

# Dirvožemio drėgmės režimo pokyčių XXI a. prognozės pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus

**Edvinas Stonevičius,**

**Andrius Štaras,**

**Gintaras Valiuškevičius**

*Vilniaus universitetas,  
El. paštas: stonevicius@geo.lt*

Stonevičius E., Štaras A., Valiuškevičius G. Dirvožemio drėgmės režimo pokyčių XXI a. prognozės pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus. *Geografija*. 2008. T. 44. Nr. 1. ISSN 1392-1096.

Straipsnyje aptariamos drėgmės kiekio kaitos dirvožemyje tendencijos Lietuvoje XXI amžiuje. Rezultatai gauti apskaičiuojant dirvos drėgmės režimą 0–1000 mm sluoksnyje 1971–2000 m. pagal TM ir WatBal hidrologinius modelius. Ateities klimato prognozėms panaudoti HadCM3-A1B bei Echam5-B1 klimato kaitos scenarijai. Naudojant HadCM3-A1B klimato scenarijaus rezultatus kaip įvesties duomenis dirvožemio drėgmės modeliavimui, TM modeliu nustatyta, kad nuo 2001 iki 2090 m. kiekvieno trisdešimtmečio vidutinė dirvožemio drėgmė bus vis mažesnė. Pagal Echam5-B1 klimato scenarijų sudaryta dirvožemio drėgmės kaitos prognozė rodo ne tokį ryškų drėgmės kiekio mažėjimą.

**Raktažodžiai:** dirvožemis, dirvožemio drėgmė, klimato kaita, prognozė, modeliavimas

## ĮVADAS

Iki šiol daugelis mokslinių darbų, kuriuose analizuota dirvožemio drėgmė, Lietuvoje buvo skirti žemės ūkio problemoms (Diršė, 2001; Auškalnis, Feiza, 2006) arba gilesnių sluoksnių dirvožemio drėgmės režimo tyrimams (Samuila, 2000). Ilgalaikių dirvos drėgmės prognozių pas mus kol kas pasigendama.

Prieš pradėdant dirvožemio drėgmės režimo prognozės analizę, būtina apibūdinti mūsų tyrimo objektą. Įvairių sričių autoriai (Lietuvos..., 2001; Motuzas ir kt., 1996; Samuila, 2000) labai skirtingai traktuoja tiek dirvožemį, tiek sluoksnį, kurio drėgmė yra svarbi augalams (ypač įvairioms žemės ūkio kultūroms). Skaičiuojant dirvožemio drėgmės rodiklius dažniausia išskiriamos tokios sluoksnio storio kategorijos: a) nuo 0 iki 200 mm; b) nuo 0 iki 500 mm; c) nuo 0 iki 1000 mm.

Skirtingai išreiškiama ir dirvožemio drėgmė: svorinė dirvožemio drėgmė (išreiškiama procentais nuo sauso dirvožemio svorio), tūrinė dirvožemio drėgmė (procentais nuo nesuardytos struktūros dirvožemio tūrio), vandens atsargos dirvožemyje (išreiškiamos m<sup>3</sup>/ha arba vandens sluoksnio mm). Mūsų darbe dirvožemio drėgmės vertinimo vienetu pasirinkta *santykinė dirvožemio drėgmė* (procentais nuo sotinančios dirvožemio drėgmės).

Šio tyrimo tikslas – išryškinti drėgmės kaitos dirvožemyje ateities tendencijas. Pasirinktam ilgam tyrimo laikotarpiui (XXI a.) netiko plonų dirvožemio sluoksnių skaičiavimų rezultatai, tad didžioji darbo rezultatų dalis paremta 0–1000 mm sluoksnio dirvos drėgmės režimo bei jo kaitos skaičiavimais. Pateikti regionines dirvos drėgmės pokyčių tendencijas atskleidžiantys žemėlapiai. Įvairių veiksnių poveikis dirvos drėgmei parodytas grafiškai.

## DUOMENYS IR METODIKA

**Darbo eiga.** Analizė pagrįsta vandens balanso metodu, darbe remtasi Lietuvos teritoriją apibūdinančiais hidrologiniais ir meteorologiniais duomenimis iki 2000 metų. Sukaupiti duomenys naudoti kaip baziniai nagrinėjant galimą dirvožemio drėgmės kaitą XXI amžiuje. Ateities klimato prognozėms panaudoti HadCM3-A1B bei Echam5-B1 klimato kaitos modeliai su atitinkamais emisijų scenarijais. Pagal klimato kaitos prognozių duomenis TM ir WatBal modeliais įvertintos dirvožemio drėgmės kaitos tendencijos atskirais XXI a. periodais.

**Pradiniai duomenys.** Lietuvos teritorijos meteorologinėms sąlygoms apibūdinti panaudota 16 meteorologijos stočių informacija. Hidrologinė situacija charakterizuota pasitelkus 18 įvairaus ploto skirtingomis savybėmis pasižyminčių baseinų. Europos regionų klimato prognozėms šiuo metu dažniausiai naudojami pasauliniai HadCM3 (sukurtas Hadley klimato tyrimų ir prognozių centre Jungtinėje Karalystėje) bei ECHAM5 (sukurtas Makso Planko meteorologijos institute bei Vokietijos klimato skaičiavimo centre) klimato modeliai.

**Nagrinėtas laikotarpis.** Pagal TM modelį nagrinėti duomenys buvo suskirstyti į 1971–2000 m., 2001–2030 m., 2031–2060 m. ir 2061–2090 m. laikotarpius. 1971–2000 m. laikotarpis laikytas baziniu, jo duomenys – įvesties. Visų kitų laikotarpių duomenys – išvesties rezultatai, gauti modeliuojant HadCM3-A1B arba Echam5-B1 klimato kaitos scenarijaus pateiktą atitinkamų laikotarpių informaciją. Analogiškais laikotarpiais suskirstyti ir duomenys, analizuoti pagal WatBal modelį. Tačiau šiuo atveju kaip įvesties duomenų laikotarpis

pasirinktas tas, kurio duomenų turėta atitinkamo baseino hidrologijos stotyje (nebūtinai 1971–2000 m.). WatBal modelio išvesties duomenys priderinti prie paskutiniaisiais ateities klimato trisdešimtmečių metais (2030, 2060 ir 2090 metais) klimato kaitos scenarijų numatomų sąlygų. Nagrinėtas laikotarpis per metus, tiek dirbant su TM, tiek su WatBal modeliu, apima aktyvios augalų vegetacijos sezoną – gegužės–rugsėjo mėnesius (imtinai).

**Klimato kaitos modeliai ir emisijos scenarijai.** Įvertinant klimato kaitos tendencijas bei prognozuojant pokyčius naudojami Tarptvyriausybės klimato kaitos komisijos (TKKK) (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) duomenys – globalių bei regioninių klimato prognozių pagrindas.

2000 m. TKKK paskelbė specialią ataskaitą apie galimus šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos scenarijus (Nakicenovic et al., 2000). Šiame tyrime panaudoti modeliavimo pagal du emisijos scenarijus (A1B ir B1) išvesties duomenys. Konkretesnę jų aprašymą lietuvių k. galima rasti E. Rimkaus ir bendraautorių straipsniuose (Bukantis ir kt., 2003; Rimkus ir kt., 2007).

Klimato modeliai kuriami daugeliui uždavinių spręsti – pradedant šiuolaikinės klimato sistemos bei esamų orų sąlygų kaitos tyrimais ir baigiant klimato kaitos prognozėmis. Detalus šių modelių aprašymas pateiktas C. Gordon ir kitų (Gordon et al., 2000), E. Roeckner bei kitų (Roeckner et al., 2004) straipsniuose. Lietuvoje apie HadCM3 ir ECHAM5 modelius gana išsamiai rašoma prognozuojant klimato kaitą (Rimkus ir kt., 2007).

**Thorntwaite-Mather (TM) modelis,** skirtas dirvožemio drėgmės pokyčiams laike įvertinti (Thorntwaite et al., 1955; 1957; Steenhuis et al., 1986), Lietuvoje iki šiol nenaudotas rimtesniuose tyrimuose, todėl jį aprašysime kiek plačiau. Laiko žingsnis – nuo paros iki metų. Šiame darbe naudotas mėnesio žingsnis.

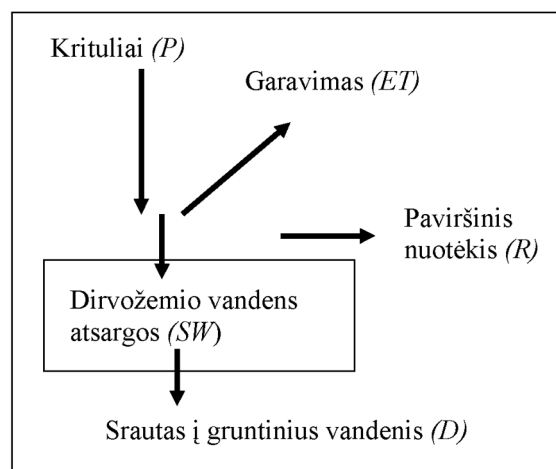
Modelio koncepciją (1 pav.) galima apibūdinti šia dirvos vandens balanso lygtimi:

$$dSW = P - ET - R - D; \quad (1)$$

čia  $dSW$  – dirvožemio vandens atsargų pokytis per skaičiuojamąjį laikotarpį, kiti rodikliai pavaizduoti 1 paveiksle.

Dirvos drėgmės pokytis vertinamas pagal situaciją modeliuojamame baseine (1 lentelė).

Svarbiausi TM modelio įvesties duomenys, vertinant dirvožemio drėgmės kaitą, yra kritulių kiekis ( $P$ ), potencialus garavimas ( $PET$ ), dirvos vandens sulaikymo geba ( $AWC$ ) ir dirvožemio sluoksnio storis. Dirvožemio drėgmės atsargų kaita Lietuvos teritorijoje įvertinta nuo 200 iki 1000 mm dirvos sluoksniuose, kurių vandens sulaikymo geba kinta nuo 5 iki 40%. Potencialus



1 pav. Thorntwaite-Mather (TM) modelio schema  
Fig. 1. Scheme of the Thorntwaite–Mather (TM) model

Lentelė. Dirvos drėgmės pokyčio vertinimas pagal TM modelį  
Table. Estimation of soil water change using the TM model

Situacija baseine Situation in watershed	Dirvožemio drėgmė (SW) Soil water (SW)	Integruoti potencialūs vandens nuostoliai (APWL) Accumulated potential water loss	Vandens perteklius Water excess
Dirvožemio drėgmė mažėja (Soil is drying) $\Delta P < 0$	$= AWC \exp\left(\frac{APWL_t}{AWC}\right)$	$= APWL_{t-1} + \Delta P$	$= 0$
Dirvožemio drėgmė didėja (Soil is wetting) $\Delta P > 0$ , tačiau (but) $SW_{t-1} + \Delta P \leq AWC$	$= SW_{t-1} + \Delta P$	$= AWC \ln\left(\frac{SW_t}{AWC}\right)$	$= 0$
Dirvožemio drėgmė didėja ir viršija vandens sulaikymo gebą (Soil is wetting above capacity) $\Delta P > 0$ , tačiau (but) $SW_{t-1} + \Delta P - AWC$	$= AWC$	$= 0$	$= SW_{t-1} + \Delta P - AWC$

$AWC$  – vandens sulaikymo geba;  $APWL$  – integruoti potencialūs vandens nuostoliai;  $SW$  – dirvožemio drėgmė;  $\Delta P$  – efektyvūs krituliai.  
 $AWC$  – soil water retention;  $APWL$  – accumulated potential water loss;  $SW$  – soil water;  $\Delta P$  – rainfall excess.

garavimas įvertintas empiriniu Thornthwaite metodu, kuris nurodo ryšį tarp potencialaus garavimo ir vidutinės mėnesio temperatūros (Thornthwaite, 1948), naudojant lygtį:

$$PET = 1,6 \left( 10 \frac{T}{I} \right)^a; \quad (2)$$

čia  $PET$  – potencialus garavimas;  $T$  – vidutinė mėnesio oro temperatūra;  $I$  – metinis šilumos indeksas, įvertinamas kaip kiekvieno metų mėnesio indekso  $i = (T/5)^{1,514}$  suma;  $a$  – empirinis koeficientas, priklausantis nuo  $I$  vertės:

$$a = 0,49 + 0,0179 \cdot I - 0,0000771 \cdot I^2 + 0,00000675 \cdot I^3.$$

$PET$  rodo potencialiai išgaruojantį vandens kiekį per mėnesį, kurio vidutinė šviesiojo periodo trukmė yra 12 val. Tikra mėnesio  $PET$  vertė gauta ją padauginus iš koeficiento

$$k = \left( \frac{d}{30} \right) \cdot \left( \frac{h}{12} \right);$$

čia  $d$  – dienų skaičius per mėnesį,  $h$  – vidutinė mėnesio šviesiojo periodo trukmė valandomis.

Naudojantis  $TM$  modeliu įvertinta santykinė dirvožemio drėgmė (% nuo sotinančios drėgmės) bei jos pokyčiai.

**WatBal modelis** ne kartą buvo naudotas tyrimams Lietuvoje (taip pat ir kai kuriems šio straipsnio autoriams atliekant nuotėkio struktūros kaitos analizę). Todėl šį sykį detaliau jo neaprašinsime ir apsiribosime nuorodomis į ankstesnius straipsnius (Kilkus et al., 2006; Samuila, 2000; Štaras, 2002), kuriuose nuodugniai apibūdinta **WatBal** koncepcija. Išsami **WatBal** modelio loginės struktūros formuluotė pateikta Z. Kaczmarek ir D. Krasuski darbe (Kaczmarek et al., 1991). Keli modelio variantai yra skirti įvairių tyrimų (baseinuose, gręžiniuose, matavimų aikštelėse ir pan.) duomenims apdoroti. Mūsų tyrime naudotasi baseinų nuotėkio duomenimis, kurių analizę **WatBal** modeliu detalai aptarta A. Štaro ir bendraautorijų darbuose (Kilkus et al., 2006; Štaras, 2002).

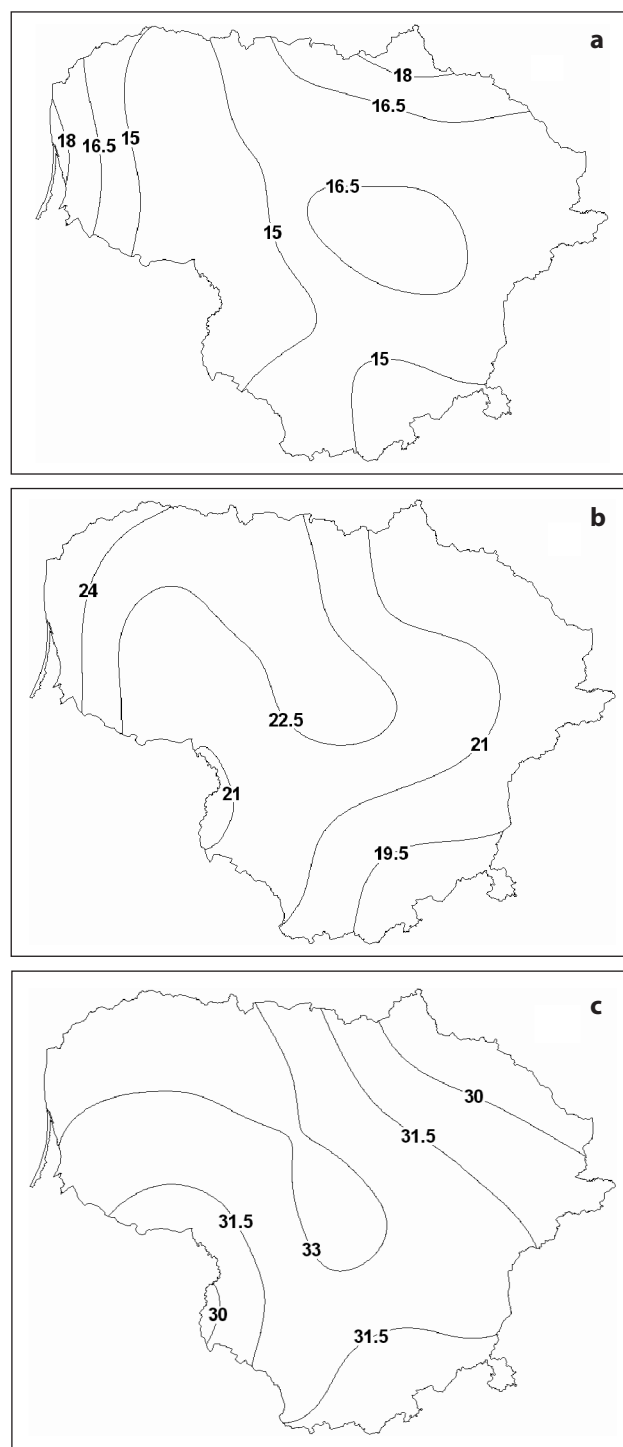
Naudojantis **WatBal** modeliu įvertintas bendrasis garavimas (milimetrais per parą) ir jo pokyčiai.

## REZULTATAI

**Prognozė pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų.** Pasinaudojus  $TM$  modeliu ir išanalizavus dirvožemio drėgmės režimo kaitą pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų paaiškėjo, jog šis modelis numato ateityje nemenką dirvos drėgmės sumažėjimą gegužės–rugpjūčio mėnesiais visoje Lietuvoje. Lyginant su 1971–2000 m., dirvožemio drėgmė jau 2001–2030 m. sumažės 15–18% (2 pav., a). Didžiausi pokyčiai tikėtini Vakarų Lietuvoje, ypač pajūryje, bei Šiaurės Rytų dalyje (Nemunėlio baseine). Vidutinis pokytis visoje Lietuvos teritorijoje sudarys -15,9%.

Dar didesni pokyčiai numatomi tolimesniais laikotarpiais, pavyzdžiui, 2031–2060 m. dirvožemio drėgmė bus mažesnė 20–24% (2 pav., b). Vidutiniškai Lietuvoje dirvožemio drėgmė šiuo trisdešimtmėčiu sumažės 22%. Dar po trisdešimties metų (2061–2090 m.) santykinis drėgmės kiekis dirvožemyje intensyvios vegetacijos periodu, lyginant su dabartimi, bus mažesnis net 30–33% (2 pav., c). Labiausiai tai susiję su oro temperatūros pokyčiais ir jų nulemtu didesniu potencialaus garavimo.

Vidutinis dirvožemio drėgmės pokytis visoje Lietuvos teritorijoje 2061–2090 m., apskaičiuotas  $TM$  modeliu pagal HadCM3-A1B klimato scenarijaus rezultatus, bus -32,1%.



2 pav. Vidutinis gegužės–rugpjūčio mėnesių dirvožemio drėgmės sumažėjimas (%) 2001–2030 m. (a), 2031–2060 m. (b) ir 2061–2090 m. (c), lyginant su 1971–2000 m., apskaičiuotas pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų naudojant  $TM$  modelį. Dirvos drėgmė vertinta % nuo sotinančios drėgmės

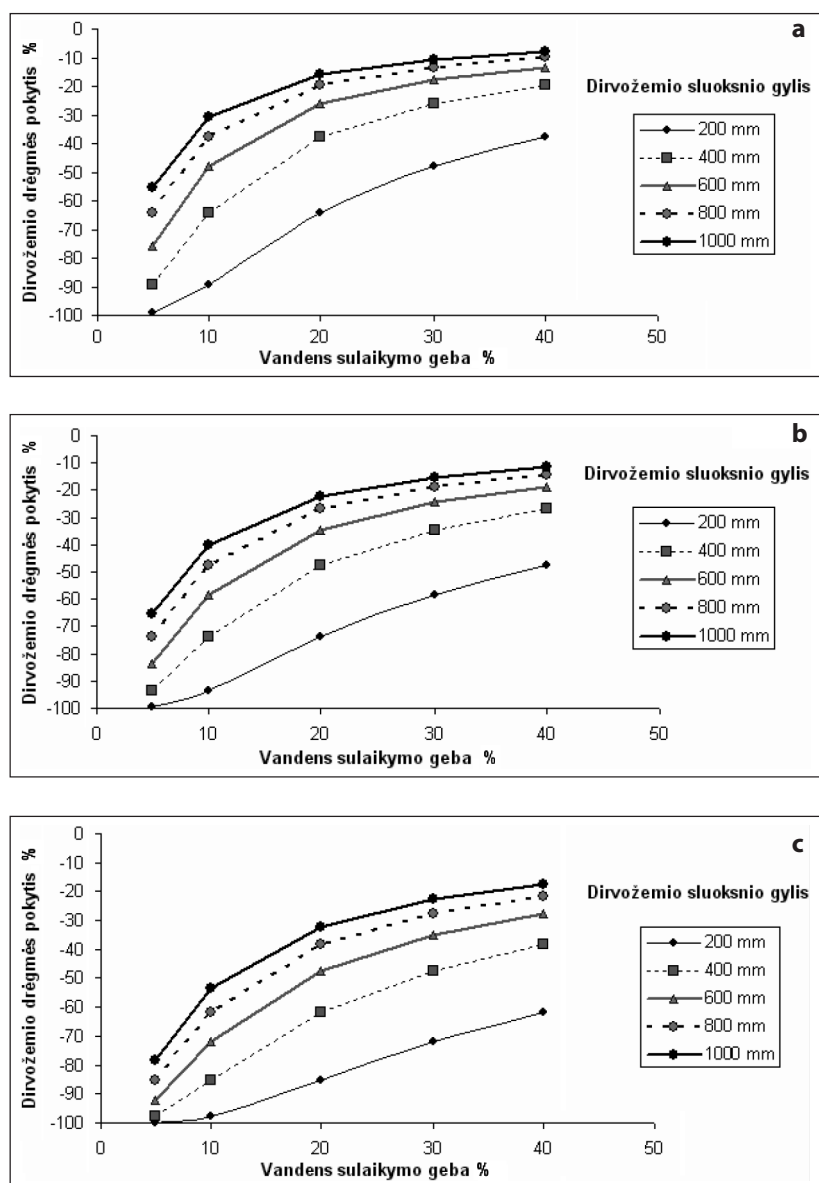
Fig. 2. The mean soil water reduction in May–August (%) in 2001–2030 (a), 2031–2060 (b) and 2061–2090 (c) in comparison with 1971–2000 calculated using the  $TM$  model according to the results of HadCM3-A1B climate scenario. Soil water was equated to specific absorption

Prognozuojamų dirvožemio drėgmės pokyčių pasiskirstymą teritorijoje lemia numatomų kritulių kiekio pasikeitimų regioniniai netolygumai bei su jais susiję nevienodi kritulių, nuotėkio ir garavimo skirtumai. Labiausiai dirvos drėgmė sumažės Vakarų Lietuvoje. Naudojantis TM modeliu pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų numatoma, kad pokyčiai į XXI a. pabaigą plėsis iš vakarų į rytus: 2031–2060 m. itin smarkiai sumažės dirvožemio drėgmė tik Žemaitijoje (2 pav., b), o 2061–2090 m. ir nemenkoje Vidurio Lietuvos dalyje (2 pav., c).

Pateikti skaičiavimų rezultatai gauti dirbant su TM modelio versija, pritaikyta 1000 mm storio dirvožemio sluoksniui ir 20% vandens sulaikymo gebai. Pakeitus šiuos dydžius, būtų gauti kitokie modeliavimo rezultatai. Trečiame paveiksle parodyta modeliavimo rezultatų vidurkių (visai Lietuvai) priklausomybė atskirais laikotarpiais nuo analizuojamo dirvožemio

sluoksnio gylio bei sulaikymo gebos. Matome aiškią tendenciją: ateityje negilame dirvožemio sluoksnyje drėgmės kiekis labai sumažės. Tai ypač gerai iliustruoja linija, vaizduojanti 200 mm storio sluoksnio modeliavimo rezultatus: visais analizuotais ateities laikotarpiais, esant menkai (5–10%) vandens sulaikymo gebai, ji rodo dirvožemio drėgmės pokyčius maždaug 90–100%. Galima teigti, jog Lietuvos regionuose, pasižyminčiuose smėlingais gruntais bei smėlinėmis dirvodarinėmis uolienomis (visų pirma Dzūkijoje), sausas paviršinis dirvožemio sluoksnis gegužės–rugpjūčio mėnesiais jau netrukus bus normalus reiškinys. Kad tai nėra klaidinga prognozė, patvirtina jau šiuo metu vis dažnėjančios sausros.

Pastebimas ir bendras (nepriklausantis nuo dirvos sluoksnio gylio) dirvožemio vandens sulaikymo gebos poveikis modeliavimo rezultatams. Pasirinkus didesnes vandens sulaikymo



3 pav. Vidutinio dirvožemio drėgmės pokyčio (%) gegužės–rugpjūčio mėnesiais Lietuvoje priklausomybė nuo modeliuojant naudotos dirvožemio vandens sulaikymo gebos ir dirvožemio sluoksnio gylio, apskaičiuoto pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų panaudojant TM modelį, lyginant su 1971–2000 m.: a – 2001–2030 m., b – 2031–2060 m., c – 2061–2090 m. (dirvožemio drėgmė % nuo sotinančios drėgmės)

Fig. 3. The mean soil water changes of the May–August season in Lithuania (%) in relation to soil water retention and layer depth in comparison with 1971–2000, calculated using the TM model according to results of HadCM3-A1B climate scenario: a – 2001–2030, b – 2031–2060, c – 2061–2090. Soil water equated to specific absorption

gebos reikšmes, gaunamas nedidelis drėgmės kiekio dirvožemyje sumažėjimas (lyginant su 1971–2000 m.). Pavyzdžiui: esant 40% sulaikymo gebai (dirvodarinės uolienos struktūra artima moliui), 2001–2030 m. dirvos drėgmės pokytis svyruoja nuo –8% (1000 mm sluoksnyje) iki –37,5% (200 mm sluoksnyje); tuo tarpu esant 5% sulaikymo gebai (smėlis) tais pačiais metais – nuo –99% (1000 mm) iki –55,1% (200 mm).

Siekdami atskleisti priežastis, sukėlusias tokius intensyvius dirvožemio drėgmės pakitimus Lietuvoje XXI a., pasitelkėme kitą vandens balanso principu veikiančią WatBal modelį. Šis modelis, taikant jam HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijaus rezultatus, ypač gerai atspindi garavimo pokyčius (4 pav.) – vieną svarbiausių dirvožemio drėgmės kaitą lemiančių aplinkybių.

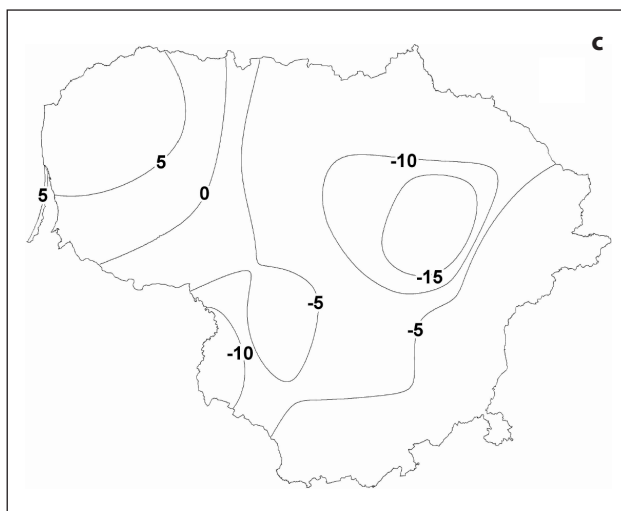
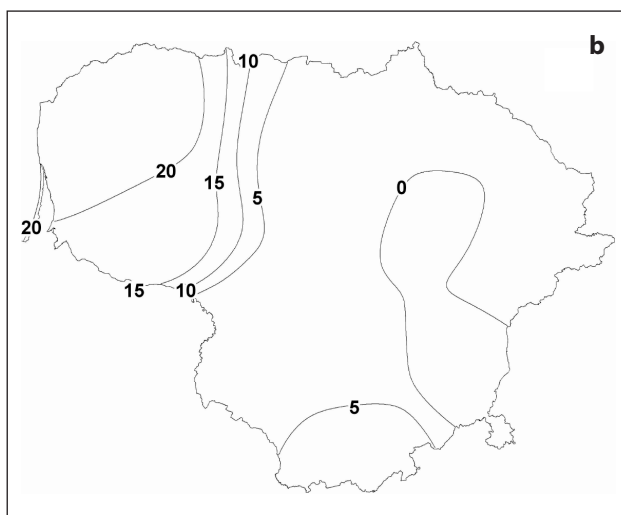
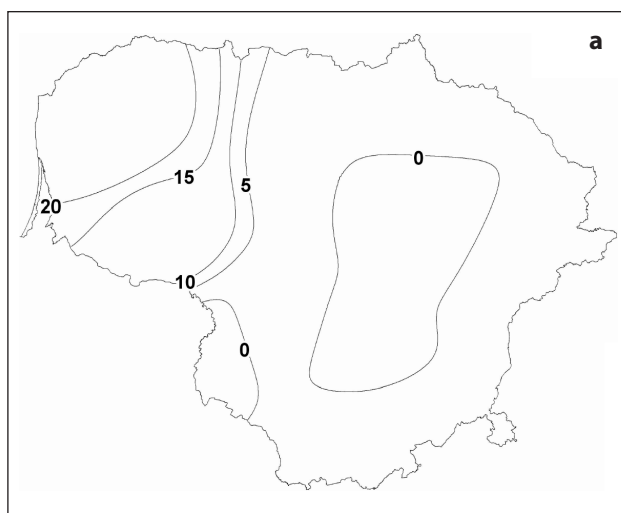
Skaičiavimo šiuo modeliu rezultatai rodo, kad Vakarų Lietuvoje bendras drėgmės kiekis, išgaruojantis nuo sausumos paviršiaus bei vandens telkinių, XXI a. I pusėje (2030 ir 2060 m.) smarkiai padidėja (4 pav., a, b). Taigi garavimas yra viena pagrindinių dirvožemio drėgmės praradimo priežasčių (bent jau šiuo laikotarpiu). Vakarų Žemaitijoje tiek 2030, tiek 2060 m., prognozuojant pagal HadCM3-A1B scenarijų, garavimo padidėjimas pasiekia tikrai nemenką 20% ribą. 2060 m. 5% padidėja garavimas ir Pietų Lietuvos rajonuose (4 pav., b).

XXI a. pabaigoje HadCM3-A1B klimato scenarijus jau neleidžia laikyti garavimo esmine dirvožemio drėgmės praradimo priežastimi. Vidurio bei Rytų Lietuvoje garavimo reikšmės, lyginant su dabartinėmis, netgi kiek sumažės (sumažėjimas ypač ryškus Šventosios – Nevėžio – Lėvens takoskyros zonoje ir Šventosios vidurupyje – iki –15%) (4 pav., c). Tiesioginį poveikį dirvožemio prarandamai drėgmei garavimas tebeturės tik pačiuose Lietuvos Vakaruose – čia jis vis dar 5% didesnis nei dabar. Pagrindinis dirvožemio išdžiūvimą lemiantis veiksnys XXI a. gale bus sumažėjęs kritulių kiekis.

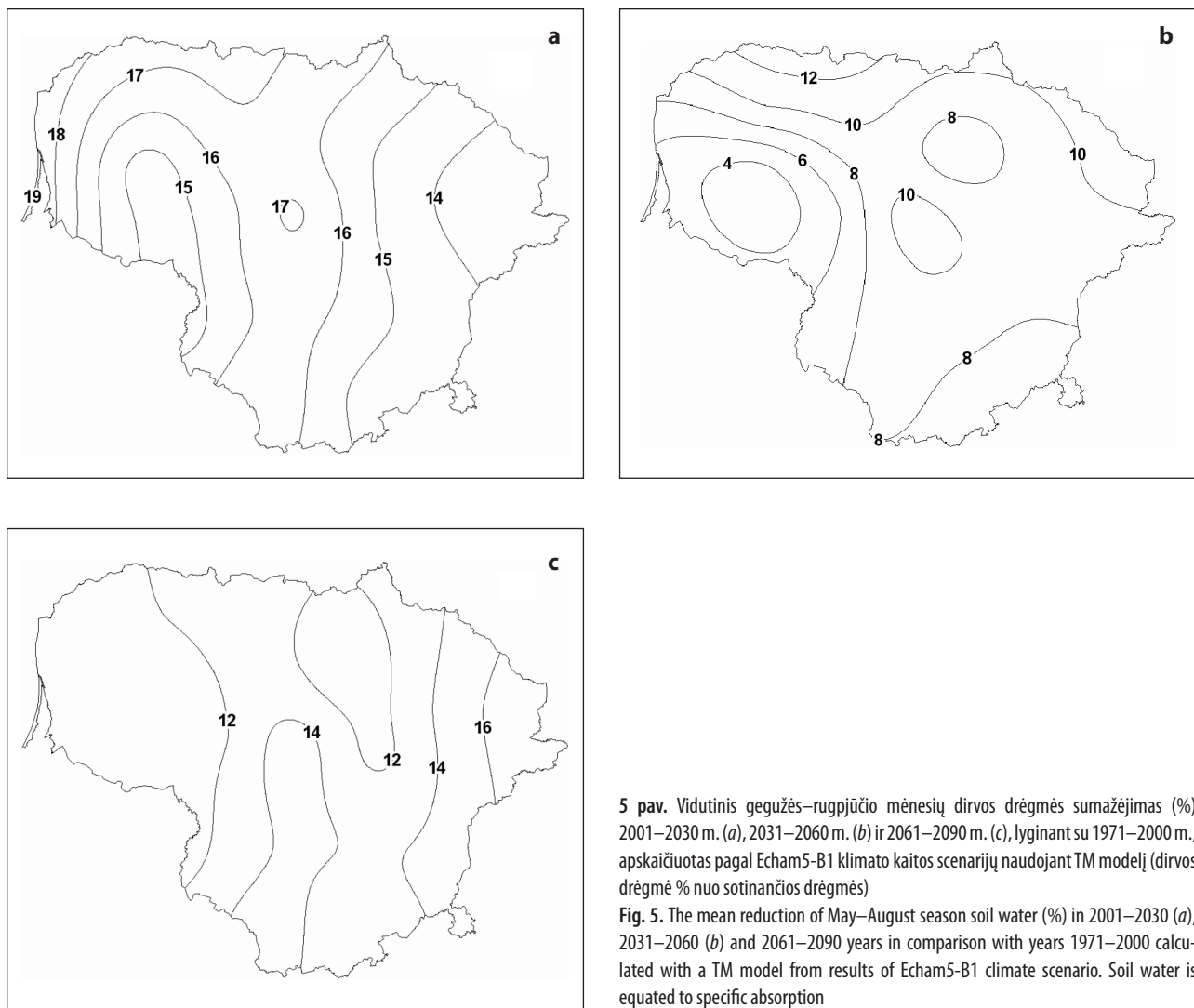
**Prognozė pagal Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų.** TM modeliui pritaikius Echam5-B1 klimato kaitos scenarijumis pagrįstus duomenis, gauti rezultatai taip pat rodo ateityje lauktiną dirvožemio drėgmės sumažėjimą. Tačiau pagal šį scenarijų numatoma situacija neatrodo tokia kritiška, be to, drėgmės pokyčiai kiek kitaip pasiskirstys įvairiais XXI a. laikotarpiais.

Analizuojant 2001–2030 m., TM modelio prognozės pagal Echam5-B1 klimato scenarijų (5 pav., a) daug kuo primena HadCM3-A1B scenarijaus rezultatus (2 pav., c). Spėjama, kad drėgmės kiekis dirvožemyje sumažės nuo 14% (Rytų Lietuvoje) iki >18% (Vakarų Lietuvoje). Toks drėgmės pokyčių regioninis išsidėstymas rodo aiškų klimato veiksnių poveikį. Didžiausią įtaką dirvožemio drėgmės sumažėjimui 2001–2030 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais pagal Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų turės gerokai mažesnis kritulių kiekis. Mažesnė nei kitur drėgmė pirmiausia numatoma regionuose, šiuo metu pasižyminčiuose nemažu kritulių kiekiu bei nuklotuose sunkesnėmis dirvodarinėmis uolienomis (1971–2000 m. ten aktyvios vegetacijos laikotarpiu sukaupiama daugiau drėgmės).

2031–2060 m. numatomas sumažėjęs dirvos drėgmės kiekis intensyvios vegetacijos laikotarpiu – nuo 4% iki 12% (5 pav., b). Didžiausias pokyčių (lyginant su 1971–2000 m.) spektras šiuo



4 pav. Vidutiniai gegužės–rugpjūčio mėnesių bendro garavimo pokyčiai (%) 2030 m. (a), 2060 metais (b) ir 2090 m. (c), lyginant su baziniu laikotarpiu, apskaičiuoti pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų naudojant WatBal modelį  
Fig. 4. The mean evaporation (%) of the May–August season in comparison with the basic period calculated using the WatBal model from the results of HadCM3-A1B climate scenario: a – 2030, b – 2060, c – 2090.



5 pav. Vidutinis gegužės–rugpjūčio mėnesių dirvos drėgmės sumažėjimas (%) 2001–2030 m. (a), 2031–2060 m. (b) ir 2061–2090 m. (c), lyginant su 1971–2000 m., apskaičiuotas pagal Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų naudojant TM modelį (dirvos drėgmė % nuo sotinančios drėgmės)

Fig. 5. The mean reduction of May–August season soil water (%) in 2001–2030 (a), 2031–2060 (b) and 2061–2090 years in comparison with years 1971–2000 calculated with a TM model from results of Echam5-B1 climate scenario. Soil water is equated to specific absorption

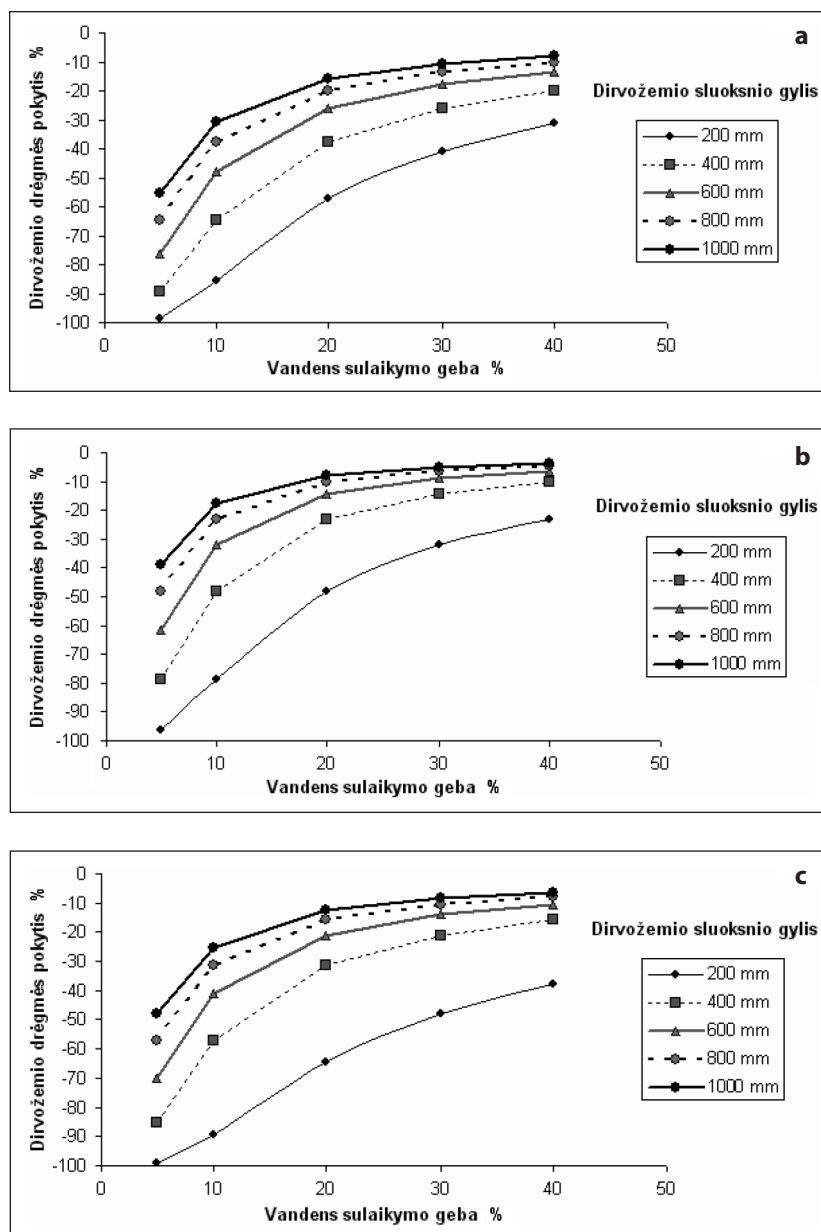
periodu laukiamas Žemaitijoje: labiausiai dirvožemio drėgmė sumažės šiauriniuose Žemaitijos rajonuose ir beveik nepakis pietiniuose. Vidutinis pokytis visoje Lietuvoje šiuo laikotarpiu sudarytų  $-7,9\%$ . Pagal Echam5-B1 scenarijų pagrindiniu veiksniu, nulėmusiu mažesnę nei 2001–2030 m. drėgmės pokytį, laikytinas smarkiai išaugęs kritulių kiekis gegužės–rugpjūčio mėnesiais.

2061–2090 m. drėgmės kiekio pokytis dirvožemyje intensyvios vegetacijos laikotarpiu, apskaičiuotas pagal Echam5-B1 scenarijų naudojant TM modelį, sąlyginai vėl didesnis. Lyginant su 1971–2000 m., dirvožemio drėgmė sumažės nuo  $12\%$  Vakarų Lietuvoje iki  $16\%$  Šiaurės Rytų Lietuvoje (5 pav., c). Vidutinis pokytis visoje Lietuvoje sudarys  $-12,6\%$ . Tokią situaciją lems daugelyje šalies rajonų labiau nei krituliai išaugęs potencialus garavimas (Echam5-B1 scenarijus XXI a. pabaigoje prognozuoja aukštesnę oro temperatūrą šiltuoju metų sezonu).

Analizuojant dirvožemio drėgmės pokyčių priklausomybę nuo tyrimams pasirinkto sluoksnio gylio bei vandens sulaikymo gebos, matyti, kad, skirtingai nei naudojant HadCM3-A1B klimato scenarijų, pritaikius Echam5-B1 scenarijų gautos gana

panašios priklausomybės visais nagrinėtais trisdešimtmečiais (6 pav.). Labiausiai skiriasi 200 mm gylio dirvožemio sluoksnio rodikliai. Antai 2001–2030 m. (6 pav., a) drėgmės pokyčiai šiame gylyje svyruoja nuo  $-98,4\%$  (rupiame smėlyje) iki  $-31,2\%$  (molyje). Mažiausiai santykinai išdžiūvęs 200 mm paviršinis dirvos sluoksnis intensyvios vegetacijos laikotarpiu bus 2031–2060 m. – nuo  $-23,0\%$  iki  $-96,4\%$  (6 pav., b). Regioninių dirvožemio drėgmės pokyčių analizės (5 pav., b) rezultatais, šiuo trisdešimtmečiu mažiausiai išdžiūsta ir 1000 mm gylio, 20% vandens sulaikymo gebos (priesmėlio) sluoksnis visoje Lietuvos teritorijoje. Todėl 2031–2060 m. pasižymi santykinai nedideliais drėgmės pokyčiais ir skirtingo gylio sluoksnuose bei kitokios vandens sulaikymo gebos dirvožemiuose. Pavyzdžiui, 1000 mm gylio sluoksnyje drėgmės kiekis šiuo laikotarpiu (palyginus su 1971–2000 m.) sumažėja nuo  $-3,7\%$  (molyje) iki  $-38,7\%$  (rupiame smėlyje); o 600 mm atitinkamai – nuo  $-6,5\%$  iki  $-61,4\%$  (6 pav., b).

Dirvožemio drėgmės pokyčio priklausomybė nuo grunto bei analizuojamo sluoksnio gylio 2061–2090 m. (6 pav., c) daugeliu atžvilgių panaši kaip 2001–2030 m. (6 pav., a). 1000 mm gylio sluoksnyje numatomi drėgmės pokyčiai nuo  $-6,3\%$



**6 pav.** Vidutinio gegužės–rugpjūčio mėnesių dirvožemio drėgmės pokyčio (%) Lietuvoje priklausomybė nuo modeliujant naudotos dirvožemio vandens sulaikymo gebos ir dirvožemio sluoksnio gylio, apskaičiuoto pagal Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų naudojant TM modelį, lyginant su 1971–2000 m.: a – 2001–2030 m., b – 2031–2060 m., c – 2061–2090 m. (dirvos drėgmė % nuo sotinančios drėgmės)

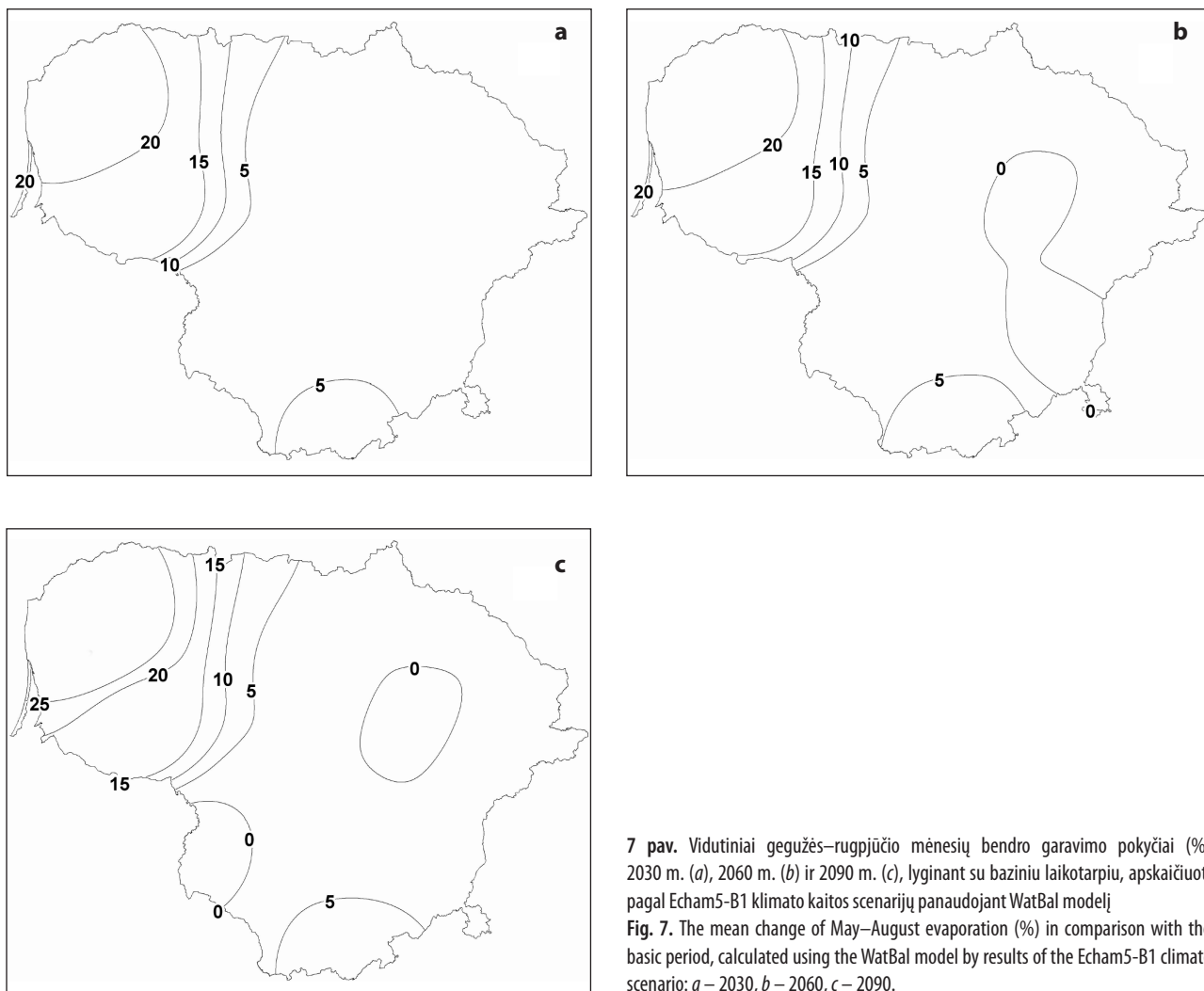
**Fig. 6.** The May–August mean of soil water changes in Lithuania (%) reliance on the soil water retention and the layers depth in comparison with years 1971–2000 calculated using the TM model from the results of the Echam5-B1 climate scenario: a – 2001–2030, b – 2031–2060, c – 2061–2090. Soil water is equated to specific absorption

(molyje) iki  $-47,9\%$  (rupiame smėlyje), kitų gylių sluoksnuose atitinkamai: 600 mm – nuo  $-10,5\%$  iki  $-70,0\%$ , 200 mm – nuo  $-37,7\%$  iki  $-99,1\%$ .

Siekdami įvertinti garavimo poveikį dirvožemio drėgmės kaitai, pasitelkėme WatBal hidrologinį modelį. Tyrimai rodo, kad pritaikius Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų laukiamas gana didelis garavimo padidėjimas. Pabrėžtina, kad, skirtingai nei pagal HadCM3-A1B klimato kaitos scenarijų, Echam5-B1 scenarijaus rezultatai, analizuojant jo duomenis WatBal modeliu, leidžia tikėtis nuolatinio bendrojo paviršiaus garavimo padidėjimo XXI a. (7 pav.). Visais atvejais labiausiai garavimas padidėja Vakarų Lietuvos regione. 2030 ir 2060 m. garavimo pa-

didėjimas čia kiek viršys 20% reikšmę (didžiausias bus Šiaurės Vakarų Žemaitijoje) (7 pav., a–b), nedaug (maždaug 5%) jis išaugs ir Pietų Lietuvoje. Teritorinis garavimo pokyčių pasiskirstymas išliks analogiškas ir 2090 m. (7 pav., c), bet Lietuvos vakarinėje dalyje jo reikšmės bus daugiau nei 25% didesnės už stebimas šiuo metu.

Tai, jog Echam5-B1 scenarijaus analizės naudojant TM modelį rezultatai rodo kiek mažesnę laukiamą dirvų išdžiūvimą nei analogiška analizė pagal HadCM3-A1B scenarijų, pirmiausia sietina su laukiamu didesniu kritulių kiekiu pagal Echam5-B1 scenarijų. Tačiau, kaip matyti iš pateiktų garavimo kaitos žemėlapių, nemenka dalis šių kritulių išgaruos.



7 pav. Vidutiniai gegužės–rugpjūčio mėnesių bendro garavimo pokyčiai (%) 2030 m. (a), 2060 m. (b) ir 2090 m. (c), lyginant su baziniu laikotarpiu, apskaičiuoti pagal Echam5-B1 klimato kaitos scenarijų panaudojant WatBal modelį  
 Fig. 7. The mean change of May–August evaporation (%) in comparison with the basic period, calculated using the WatBal model by results of the Echam5-B1 climate scenario: a – 2030, b – 2060, c – 2090.

## IŠVADOS

Prognozuojant dirvožemio drėgmės kaitą pagal HadCM3-A1B klimato scenarijaus rezultatus ir TM hidrologinį modelį, kiekvieną kitą XXI a. trisdešimtmetį dirvožemio drėgmė bus vis mažesnė. Analizuoto 1000 mm storio, 20% vandens sulaikymo gebos sluoksnio drėgmė 2001–2030 m. gegužės–rugpjūčio laikotarpiu, lyginant su 1971–2000 m., vietomis sumažės >18%, 2031–2060 m. – >24%, o 2061–2090 m. – >31,5%. Ryškus sumažėjimas bus pastebimas visoje šalies teritorijoje, tačiau ypač dideli pokyčiai numatomi Vakarų Lietuvoje. Remiantis HadCM3-A1B klimato scenarijaus rezultatais ir WatBal modeliu, pagrindinės dirvožemio drėgmės mažėjimo priežastys XXI a. I pusėje – bendras paviršiaus garavimas (dėl pakilusios vasaros temperatūros 2030 m. ir 2060 m., lyginant su šiuo laikotarpiu, padidėjantis iki 20% ir daugiau). XXI a. pabaigoje dirvožemio drėgmės mažėjimą turėtų lemti sumažėjęs kritulių kiekis.

Dirvožemio drėgmės pokyčiai, kuriuos XXI a. numato TM hidrologinis modelis pagal Echam5-B1 klimato scenarijaus rezultatus, kur kas mažiau skiriasi nuo šiuo laikotarpiu nei gauti naudojant HadCM3-A1B scenarijaus informaciją. Tačiau ir šio scenarijaus duomenimis, dirvožemio drėgmė Lietuvoje sumažės. 1000 mm storio, 20% vandens sulaikymo gebos dirvo-

žemio sluoksnio drėgmė, lyginant su 1971–2000 m., labiausiai sumažės 2001–2030 m. (14–19%) ir 2061–2090 m. (12–16%). Labai didelės drėgmės pokyčių teritorinės sklaidos TM modelis pagal Echam5-B1 klimato scenarijų Lietuvoje nepateikia. Mažesni dirvožemio drėgmės pokyčiai pagal Echam5-B1 scenarijų, priešingai nei naudojant HadCM3-A1B scenarijaus rezultatus, gauti pirmiausia dėl planuojamo didesnio kritulių kiekio (jo nepaveikia net WatBal modelio prognozuojamas gerokai didesnis bendras paviršiaus garavimas).

Tiek HadCM3-A1B, tiek Echam5-B1 klimato scenarijų rezultatai rodo, kad labiausiai išdžius ant lengvų dirvodarinių uolienu (smėlių ir priemėlių) susiformavęs dirvožemio paviršinis sluoksnis. Manytina, kad XXI a. II pusėje 200 mm storio dirvožemio sluoksnis jau aktyvios vegetacijos laikotarpiu pradžioje pasižymės gerokai mažesniu nei dabar drėgmės kiekiu.

## PADĖKA

Autoriai dėkingi Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui už paramą rengiant šį darbą.



## Literatūra

1. Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. (2003). Atmosferos taršos kartos urbanizuotuose teritorijose prognoze. *Geografijos metraštis*. 36(2): 7–18.
2. Gordon C., Cooper C., Senior C. A., Banks H., Gregory J. M., Johns T. C., Mitchell J. F. B., Wood R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*. 16: 147–168.
3. Kaczmarek Z., Krasuski D. (1991). *Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability*. IIASA Working Paper WP-91-047. Laxenburg.
4. Kilkus K., Štaras A., Rimkus E., Valiuškevičius G. (2006). Changes in Water Balance Structure of Lithuanian Rivers under Different Climate Change Scenarios. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2(36): 3–10.
5. *Lietuvos dirvožemiai* (kolektyvinė monografija) (2001). Vilnius: Lietuvos mokslas. 32 knyga.
6. Motuzas A. J., Buivydaite V., Danilevičius V., Šleiny R. (1996). *Dirvotyra*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla.
7. Nakicenovic N., Swart R. (eds) (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press.
8. Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. (2007). Lietuvos klimato pokyčių XXI a. prognozė. *Geografija*. 43(2): 37–47.
9. Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornblueh L., Manzini E., Rhodin T., Schlese U., Schulzweida U., Tompkins A. (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description. *Max Planck Institut Report*. 349. Hamburg.
10. Samuila M. (2000). Dirvožemio vandens balanso elementų skaičiavimas WatBal modeliu. *Geografijos metraštis*. 33: 430–444.
11. Steenhuis T. S., Van der Molen W. H. (1986). The Thornthwaite–Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge. *Journal of Hydrology*. 84: 221–229.
12. Štaras A. (2002). Vandens balanso modelių pritaikymo galimybės upių nuotėkio analizei. *Geografija*. 38(1): 11–14.
13. Thornthwaite C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographic Review*. 38: 55–94.
14. Thornthwaite C. W., Mather J. R. (1955). The water balance. *Publications in Climatology*. 8(1): 1–86.
15. Thornthwaite C. W., Mather J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*. 10(3): 183–243.
16. Dirsė A. (2001). Žemės ūkio augalų vegetacijos laikotarpių drėgmingumas. *Žemės ūkio mokslai*. 3: 51–56.
17. Auškalnis A., Feiza V. (2006). The impact of soil tillage minimization on sandy loam soil. *Žemdirbystė / Agriculture*. 94/3: 55–64.

Edvinas Stonevičius, Andrius Štaras, Gintaras Valiuškevičius

### FORECAST OF SOIL WATER REGIME CHANGES IN LITHUANIA UNDER DIFFERENT CLIMATE CHANGE SCENARIOS

#### Summary

The global warming may induce intensive changes in soil water regime. In this article, we analyse tendencies of changes in the soil water content in Lithuania for the period from 2001 to 2090. Results of the work are based on the calculations of soil water regime and its change in the 0–1000 mm layer. The analysis was based on the water balance method. To forecast the climate, the general circulation models HadCM3 and Echam5 with appropriate emission scenarios A1B and B1 were employed.

To characterize the meteorological situation in Lithuania, we used information of 16 meteorological stations. The hydrological situation was characterized by 18 various catchments. The information was analysed using the Thornthwaite–Mather (TM) and WatBal hydrological models.

When in the analysis results of the climate change scenario HadCM3-A1B, were applied using the TM model estimated that soil water in 2001–2090 would decrease. In comparison with 1971–2000, soil water content reduction in May–August in 2001–2030 will total 18%, in 2031–2060 24% and in 2061–2090 31.5%. Very intensive changes were predicted in West Lithuania. The main reason for soil water reduction (according to WatBal model) is increase of evaporation in the 21st century.

The soil water forecast by TM hydrological models applying results of the climate scenario Echam5-B1 established a less significant water decrease. The maximum soil water depression was found for 2001–2030 (14–19%) and 2061–2090 (12–16%). The main reason that determined these soil water forecast results is more abundant precipitation in the scenario Echam5-B1.

The highest desiccation will occur in the surface layer of soil on a light texture ground (both HadCM3-A1B and Echam5-B1 climate scenarios).

**Key words:** soil, soil water regime, forecast, climate change, simulation