėžyje (29 cm). Mažos išalo storio reikšmės išmatuotos ir Telšiuose dėl Žemaičių aukštumai būdingos storos sniego dangos. 1969 m. išsiskyrė ir pačiu didžiausiu vidutiniu maksimaliu išalo gyliu Lietuvoje (117 cm), o 1972 m. – mažiausiu (21 cm).

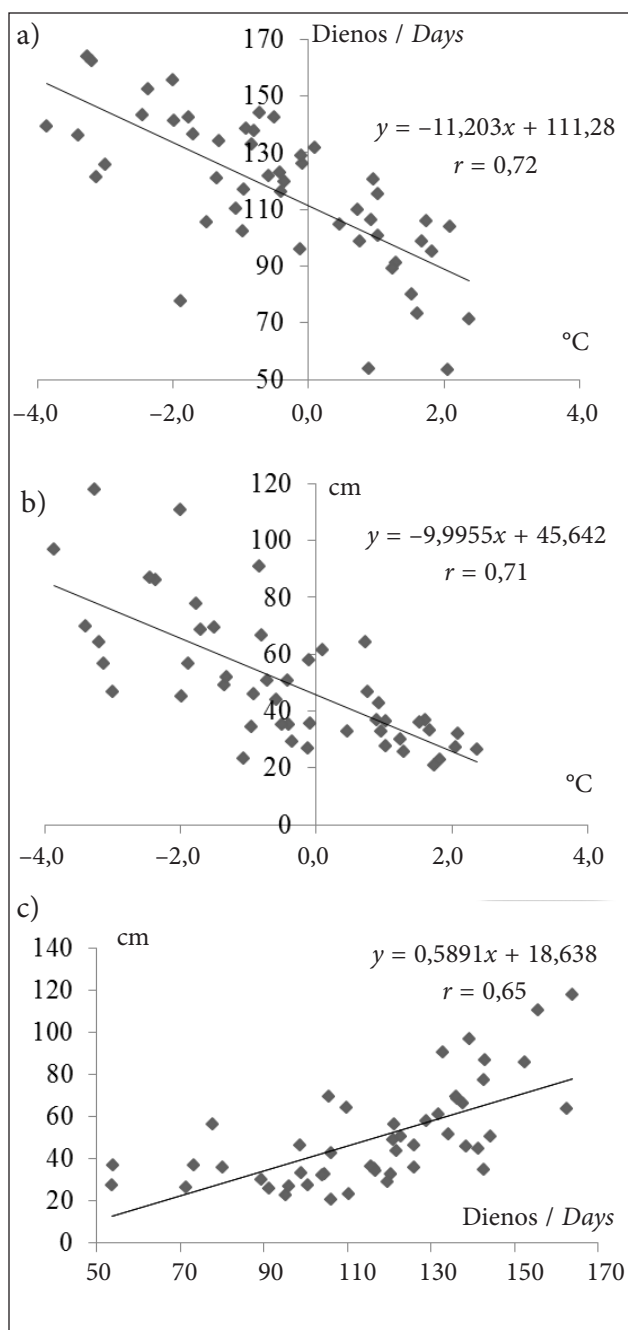
Išalo trukmė priklauso nuo šaltojo laikotarpio oro temperatūros. Koreliacijos koeficiento, siejancio vidutinę šalies lapkričio–balandžio mėn. oro temperatūrą su vidutine išalo trukme (apskaičiuota iš trylikos meteorologijos stočių duomenų), reikšmė siekia  $-0,72$  (5a pav.). Atskirose meteorologijos stotyse šis dydis svyruoja nuo  $-0,61$  (Vilniuje) iki  $-0,72$  (Kaune). Išalo trukmė statistiškai reikšmingai koreliuoja su vidutine visų šio periodo mėnesių oro temperatūra, o glaudžiausias ryšys Lietuvos teritorijoje nustatytas vasarį–kovą ( $r < -0,5$ ).

Išalo trukmė glaudžiai koreliuoja ir su maksimaliu išalo gyliu ( $r = -0,65$ ) (5c pav.). Meteorologijos stotyse koreliacijos koeficiento reikšmė kinta nuo  $-0,68$  (Ukmergėje) iki  $-0,46$  (Biržuose). Išalo gylis taip pat geriausiai siejasi su vidutine lapkričio–balandžio mėn. oro temperatūra ( $r = -0,71$ ) (5b pav.). Sausį–kovą koreliacijos koeficientų reikšmės yra žemesnės nei  $-0,5$ , tačiau ryšys tarp lapkričio mėn. oro temperatūros ir maksimalaus išalo gylio nėra statistiškai reikšmingas. Nors lapkritį išalas susiformuoja retai, tačiau šio mėnesio temperatūra lemia dirvožemio temperatūrą gilesniuose sluoksniuose

žiemos mėnesiais. Kita vertus, iki balandžio mėn. išalas išsilaiko ne kiekvienais metais, tačiau būtent pirmos pavasario pusės sąlygos labai stipriai lemia išalo rodiklius. Atskirose meteorologijos stotyse koreliacijos koeficientų reikšmės kinta nuo  $-0,74$  (Utenoje) iki  $-0,46$  (Šilutėje). Gana silpną ryšį Šilutėje galima sieti su sniego dangos nepastovumu Vakarų Lietuvoje – čia santykinai storas išalo sluoksnis gali susiformuoti net ir esant ne itin žemai (palyginti su likusia šalies teritorija) oro temperatūrai.

Analizuojant ryšį tarp dirvožemio temperatūros įvairiuose gyliuose ir maksimalaus išalo gylio nustatyta, kad statistiškai reikšmingas neigiamas koreliacinis ryšys šiuos rodiklius visuose gyliuose sieja sausio–balandžio mėnesiais. Priežastingumas šiuo laikotarpiu kinta. Jei žiemos pradžioje oro ir dirvožemio temperatūra lemia išalo storį, tai pavasarį priešingai – storas žiemą susiformavęs išalas neleidžia dirvožemiui greitai išilti, nes didelis gaudamos energijos kiekis yra sunaudojamas tirpinant išalą ir garinant drėgmę. 0,2 m gylyje daugumoje Lietuvos meteorologijos stočių glaudžiausias ryšys sieja maksimalų išalo gylį su vasario mėn., o gilesniuose sluoksniuose (0,8–3,2 m) – su balandžio mėn. dirvožemio temperatūra. Kovą–balandį greičiau atitirpsta paviršinis dirvožemio sluoksnis, ir temperatūros svyravimus jame labiau lemia Saulės spinduliuotės intensyvumas bei tai, kokių (šiltų ar šaltų) oro masių advekcija vyrauja.

Gilesnių dirvožemio sluoksnių temperatūros sąsajos su maksimaliu išalo storiumi lieka labai glaudžios. Kad šilumos perdavimas gilyn dirvožemyje



**5 pav.** Vidutinės lapkričio–balandžio mėn. oro temperatūros Lietuvos teritorijoje ryšys su vidutine įšalo trukme (a), įšalo gyliu (b) bei ryšys tarp įšalo trukmės ir gylio (c)

**Fig. 5.** Relationship between mean air temperature in November–April in Lithuania and mean soil frost duration (a), mean soil frost depth (b) and relationship between mean soil frost duration and mean soil frost depth (c) in 1961–2010

vyksta ribotu greičiu, gilesniuose sluoksniuose į paviršiaus temperatūros svyravimus reaguojama pavėluotai. Dėl šių priežasčių 0,8 m gylyje statistškai reikšmingas ryšys fiksuojamas ir gegužę,

1,6 m – gegužę ir birželį, o 3,2 m gylyje statistškai reikšmingas neigiamas ryšys išsilaiko visus metus. Iš kitų Lietuvos stočių išsiskiria Dotnuvos MS, kur žiemos metu analizuojamuosius rodiklius statistškai reikšmingi ryšiai sieja tik paviršiuje ir 3,2 m gylyje, o balandį – šis ryšys glaudus visuose analizuotuose gyliuose.

Koreliacijos koeficientai, siejantys vidutinę sausio–balandžio mėn. dirvožemio temperatūrą įvairiuose gyliuose su vidutiniu maksimaliu įšalo gyliu (apskaičiuota iš septynių meteorologijos stočių duomenų), kinta nuo  $-0,67$  (3,2 m gylyje) iki  $-0,83$  (0,8 m gylyje). 80 cm gylyje įšalas sukausto žemę gana retai (ypač pastaraisiais dešimtmečiais), tačiau temperatūros svyravimai šiame gylyje yra glaudžiai susiję su aukštesnių dirvožemių sluoksnių terminiu režimu.

## DIRVOŽEMIO TEMPERATŪROS DAUGIAMETĖS KAITOS TENDENCIJOS

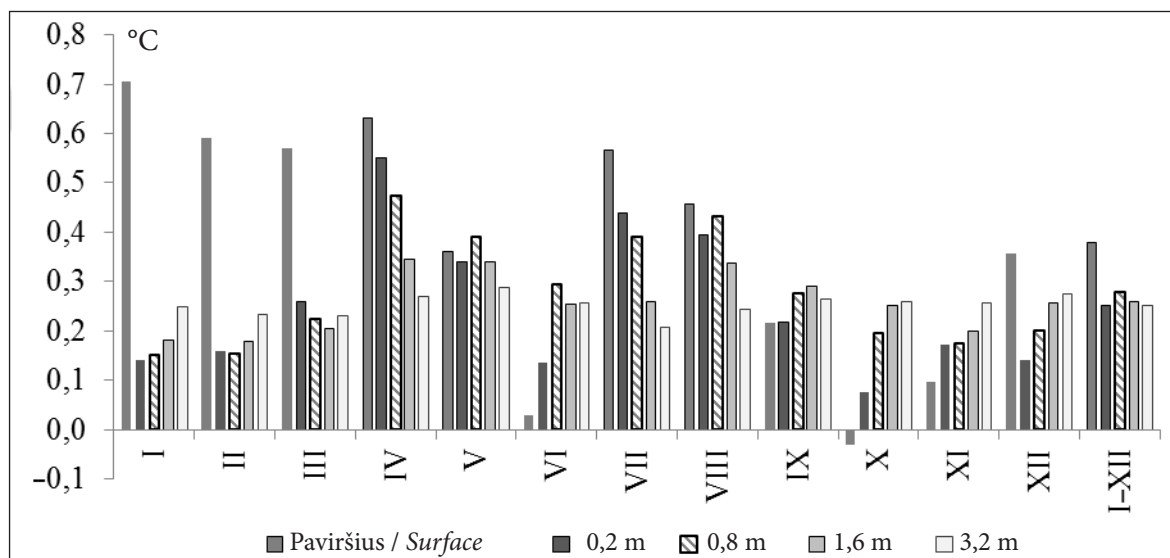
Analizuojant vidutinės metinės dirvožemio temperatūros kaitą 1961–2010 m. nustatyta, kad greičiausiai auga paviršiaus temperatūra (vidutiniškai  $0,4$  °C per dešimtmetį), o gilesniuose dirvožemio sluoksniuose šis dydis kinta nuo  $0,26$  (0,2 m gylyje) iki  $0,29$  °C per dešimtmetį (0,8 m gylyje). Visi pokyčiai (išskyrus kaitos tendencijas dirvožemio paviršiuje Šilutėje) yra statistškai reikšmingi (lentelė). Sparčiausi pokyčiai dirvožemio paviršiuje užfiksuoti Kaune ir Klaipėdoje ( $0,49$  °C per dešimtmetį), o gilesniuose sluoksniuose kiek didesni pokyčiai užfiksuoti Vilniaus MS.

Teigiami statistškai reikšmingi pokyčiai 1961–2010 m. visoje Lietuvos teritorijoje dirvožemio paviršiuje nustatyti balandžio mėn., o didesnėje jos dalyje – gegužę, liepą ir rugpjūtį (6 pav.). Gruodį–kovą užfiksuotos teigiamos pokyčių tendencijos, tačiau tik kai kuriose stotyse jie yra statistškai reikšmingi. Nors pokyčiai sausį yra patys didžiausi, tačiau dėl didesnės dirvožemio temperatūros reikšmių sklaidos jie nėra statistškai reikšmingi. Pavasarį vis anksčiau ištirpstant sniego dangai (dažnai ji būna itin nepastovi) bei įšalui, dirvožemis pradeda anksčiau ir greičiau šilti, todėl ankstyvą pavasarį dirvožemio paviršiaus temperatūra auga greičiau nei oro. Tuo tarpu birželį ir visais rudens mėnesiais pokyčių ženklas skirtingose meteorologijos stotyse yra nevienodas, o absoliuti dauguma kaitos tendencijų yra statistškai nereikšmingos. Neigiami statistškai

Lentelė. Vidutinės metinės dirvožemio temperatūros ir išalo rodiklių vidutinis pokytis per dešimtmetį 1961–2010 m. Lietuvos meteorologijos stotyse. Statistiškai reikšmingi pokyčiai paryškinti

Table. Changes per decade in mean annual soil temperature as well as frost duration and depth in Lithuania in 1961–2010. Statistically significant changes are in bold

Meteorologijos stotys Meteorological stations	Dirvožemio paviršius Soil surface	0,2 m	0,8 m	1,6 m	3,2 m	Maksimalaus išalo gylis cm Maximal soil frost depth, cm	Išalo trukmė dienomis Soil frost duration, days
	°C/dešimtmetį / °C/decade						
Biržai	<b>0,44</b>					-5	-10
Dotnuva	<b>0,39</b>	<b>0,19</b>	<b>0,22</b>	<b>0,25</b>	<b>0,21</b>	-7	-13
Dūkštas	<b>0,27</b>						
Kaunas	<b>0,50</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	-2	-7
Kybartai	<b>0,37</b>						
Klaipėda	<b>0,46</b>						
Laukuva	<b>0,42</b>						
Lazdijai	<b>0,37</b>	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>	<b>0,27</b>	-	-10	-9
Panevėžys	<b>0,34</b>	<b>0,21</b>	<b>0,24</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	-8	-8
Raseiniai	<b>0,40</b>					-5	-8
Šiauliai	<b>0,40</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	-10	-11
Šilutė	0,19					-3	-7
Telšiai	<b>0,40</b>	<b>0,33</b>	<b>0,36</b>	<b>0,28</b>	<b>0,23</b>	-8	-10
Ukmergė	<b>0,35</b>					-8	-10
Utena	<b>0,39</b>					-8	-9
Varėna	<b>0,34</b>					-8	-10
Vilnius	<b>0,44</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>	-8	-7



6 pav. Dirvožemio temperatūros kaita (°C per dešimtmetį) paviršiuje (iš septyniolikos meteorologijos stočių duomenų) įvairiuose gyliuose Lietuvoje (iš septynių meteorologijos stočių duomenų) 1961–2010 m. Statistiškai reikšmingi pokyčiai įrėminti

Fig. 6. Soil temperature changes (°C per decade) at soil surface (according to data from 17 meteorological stations) and in various depths in Lithuania (according to data from seven meteorological stations) in 1961–2010. Statistically significant trends are framed



nereikšmingi pokyčiai beveik visoje Lietuvoje užfiksuoti spalį, o birželį – pusėje šalies teritorijos.

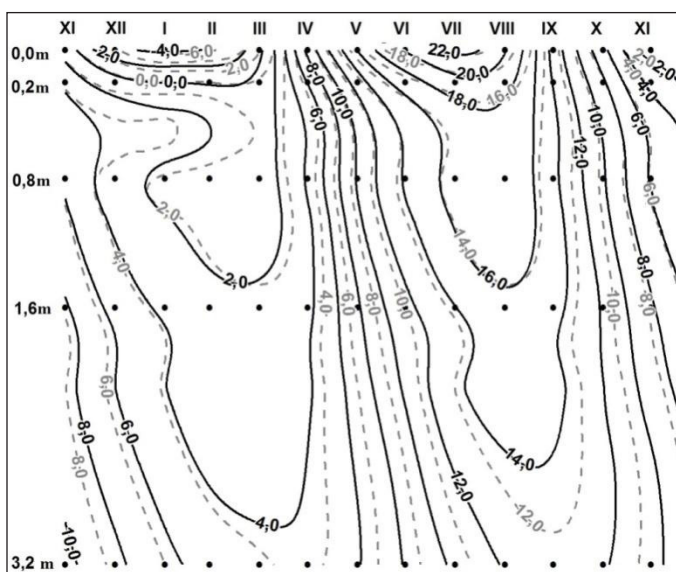
Vidutinės dirvožemio paviršiaus temperatūros reikšmių kaitos tendencijos yra teigiamos visais metų mėnesiais (išskyrus spalį), o balandį–gegužę ir liepą–rugsįjūtį pokyčiai yra statistiškai reikšmingi (6 pav.).

Visuose gyliuose, kuriuose matuojama dirvožemio temperatūra, užfiksuotas temperatūros didėjimas, o augimo tempas yra labai panašus (0,25–0,28 °C/dešimtmetį) (6 pav.). Šie skaičiai yra mažesni nei užfiksuoti pokyčiai dirvožemio paviršiuje (vidutiniškai 0,4 °C/dešimtmetį). Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose visų mėnesių pokyčių tendencijos yra teigiamos. Jei 0,2 m gylyje statistiškai reikšmingi pokyčiai nustatyti kovą–gegužę ir liepą–rugsįjį (analizuojant vidutines reikšmes Lietuvoje pagal septynių stočių vidurkį), tai gilesniuose sluoksniuose statistiškai reikšmingi pasikeitimai užfiksuoti vi-

sais metų mėnesiais. Tai paaiškinama dirvožemio temperatūros svyravimų mažėjimu didėjant gyliui. 0,2–1,6 m gylyje greičiausiai temperatūra augo balandžio mėn., o mažiausias augimas užfiksuotas sausį. 3,2 m gylyje labiausiai dirvožemio temperatūra kilo gegužės mėn., o mažiausia – liepą.

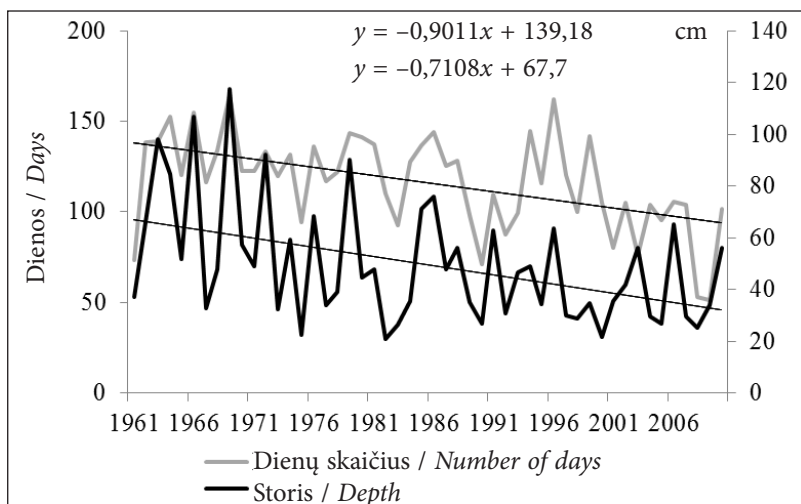
7 pav. pavaizduoti dirvožemio temperatūros profiliai Vilniuje 1961–1985 ir 1986–2010 metais. Labiausiai dirvožemio terminė struktūra pakito vasaros mėnesiais. Šiuo metų laikotarpiu nustatyti ryškūs temperatūros pokyčiai visoje dirvožemio stovymėje, o gilesniame sluoksnyje jie mažesni. Žiemą didžiausi pokyčiai fiksuoti paviršiuje, o gilesniuose sluoksniuose vidutinė dirvožemio temperatūra pasikeitė nedaug. Pereinamaisiais sezonais (pavasarių ir rudenių) teigiami temperatūros pokyčiai didesni gilesniame sluoksnyje nei paviršiniame.

Augant šalčio sezono oro temperatūrai, išalo trukmė visoje šalies teritorijoje statistiškai



7 pav. Dirvožemio temperatūros profiliai Vilniuje. Punktyrinė linija 1961–1985 m., ištisinė – 1986–2010 m.

Fig. 7. Soil temperature profiles in Vilnius. 1961–1985 – gray dotted line, 1986–2010 – black solid line



8 pav. Dienų su išalu skaičiaus ir maksimalaus išalo storio (cm) kaita Lietuvos teritorijoje (iš trylikos meteorologijos stočių duomenų) 1961–2010 m.

Fig. 8. Changes in the number of frost days and maximal frost depth (cm) in Lithuania (according to data from 13 meteorological stations) in 1961–2010

reikšmingai sumažėjo. Vidutiniai pokyčiai šalies teritorijoje siekia 9 dienas per dešimtmetį (8 pav.). Daugiausia įšalo trukmė sumažėjo Dotnuvoje (13 dienų per dešimtmetį), mažiausia – Kaune, Šilutėje ir Vilniuje (7 dienos) (lentelė). Per analizuojamąjį laikotarpį maksimalus įšalo gylis taip pat mažėjo – vidutiniškai Lietuvoje 8 cm per dešimtmetį. Daugumoje meteorologijos stočių pokyčiai statistiškai reikšmingi (lentelė). Greičiausiai šio rodiklio reikšmė mažėjo Šiauliuose (11 cm per dešimtmetį), o mažiausiai – Kaune (7 cm).

## APIBENDRINIMAS IR DISKUSIJA

Bendri teritorinio oro temperatūros (Galvonaitė ir kt., 2007) ir dirvožemio paviršiaus temperatūros pasiskirstymo bruožai Lietuvoje yra artimi. Žiemą oro ir dirvožemio temperatūros izotermų išsidėstymas yra labai panašus, nes svarbiausias veiksnys abiem atvejais yra atstumas nuo santykinai šiltos jūros ir kiek mažiau svarbi yra absoliutaus vietovės aukščio įtaka. Vasarą skirtumai yra didesni, kadangi itin išauga vietos veiksnių įtaka, iš jų ir dirvožemio granulimetrinės sudėties poveikis. Vasaros mėnesiais vidutinė oro temperatūra pajūryje yra mažesnė nei labiau į rytus nutolusiose šalies teritorijos dalyse, o dirvožemio paviršiaus temperatūra dėl didelio smėlio ir priemolio šilumos laidumo, mažos talpos labai išauga (ypač dienos metu) ir yra vidutiniškai didesnė nei likusioje šalies dalyje. Taip pat vasarą aukšta dirvožemio temperatūra išsiskiria Pietų Lietuva. Tai lemia platumą ir su tuo susijęs didesnis saulės aukštis virš horizonto, taip pat smėlio dirvožemiai. Vidutinė metinė dirvožemio paviršiaus temperatūra yra apie 1,5 °C didesnė nei oro, išmatuota 2 m aukštyje. Šis skirtumas didėja didėjant aukščiui (*Handbook...*, 1988). Vidutinė metinė dirvožemio temperatūra įvairiuose gyliuose nuo oro temperatūros skiriasi dar labiau (apie 2 °C). Viena svarbiausių priežasčių yra ta, kad susiformavus sniego dangai, paviršiaus temperatūros matavimai vykdomi ant sniego dangos paviršiaus, o ne po ja. Mūsų tyrimas rodo, kad tais metais, kai stora sniego danga išsilaiko ilgai, vidutinės metinės dirvožemio temperatūros skirtumas 0,2 m gylyje bei paviršiuje gali viršyti net 2 °C, o mažai sniegingais metais skirtis labai mažai arba net paviršiaus temperatūra gali būti šiek tiek didesnė nei gilesniuose sluoksniuose. Nustatyta, kad stora sniego danga gali keletu laipsniu padidinti

vidutinę metinę dirvos temperatūrą, o jai plonėjant bei mažėjant jos trukmei vidutinė metinė dirvos temperatūra įvairiuose gyliuose gali sumažėti (Goodrich, 1982; Ling, Zhang, 2007).

Tiriamuoju laikotarpiu (1961–2010) Lietuvoje vidutinė metinė dirvožemio temperatūra statistiškai reikšmingai išaugo. Identiški pokyčiai fiksuoti daugelyje pasaulio šalių – Kanadoje (Beltrami, 2003), Rusijoje (Park ir kt., 2014), Suomijoje (Helama ir kt., 2011) ir kt. Tai rodo, kad dirvos temperatūros kaita yra ryškus globalių pokyčių, vykstančių klimato sistemoje, atspindys.

Nustatyta, kad dirvožemio temperatūros kaita paviršiuje beveik sutampa su oro temperatūros kaitos tendencijomis. Ankstesni tyrimai parodė, kad tik birželio ir spalio mėn. kai kuriose meteorologijos stotyse buvo nustatytas nežymus oro temperatūros žemėjimas, o balandį, liepą ir rugpjūtį užfiksuotas statistiškai reikšmingas oro temperatūros augimas visoje Lietuvos teritorijoje (Mickevič, Rimkus, 2013). Labai panašios ir dirvos bei oro temperatūros tendų reikšmės. Vidutinė metinė oro temperatūra daugumoje Lietuvos meteorologijos stočių augo nuo 0,3 iki 0,4 °C per dešimtmetį. Tai, kad dirvožemio paviršiaus temperatūros trendai beveik (dažniausiai yra nežymiai mažesni) sutampa su oro temperatūros trendais, nustatyta ir kitose šalyse (Jacobs ir kt., 2011; Helama ir kt., 2011).

Gilesniuose dirvos sluoksniuose pokyčiai buvo mažesni (0,25–0,28 °C/dešimtmetį). Toks tendencijų pasiskirstymas užfiksuotas daugelyje šalių (Glichinsky ir kt., 1998; Zhang ir kt., 2005). Tai dažniausiai aiškinama sniego rodiklių pokyčiais: didėjant sniego dangos nepastovumui bei mažėjant jos storiui ir išsilaikymo trukmei, silpnėja sniego dangos poveikis gilesnių dirvožemio sluoksnių terminiam režimui, todėl žiemos laikotarpiu dirvožemio temperatūra auga daug lėčiau nei oro (Zhang ir kt., 2005; Qian, 2011; Mackiewicz, 2012). Kita vertus, tyrimai Rusijoje parodė, kad didelėje šalies teritorijoje sniego storis XXI a. išaugo, todėl dirvos temperatūra 1,6 m gylyje kilo greičiau nei oro temperatūra (Park, 2014). Kita priežastis, lemianti mažesnius temperatūros tendencijas gilesniuose dirvos sluoksniuose, sietina su kritulių režimo pokyčiais: nuo to priklauso energijos kiekis, kurį dirvožemis panaudoja garinimui, taip pat kinta dirvožemio šiluminė talpa (Lin ir kt., 2003; Zhang ir kt., 2005).

Su išvardytais veiksniais susijusi ir gana ryški sezoninė trendo reikšmių diferenciacija įvairiuose gyliuose – trendo reikšmių maksimumas Lietuvoje didėjant gyliui pasislenka į antrą pavasario pusę. Tai sietina ir su sniego režimo pokyčiais (Rimkus ir kt., 2014), ir su didele šilumos mainų dirvožemyje inercija. Be to, B. Qian ir kt. (2011) teigia, kad anksčiau ištirpęs sniegas ir didėjanti saulės energija lemia, kad antroje pavasario pusėje dirvožemio įvairiuose gyliuose trendo reikšmės yra panašios ar net didesnės nei oro temperatūros.

Maksimalus įšalo storis ir trukmė priklauso nuo oro temperatūros, sniego storio ir dirvožemio savybių. Visose Lietuvos meteorologijos stotyse neišvengiama koreliacija tarp lapkričio–balandžio mėn. oro temperatūros bei įšalo parametrų yra statistiškai reikšminga. Labiausiai įšalo rodikliai priklauso nuo sausio–kovo mėn. oro temperatūros.

Storas įšalo sluoksnis gali susidaryti ir tuo atveju, jei šalčiai prasideda dar nesusiformavus sniego dangai (Osokin ir kt., 2000), o stora mažai šilumai laidus sniego danga gali apsaugoti dirvožemį nuo įšalo sluoksnio storėjimo net ir didelių šalčių metu (Zhang, 2005).

Įšalo gylis priklauso ir nuo dirvožemio granulometrinės sudėties. Yra žinoma, kad sausesnis dirvožemis išąla greičiau ir giliau nei drėgnesnis, kadangi drėgnas dirvožemis pasižymi didesne šilumine talpa, lėčiau vėsta (Wilis ir kt., 1961).

Nuo XX a. 9-ojo dešimtmečio pabaigos išaugusi žiemos oro temperatūra lėmė, kad visoje Lietuvos teritorijoje sumažėjo įšalo trukmė ir gylis. Įšalo trukmė statistiškai reikšmingai sumažėjo visose meteorologijos stotyse, o jo storis – daugiau nei dvijuose trečdaliuose šalies teritorijos. 1961–2010 m. nustatytas įšalo trukmės mažėjimas vidutiniškai 9 dienomis per dešimtmetį yra artimas apskaičiuotam J. Taminsko ir kt. (2005). Mokslininkai nurodo, kad per paskutiniuosius du XX a. dešimtmečius sezoninio įšalo trukmė sumažėjo dviem savaitėmis.

Vidutiniškai 1961–2010 m. per dešimtmetį Lietuvoje vidutinis maksimalus įšalo storis sumažėjo 8 dienomis. O. W. Frauenfeld ir T. Y. Zhang (2011) nustatė, kad Eurazijoje 1930–2000 m. maksimalus įšalo storis vidutiniškai mažėjo 4,5 cm per dešimtmetį, o ryškiausi pokyčiai užfiksuoti nuo 7-ojo dešimtmečio pabaigos iki 10-ojo dešimtmečio vidurio. Tiriamąjį laikotarpį pradžioje jokių pokyčių neužfiksuota (Frauenfeld, Zhang, 2011). Ryškūs sezoninio maksimalaus įšalo pokyčiai už-

fiksuoti ir Rusijoje, kur 1956–1990 m. vidutiniškai šio rodiklio reikšmė sumažėjo 34 cm (Frauenfeld ir kt., 2004). J. Taminskas su bendraautoriais (2006) taip pat nustatė maksimalaus įšalo gylio mažėjimo tendencijas Lietuvoje XX a. pabaigoje ir susiejo tai su cikliniais oro temperatūros svyravimais. Autoriai teigia, kad XXI a. pradžioje maksimalus įšalo gylis turėtų vėl padidėti (Taminskas ir kt., 2006). Mūsų tyrimas tokių XXI a. pradžios tendencijų neatskleidė. Labiau tikėtina, kad šylant globaliam ir Lietuvos klimatui sezoninio įšalo rodikliai dar labiau sumažės (Henry, 2008).

Gauta 2016 05 02  
Priimta 2016 05 23

## Literatūra

1. Albergel C., Dutra E., Muñoz-Sabater J., Haiden T., Balsamo G., Beljaars A., Isaksen L., de Rosnay P., Sandu I., Wedi N. 2015. Soil temperature at ECMWF: an assessment using ground based observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 120(40): 1361–1373.
2. Beltrami H., Gosselin C., Mareschal J. C. 2003. Ground surface temperatures in Canada: Spatial and temporal variability. *Geophysical Research Letters*. 30: 1499.
3. Beniston M., Diaz H. F. 2004. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model benistons for Basel, Switzerland. *Global and Planetary Change*. 44: 73–81.
4. Blum W. E. H. 2005. Soils and climate change. *Journal of Soils and Sediments*. 5(2): 67–68.
5. Brown P. J., DeGaetano A. T. 2011. A paradox of cooling winter soil surface temperatures in a warming northeastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 947–956.
6. Bukantis A. 1994. *Lietuvos klimatas*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
7. Davidson E. A., Janssens I. A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 440(7081): 165–173.
8. Domisch T., Finér L., Lehto T. 2001. Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree Physiology*. 21(7): 465–472.
9. Euskirchen E., McGuire A. D., Kicklighter D. W., Zhuang Q., Clein J. S., Dargaville R. J., Dye D. G., Kimball J. S., McDonald K. C., Melillo J. M., Romanovsky V. E., Smith N. V. 2006. Importance of recent shifts in soil thermal dynamics on growing season length, productivity, and carbon sequestration

- in terrestrial high latitude ecosystems. *Global Change Biology*. 12(4): 731–750.
10. Feizienė D., Feiza V., Kadžienė G. 2009. Meteorologinių sąlygų įtaka dirvožemio vandens garų srauto intensyvumui ir CO<sub>2</sub> emisijai taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas. *Žemdirbystė–Agriculture*. 96(2): 3–22.
  11. Frauenfeld O. W., Zhang T., Barry R. G., Gilichinsky D. 2004. Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia. *Journal of Geophysical Research*. 109: D05101.
  12. Frauenfeld O. W., Zhang T. Y. 2011. An observational 71-year history of seasonally frozen ground changes in the Eurasian high latitudes. *Environmental Research Letters*. 6: 044024.
  13. Galvonaitė A., Misiūnienė M., Valiukas D., Buitkuvienė M. S. 2007. *Lietuvos klimatas*. Vilnius.
  14. Gilichinsky D. A., Barry R. G., Bykhovets S. S., Zhang T., Zudin S. L., Federov-Dovyddod D. G. 1998. A century of temperature observations of soil climate: methods of analysis and long-term trends. *Proceedings of the Seventh International Conference on Permafrost*, Canada. 313–317.
  15. Goodrich L. E. 1982. The influence of snow cover on the ground thermal regime. *Canadian Geotechnical Journal*. 19(4): 421–432.
  16. Haei M., Öquist M. G., Buffam I., Ågren A., Blomkvist P., Bishop K., Löfvenius M. O., Laudon H. 2010. Cold winter soils enhance dissolved organic carbon concentrations in soil and stream water. *Geophysical Research Letters*. 37: L08501.
  17. Haei M., Öquist M. G., Kreyling J., Ilstedt U., Laudon H. 2013. Winter climate controls soil carbon dynamics during summer in boreal forests. *Environmental Research Letters*. 8: 024017.
  18. *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination*. 1988. Editors: R. Haanel, L. Rybach, L. Stegena (eds.). Springer Netherlands. 487 p.
  19. Helama S., Tuomenvirta H., Venäläinen A. 2011. Boreal and subarctic soils under climatic change. *Global and Planetary Change*. 79: 37–47.
  20. Henry H. A. L. 2008. Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes. *Climatic Change*. 87(3): 421–434.
  21. Jacobs A. F. G., Heusinkveld B. G., Holtslag A. A. M. 2011. Long-term record and analysis of soil temperatures and soil heat fluxes in a grassland area, the Netherlands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 774–780.
  22. Jungqvist G., Oni S. K., Teutschbein C., Futter M. N. 2014. Effect of climate change on soil temperature in Swedish boreal forests. *PLOS ONE*. 9(4): e93957.
  23. Kaspar T., Bland W. L. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil Science*. 154(4): 290–299.
  24. Krotovas A. 2012. *Dirvožemio hidroterminis režimas: bakalauro darbas*. Vilnius: Vilniaus universitetas.
  25. Lehnert M. 2014. Factors affecting soil temperature as limits of spatial interpretation and simulation of soil temperature. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis – Geographica*. 45(1): 5–21.
  26. Lin X., Smerdon J. E., England A. W., Pollack H. N. 2003. A model study of the effects of climatic precipitation changes on ground temperatures. *Journal of Geophysical Research*. 108(D7): 4230.
  27. Ling F., Zhang T. 2007. Modeled impacts of changes in tundra snow thickness on ground thermal regime and heat flow to the atmosphere in Northernmost Alaska. *Global and Planetary Change*. 57(3–4): 235–246.
  28. Lu Y., Xu H. 2014. Effects of soil temperature, flooding, and organic matter addition on N<sub>2</sub>O emissions from a soil of Hongze Lake Wetland, China. *The Scientific World Journal*. ID272684.
  29. Luo L., Robock A., Vinnikov K. Y., Schlosser C. A., Slater A. G., Boone A., Braden H., Cox P., de Rosnay P., Dickinson R. E., Dai Y., Duan Q., Etchevers P., Henderson-Sellers A., Gedney N., Gusev Y. M., Habets F., Kim J., Kowalczyk E., Mitchell K., Nasonova O. N., Noilhan J., Pitman A. J., Schaake J., Shmakin A. B., Smirnova T. G., Wetzel P., Xue Y., Yang Z.-Y., Zeng Q.-C. 2003. Effects of frozen soil on soil temperature, spring infiltration, and runoff: results from the PILPS 2(d) experiment at Valdai, Russia. *Journal of Hydrometeorology*. 4: 334–351.
  30. Mackiewicz M. C. 2012. A new approach to quantifying soil temperature responses to changing air temperature and snow cover. *Polar Science*. 6(3–4): 226–236.
  31. Maljanen M., Kohonen A.-R., Virkajärvi P., Martikainen P. J. 2007. Fluxes and production of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in boreal agricultural soil during winter as affected by snow cover. *Tellus*. 59B: 853–859.
  32. Melillo J. M., Steudler P. A., Aber J. D., Newkirk K., Lux H., Bowles F. P., Catricala C., Magill A., Ahrens T., Morrisseau S. 2002. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. *Science*. 298(5601): 2173–2176.
  33. Mickevič A., Rimkus E. 2013. Vidutinės oro temperatūros dinamika Lietuvoje. *Geografija*. 49(2): 114–122.
  34. Öquist M., Laudon H. 2008. Winter soil frost conditions in boreal forests control growing season soil CO<sub>2</sub> concentration and its atmospheric exchange. *Global Change Biology*. 14(12): 2839–2847.
  35. Osokin N. I., Samoylov R. S., Sosnovskiy A. V., Sokratov S. A., Zhidkov V. A. 2000. Model of the influence of snow cover on soil freezing. *Annals of Glaciology*. 31: 417–421.
  36. Park H., Sherstiukov A. B., Fedorov A. N., Polyakov I. V., Walsh J. E. 2014. Observation-based assessment of how climate affects trends and variability of soil temperature in Russia. *Environmental Research Letters*. 9: 064026.
  37. Qian B., Gregorich E. G., Gameda S., Hopkins D. W., Wang X. L. 2011. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 116(D2): D02106.

38. Rimkus E., Kažys J., Butkutė S., Gečaitė I. 2014. Snow cover variability in Lithuania over the last 50 years and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Boreal Environment Research*. 19: 337–351.
39. Stieglitz M., Déry S., Romanovsky V., Osterkamp T. 2003. The role of snow cover in the warming of arctic permafrost. *Geophysical Research Letters*. 30: 1721.
40. Strömngren M., Linder S. 2002. Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand. *Global Change Biology*. 8(12): 1194–1204.
41. Taminskas J., Švedas K., Konstantinova J. 2005. Sezoninio įšalo trukmė Lietuvoje. *Geografijos metraštis*. 38: 18–28.
42. Taminskas J., Švedas K., Švedienė I. 2006. Sezoninio įšalo gylio kaita Lietuvoje. *Annales Geographicae*. 39: 15–24.
43. Važnevičiūtė A. 2007. *Dirvos temperatūra ir jos kaita Lietuvoje 1961–2005 metais*: bakalauro darbas. Vilnius: Vilniaus universitetas.
44. Willis W. O., Carlson C. W., Alessi J., Haas H. J. 1961. Depth of freezing and spring run off as related to full soil moisture levels. *Canadian Journal of Soil Science*. 41: 115–123.
45. Zhang Y., Chen W., Smith S. L., Riseborough D. W., Cihlar J. 2005. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change. *Journal of Geophysical Research*. 110: D03112.
46. Zhang T. 2005. Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Review of Geophysics*. 43: RG4002.
47. Zhang T., Barry R. G., Gilichinsky D., Bykhovets S. S., Sorokovikov V. A., Jingping Y. 2001. An amplified signal of climatic change in soil temperature during the last century at Irkutsk, Russia. *Climatic Change*. 49: 41–76.

**Viktorija Mačiulytė, Egidijus Rimkus**

## SOIL THERMAL REGIME IN LITHUANIA

### Summary

Soil is one of the main surface components, which interacts with atmosphere, biosphere and hydrosphere. The main goal of this research is to analyze the soil temperature regime and relations with air temperature

and soil frost parameters in Lithuania. The measurement results of soil temperature on the surface and at 0.2, 0.8, 1.6 and 3.2 m depths in 17 Lithuanian meteorological stations were used in this study. Mean seasonal soil temperature fluctuations, long-term trends (1961–2010), soil temperature connections with air temperature, maximum frost depth and duration were analyzed.

The average annual soil surface temperature was equal to 7.9 °C and in deeper layers (0.2, 0.8, 1.6 and 3.2 m deep) to 8.3 °C in Lithuania in 1961–2010. Soil surface, 0.2 and 0.8 m depth temperature had a greater correlation with the air temperature of the same month, while in deeper layers soil temperature fluctuations were delayed relative to the surface: by one month at 1.6 m and by 2–4 months at 3.2 m depth.

During the study period (1961–2010), the annual mean surface temperature in Lithuania increased significantly (0.4 °C per decade). The rate of changes of soil temperature in deeper layers varied from 0.26 °C (0.2 m) to 0.29 °C (0.8 m) per decade. Positive statistical significant changes of soil surface temperature in all stations were found in April, and in a large part of the territory in May, July and April. Negative trends were determined in almost all stations in October, and in half of the stations in June. Only positive changes were identified in deeper layers. Most of them were statistically significant.

The average frost duration varied from 90 days (western part) to 115 days (north-eastern part). The maximum average frost depth was found in Lazdijai (55 cm), while the smallest in Panevėžys (29 cm). Soil frost parameters (maximum depth and duration) depended on cold season's (November–April) air temperature. The negative linear correlation coefficients between cold season's air temperature and soil frost duration as well as maximum frost depth were statistically significant (–0.72 and –0.71, respectively). As a result of air temperature rise, negative tendencies of soil frost parameters were observed. Frost duration decreased statistically significantly (by 9 days per decade on average) in the whole Lithuanian territory in 1961–2010, while the negative changes of maximum frost depth (approximately by 8 cm per decade) were statistically significant in most of meteorological stations.

**Key words:** soil temperature, soil frost, climate change