

**Seminaras “*Dirvožemio organinės anglies tvarumas agro- ir miško ekosistemose*”
(LAMMC Miškų institutas, 2015 11 25)**

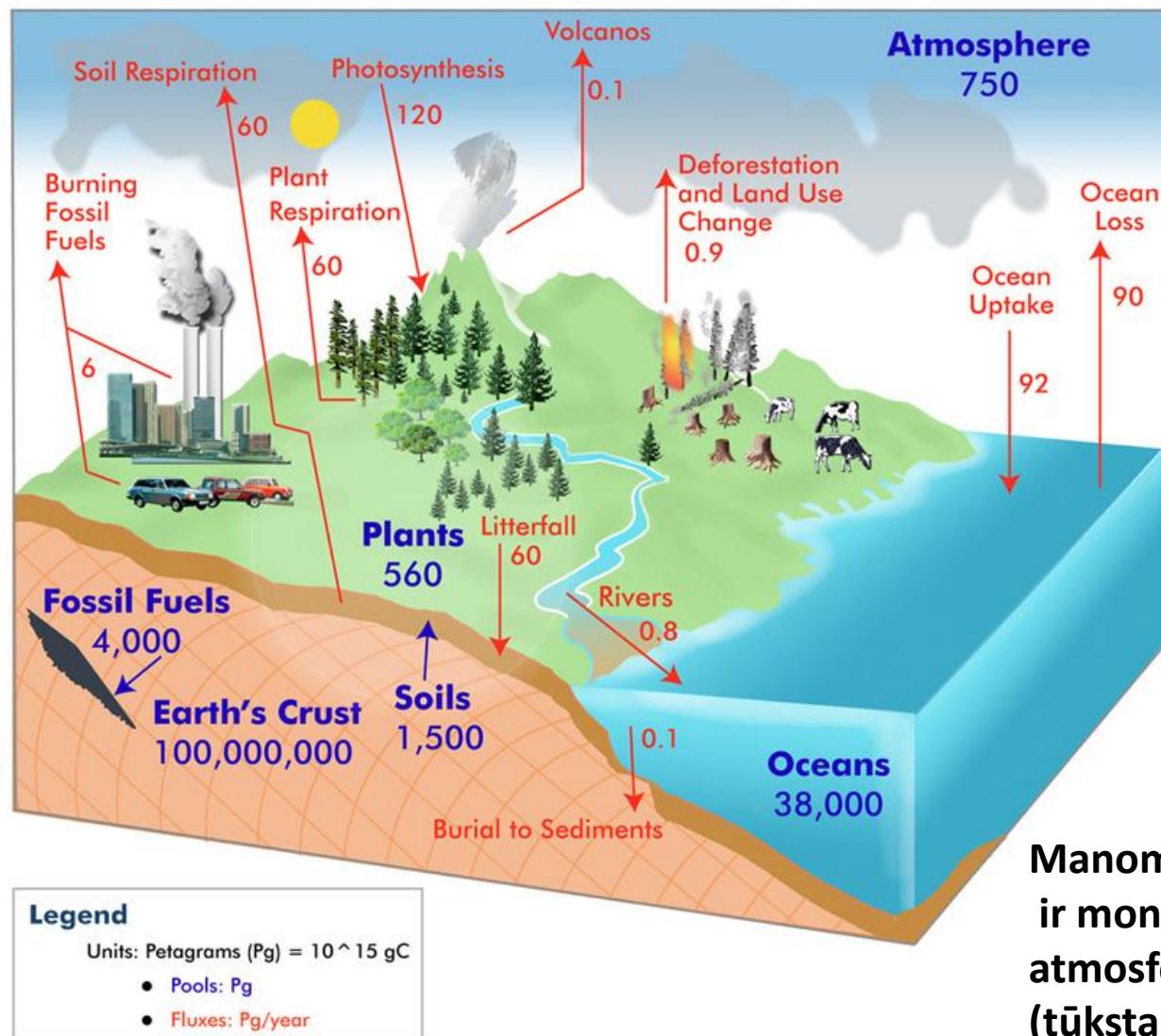
DIRVOŽEMIO ORGANINĖS ANGLIES TVARUMAS

**Dr. Kęstutis Armolaitis, doktorantai Paulius Garbaravičius ir Milda Muraškienė
(LAMMC Miškų institutas)**



- Įvadas (3-15 skaidrės): anglies ciklai, dirvožemio organinė anglis (DOC), anglies sekvestracija
- DOC sankaupos Lietuvos dirvožemiuose (16-17)
- Vandenyje tirpios DOC išplovimas (18-22)
- DOC tvarumas (23-32)
- Dirvožemio „kvėpavimas“ (34-36)
- Anglis žuvusioje medienoje (37-39)

Global Carbon Cycle



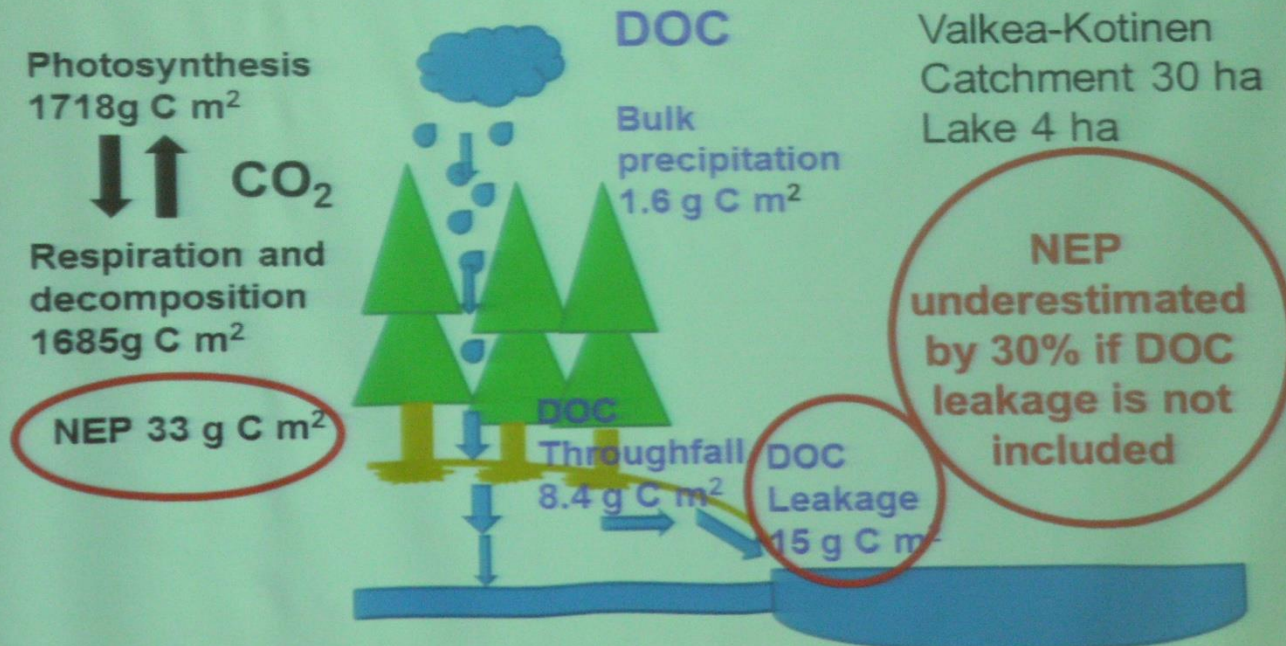
Manoma, kad anglies (anglies dioksidas ir monoksidas, metanas) per metus atmosferoje padaugēja apie 6 Gt (tūkstantis miljonu)

<http://soilcarboncenter.k-state.edu>

- **Žemėje anglies (C) daugiausia sukaupta vandenynuose – 85 proc., iškastiniame kure – apie 9 proc., dirvožemiuose – apie 3 proc., atmosferoje – 2 proc., augalijos biomasėje – apie 1 proc.**
- **Dirvožemyje org. C san­kaupa yra apie 2 kartus didesnė negu atmosferoje ir beveik 3 k. - negu augalų biomasėje (Europos mastu miško dirvožemiuose org. C sukaup­ta apie 1,5 karto daugiau negu antžeminėje medžių biomasėje) (de Vries et al., 2003; Guggenberger, 2010).**

Soil carbon sequestration for climate, food security and ecosystems services (Reykjavik, Iceland, May 26-29, 2013)

Annual C fluxes through a boreal coniferous forest ecosystem in southern Finland



Source: Rasilo 2013

1 lentelė. Anglies apytaka miško ir pievų ekosistemose (Karlberg et al., 2006)

Ekosistema ir jos dalys	C sandauga, g m ⁻²	C išlaidos į atmosferą, g m ⁻² per metus	Srautai ekosistemoje, g m ⁻² per metus	C kaupimas, g m ⁻² per metus
<u>Pieva</u> dirvožemis	12800±110	340±20	0,3±0,01*	
gyvoji dirvožemio danga	340±30	400±60	290±20**	690±80
Viso ekosistemoje	13140±140	740±80	290,3±20,0	690±80
<u>Lapuočių (juodalksnio) medynai</u> dirvožemis	18200±80	280±10	0,3±0,4*	
gyvoji dirvožemio danga	140±30	730±170	120±30**	850±190
medžių ardas	7700±460	510±90	130±30**	640±180
Viso ekosistemoje	26040±570	1520±270	250,3±60,4	1490±370
<u>Spygliuočių (pušies) medynai</u> dirvožemis	8000±130	310±30	0,3±0,03*	
gyvoji dirvožemio danga	110±40	40±10	30±10**	60±30
medžių ardas	6900±190	620±100	270±40**	980±140
Viso ekosistemoje	15010	970±140	300,3±50,0	1040±170

* išplovimas iš dirvožemio į gruntinius vandenis;

** augalų nuokritos ir apmirusios šaknys.

Kaip matyti iš 1 lentelės, Pietų Švedijoje pušynas per metus augalų biomasėje sukaupia 10,4 t ha⁻¹ anglies (medžių arde – 9,8 t C ha⁻¹, gyvojoje dirvožemio dangoje – 0,6 t C ha⁻¹). Tačiau net 3,1 t ha⁻¹ per metus arba apie 30% anglies į atmosferą „grąžina“ dirvožemis dėl mikrofloros kvėpavimo, nors su dirvožemio tirpalu į gruntinius vandenis per metus išsiplauna tik 3 kg ha⁻¹ organinės anglies.

- Soil organic matter refers to a complex of large and amorphous organic molecules and particles derived from the **humification of aboveground and belowground litter**, and incorporated into the soil, either as free particles or bound to mineral soil particles. It also includes **organic acids, dead and living microorganisms**, and the substances synthesized from their breakdown products (IPCC, 2003, Chapter 3)

- **Dirvožemių, kaip ir kitų sausumos ekosistemų atsinaujinančių komponentų (augalijos, gyvūnijos, mikrobiotos) kokybę, produktyvumą ir tvarumą lemia geba kaupti organines medžiagas (Franzmeier et al., 1985; Vaičys ir kt., 1997; Šlepetienė et al., 2008; Lal, 2009 ir kt.).**
- **Be to, organinės anglies kaupimas dirvožemiuose gali sušvelninti prognozuojamos klimato kaitos, ypač pašiltėjimo, globalines pasekmes (UNFCCC, 1997; IPCC, 2003; 2006; 2007).**
- **Anglies sekvestracija dirvožemyje – ilgalaikė atmosferos CO₂ fiksacija dirvožemio humuse (fitosekvestracija) ir neorganiniuose junginiuose (antriniai karbonatai) (Lal, 2013).**

- **SOC is determined in fine (<2 mm) mineral soil.**
- **Living fine roots and the mycelia of ectomycorrhizal fungi are often included in the SOM (COST Action FP0803: Belowground carbon turnover in European Forest, 2009-2013).**
- **Annually, about 0.9 t/ha carbon flow into the forest soils by the fine root turnover, and about 0.4 t/ha carbon by the mycelia turnover (Godbold et al., 2006; Bruner and Godbold, 2007).**

- **Durpinis (*histic*) horizontas (LTDK-99):**

≥ 180 gOC/kg, jeigu mineralinėje frakcijoje yra 60 ir daugiau proc. molio dalelių;

≥ 120 gOC/kg, jeigu mineralinėje frakcijoje nėra molio.

Soil carbon sequestration for climate, food security and ecosystems services
(Reykjavik, Iceland, May 26-29, 2013)

Lars Vesterdal: Forests and C-seg.

Afforestation: Cropland afforestation gives ca. 30% incr. SOC; grassland afforestation ~ 0%

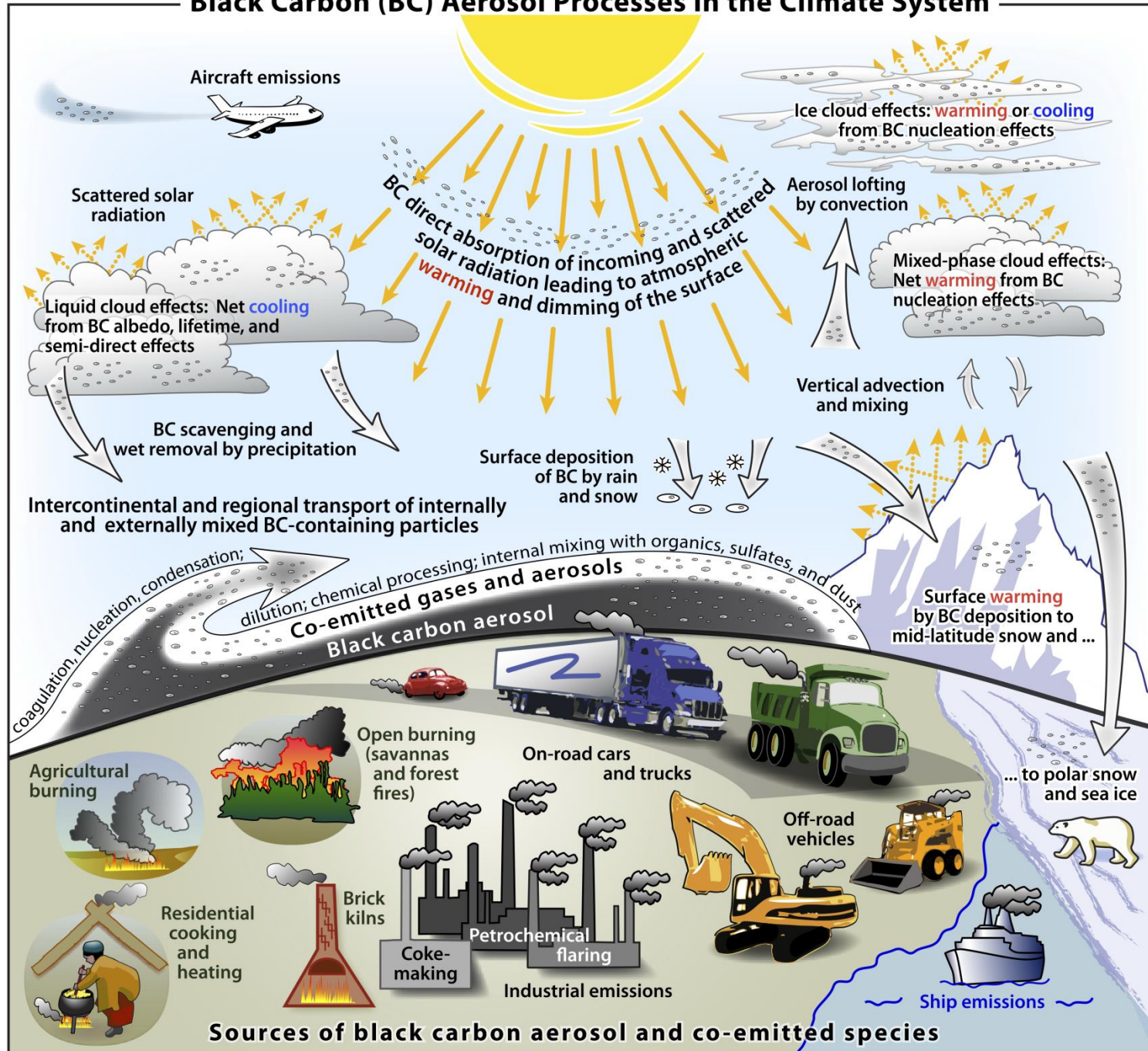
Tomas Kätterer: Important to define *C-seq.*: “*Net removal of atmospheric CO₂ at the global scale*”.

Hlynur Óskarsson: Wetlands cover ca. 3% of the global land area; but contain 20-30% of the terrestrial stocks.

- After final harvesting soil temperature may go up and the decomposition of SOM may increase. For the rest of the rotation period the stand is usually a carbon sink due to accumulation of OC in the soil (Nabuurs et al., 2008).
- Afforestation of arable/abandoned land: SOC pool could increase after 30-40 years (Vesterdal et al., 2013).
- SOC stocks can be increased by 200-500% in forest floors and by 40-50% in mineral topsoil by tree species change (Vesterdal et al., 2013).
- Overall fertilization increased soil C storage due to increased litter production and reduced soil respiration (Nabuurs et al., 2008).

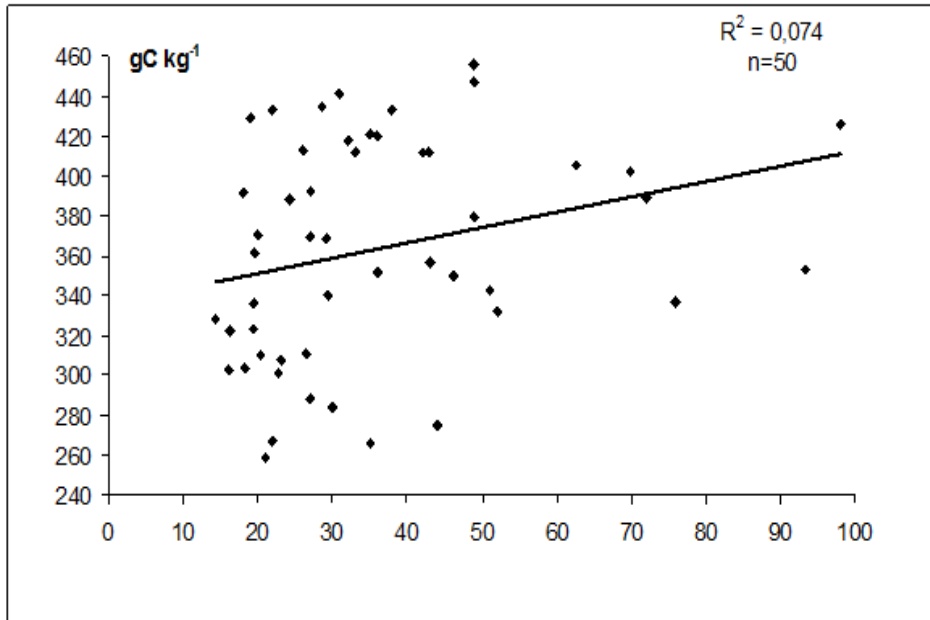
- **Dirvožemio organinė medžiaga (DOM) gali būti tiesiogiai neapsaugota ar fiziškai, chemiškai ir biochemiškai apsaugota nuo mikrobiologinio skaidymo (Six et al., 2002).**
- **Neapsaugotos DOM mineralizavimosi trukmė neviršija 10 m., o atsparios oksidacijai DOM apytakos trukmė tęsiasi ilgiau negu 500 metų (von Lützow et al., 2007; Guggenberger, 2010).**

Black Carbon (BC) Aerosol Processes in the Climate System

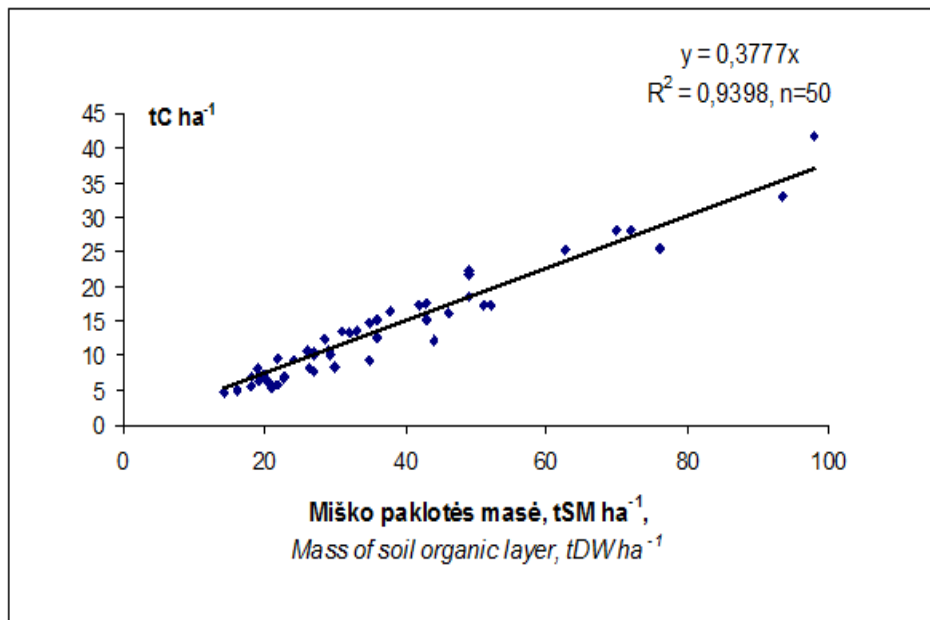


- **Dirvožemyje neapsaugotą org. C sudaro vandenyje tirpi org. C, dirvožemio mikrobiotos C ir org. C lengvoje mineralinio dirvožemio frakcijoje (OC neapsaugota 53-250 μm mikroagregatuose) (Six et al., 2002; von Lützow et al., 2007).**
- **Tuo tarpu, 53-250 μm dydžio mikroagregatuose org. C yra apsaugota fiziškai, o dumblo ir molio <53 μm frakcijoje, - chemiškai ir biochemiškai.**

DOC sankaupos Lietuvos pušynuose



1 pav. DOC koncentracijos (gC kg⁻¹) ir DOC sankaupos (tC ha⁻¹) skirtingos masės miško paklotėje normalaus drėgnumo Na, Nb ir Nc augaviečių pušynuose (smėlžemiai, išplautžemiai, jaurazemiai ir rudžemiai).



Mean concentrations of SOC have had comparative low variation (340-400 gC kg⁻¹) in organic layer of mineral soils of normal moisture. Mean SOC pools in organic layer of Arenosols, Luvisols, Podzols and Cambisols could be calculated using factor 0.38 ($R^2=0.94$) from the mean mass of organic layer (Fig. 1).

DOC sankaupos Lietuvos pušynuose

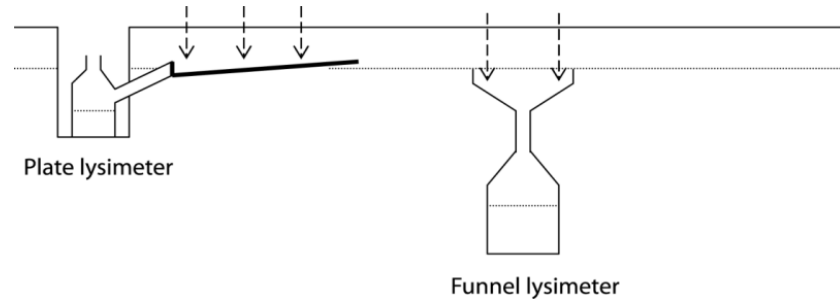
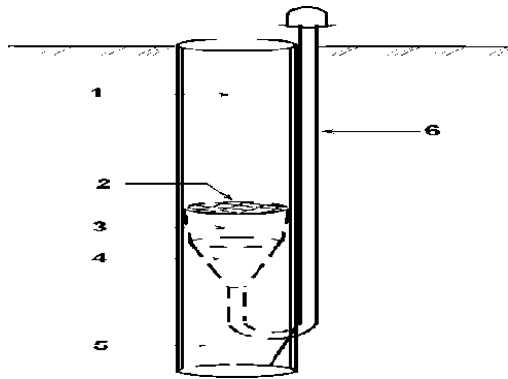
Table 2. Mean pools of organic carbon (tC ha⁻¹) in different mineral and peat soils in Lithuanian Scots pine stands (* Carbon pools in soil organic layer of coniferous forest stands at cold temperate climate: dry forest sites – 27 (17–42) tC ha⁻¹; moist forest sites – 26 (10–48) tC ha⁻¹ (according to IPCC, 2006))

Soil group	In soil organic layer*	0–30 cm			In Lithuania, 0–100 cm	Soil organic layer + 0–100 cm	
		In Lithuania	According to IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (IPCC, 2006)	In Denmark (Verje et al.,2003)		In Lithuania	In Denmark (Verje et al.,2003)
<i>Arenosols</i>	14.2±2.0 (n=20)	29.6±2.4 (n=20)	34	44	39.8±2.1 (n=20)	54.0±4.1 (n=20)	119 (105–134)
<i>Luvisols</i>	22.0±3.3 (n=10)	50.8±12.7 (n=10)	50	51	76.6±14.4 (n=8)	98.6±17.7 (n=10)	88 (76–103)
<i>Podzols</i>	30.0±5.5 (n=10)	60.4±15.0 (n=9)	115 (50)	52	119.7±40.9 (n=9)	149.7±46.4 (n=10)	146 (131–164)
<i>Cambisols</i>	5.3±0.5 (n=3)	37.0±7.1 (n=4)	50	–	52.8±7.1 (n=4)	58.1±7.6 (n=4)	–
<i>Gleysols</i>	1.9±1.2 (n=3)	179.7±23.9 (n=3)	87	–	265.2±23.9 (n=3)	267.1±25.1 (n=3)	–
<i>Albeluvisols</i>	24.3±12.0 (n=3)	61.5±8.3 (n=3)	95	–	81.0±11.8 (n=3)	105.3±23.8 (n=3)	–
<i>Fluvisols</i>	8.2±2.2 (n=2)	43.1±13.0 (n=2)	–	–	86.0±41.9 (n=2)	94.2±44.1 (n=2)	–
<i>Histosols</i>	1.4±0.6	162.8	–	–	641.1	642.5	–
<i>drained Histosols</i>	1.4±0.6	190.1	–	–	736.4	737.8	–

Lithuanian forest soils contain quite specific SOC pools.

Vandenyje tirpios DOC išplovimas

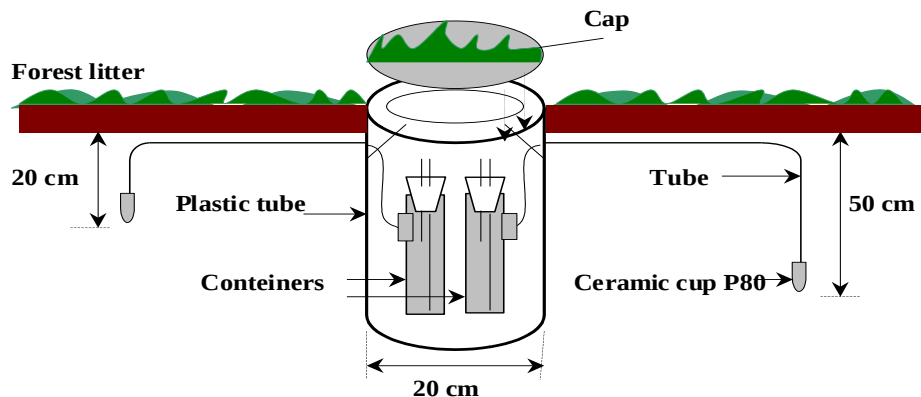
Gravitaciniai lizimetrai / Zero-tension lysimetry



Kai instaliuojami gravitaciniai lizimetrai, juose susikaupia per dirvožemį laisvai besisunkiantis atmosferos kritulių vanduo. Jis, ištirpdamas ir išplaudamas tirpiųjų junginių jonus, turi įtakos dirvodaros procesams (Derome & Bille-Hansen, 2001).

Vandenyje tirpios DOC išplovimas

Vakuuminiai lizimetrai / Tension lysimetry



Vakuuminuose lizimetruose vanduo susiurbiamas ne tik iš makro, bet ir iš mikroporų. Todėl, palyginus su gravitaciniais lizimetrais, yra sukaupiamas daugiau prisotintas cheminių medžiagų vanduo. Jis dažniausiai vadinamas dirvožemio tirpalu, kuris atspindi ne tik jonų išplovimą, bet ir mineralinio dirvožemio buferiškumą bei neutralizacines savybes (Smethurst, 2000; Derome et al., 2001). Mūsų tyrimuose panaudoti vakuuminiai lizimetrai su keramikiniais ėmikliais P80 (PRENART Equipment ApS, Danija), kuriuose dirvožemio tirpalas siurbiamas per 1 μm dydžio poras. (from Derome & Bille-Hansen, 2001).

Plynos kirtavietės: DOC išplovimas

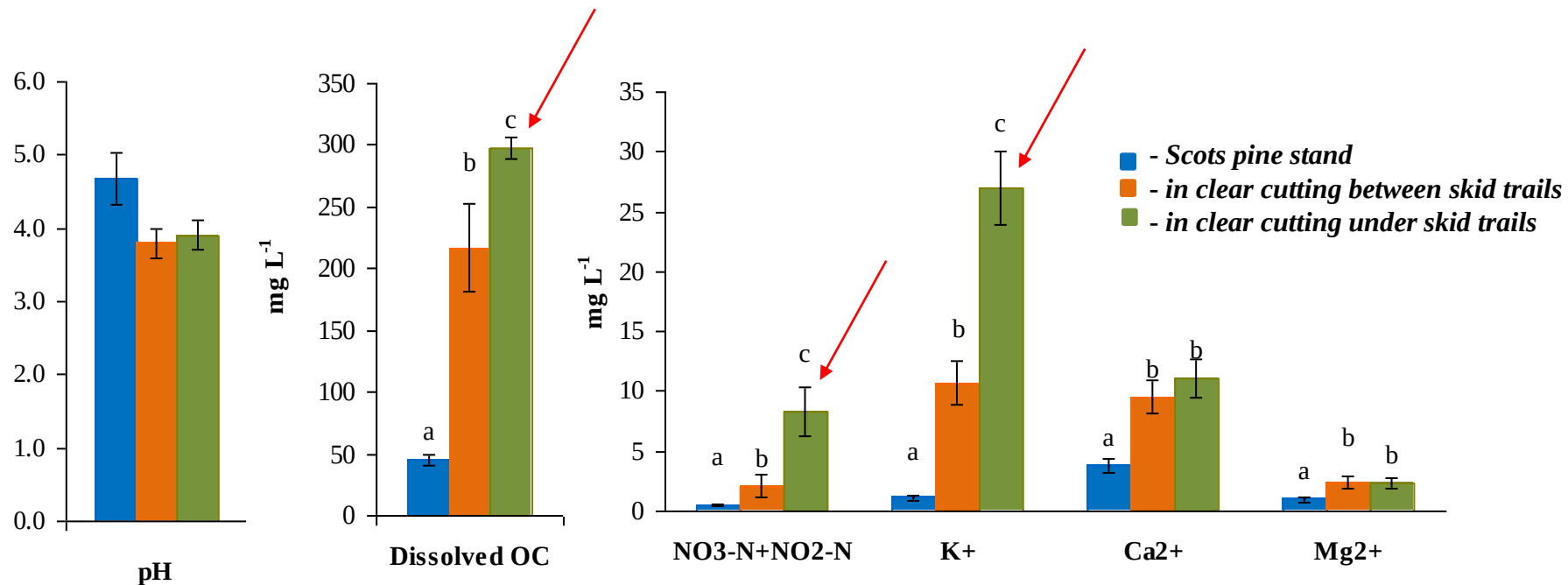


Fig. 2. Chemical composition of soil solution (*Luvisol*) collected with tension lysimeters installed at 20 cm mineral soil depth in Scots pine stand (Lithuanian ICP Forests intensive monitoring, Level II) and adjacent 2-year-old clear cutting

Skid trails are temporary forest roads that loggers use to move logs or trees from the harvest site; when constructing skid trails in Lithuania, harvest residues are used to build temporary road.

Major environmental changes occur after clear cuttings of forest stands.

Plynos kirtavietės: DOC išplovimas

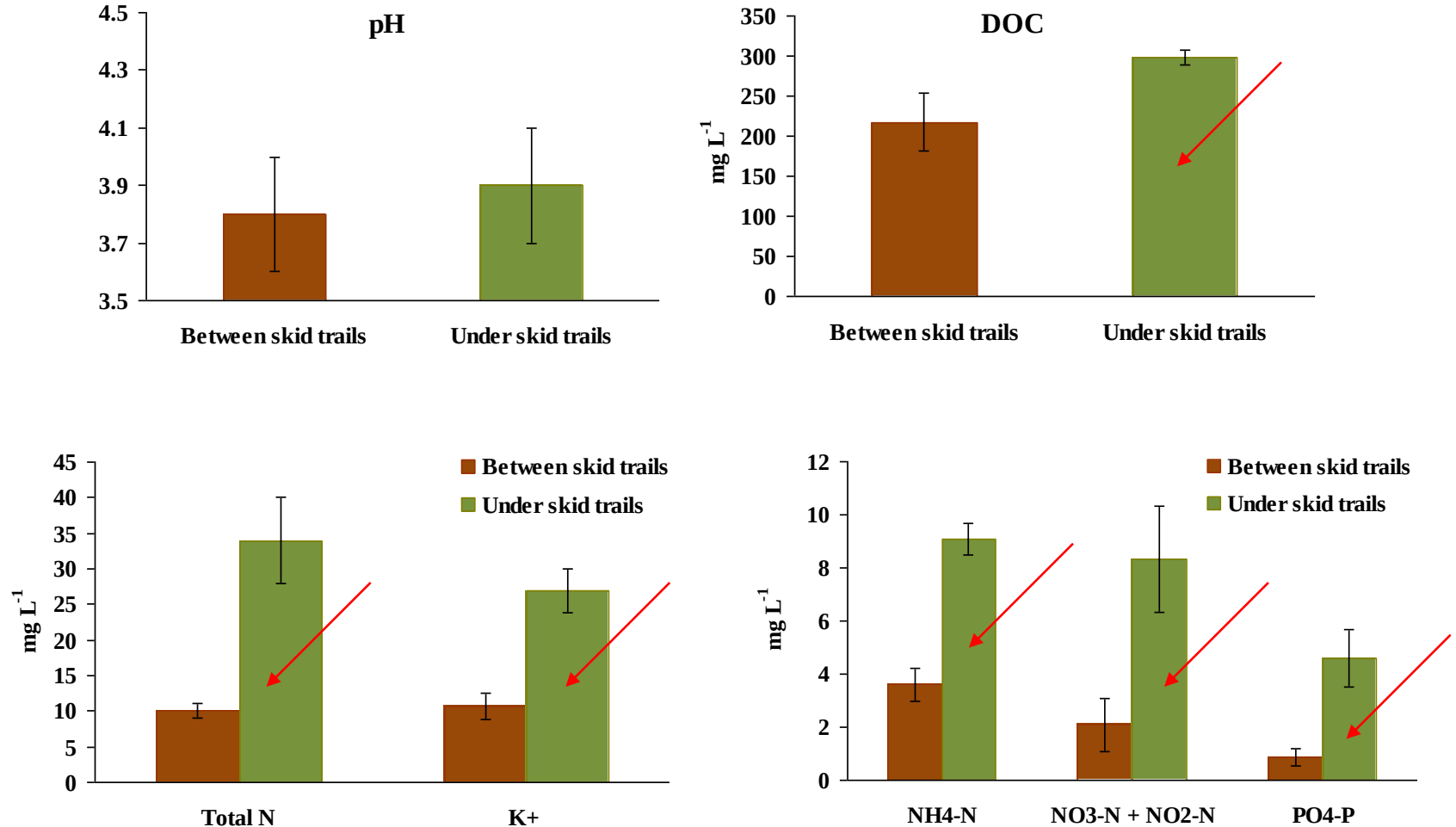


Fig. 3. Chemical composition of soil solution (*Luvisols*) collected with tension lysimeters installed at 20 cm mineral soil depth in 2-years-old clear cuttings of coniferous stands

Vandenyje tirpios DOC išplovimas ekologinėje žemdirbystėje ir pušynuose

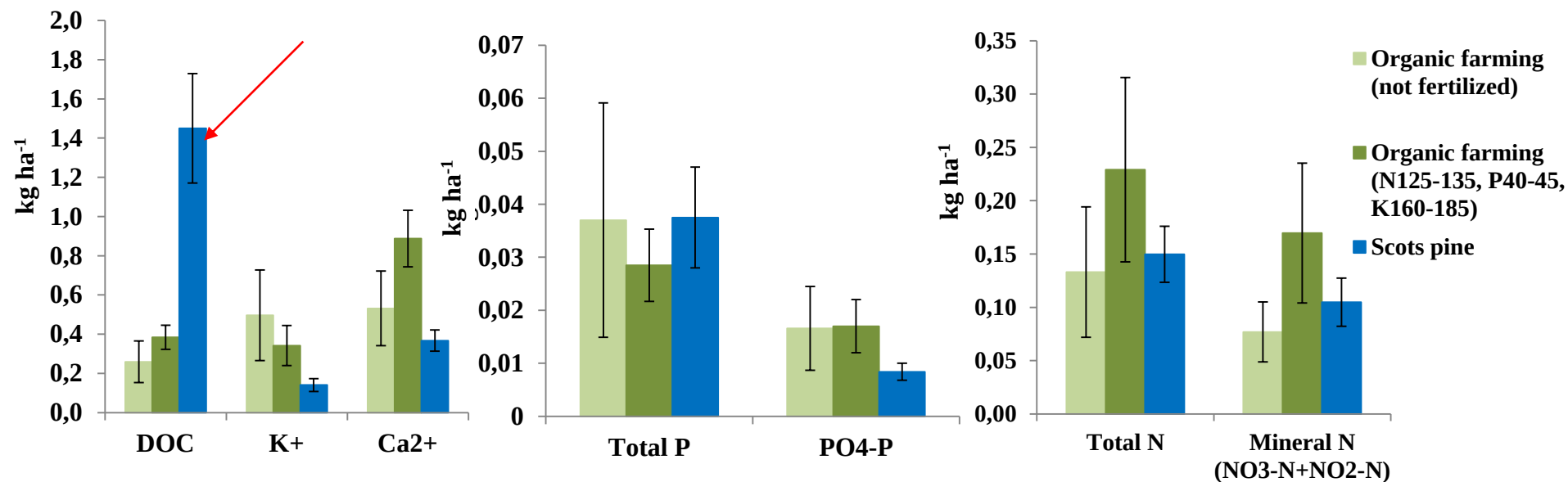
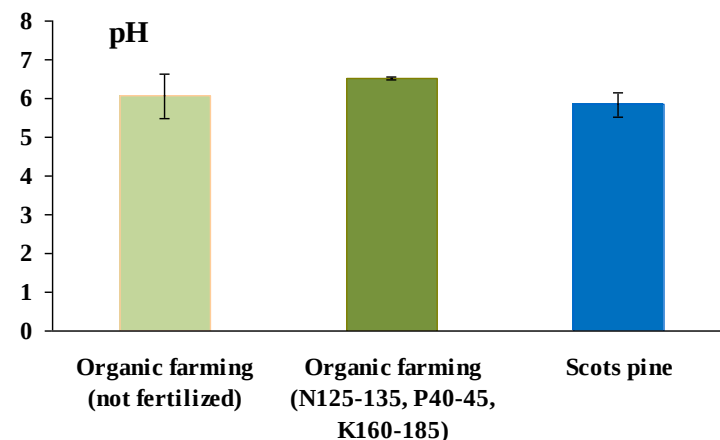
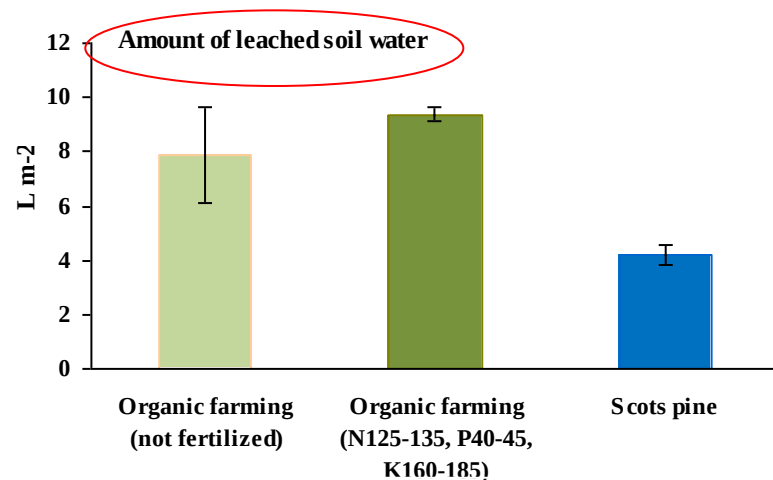
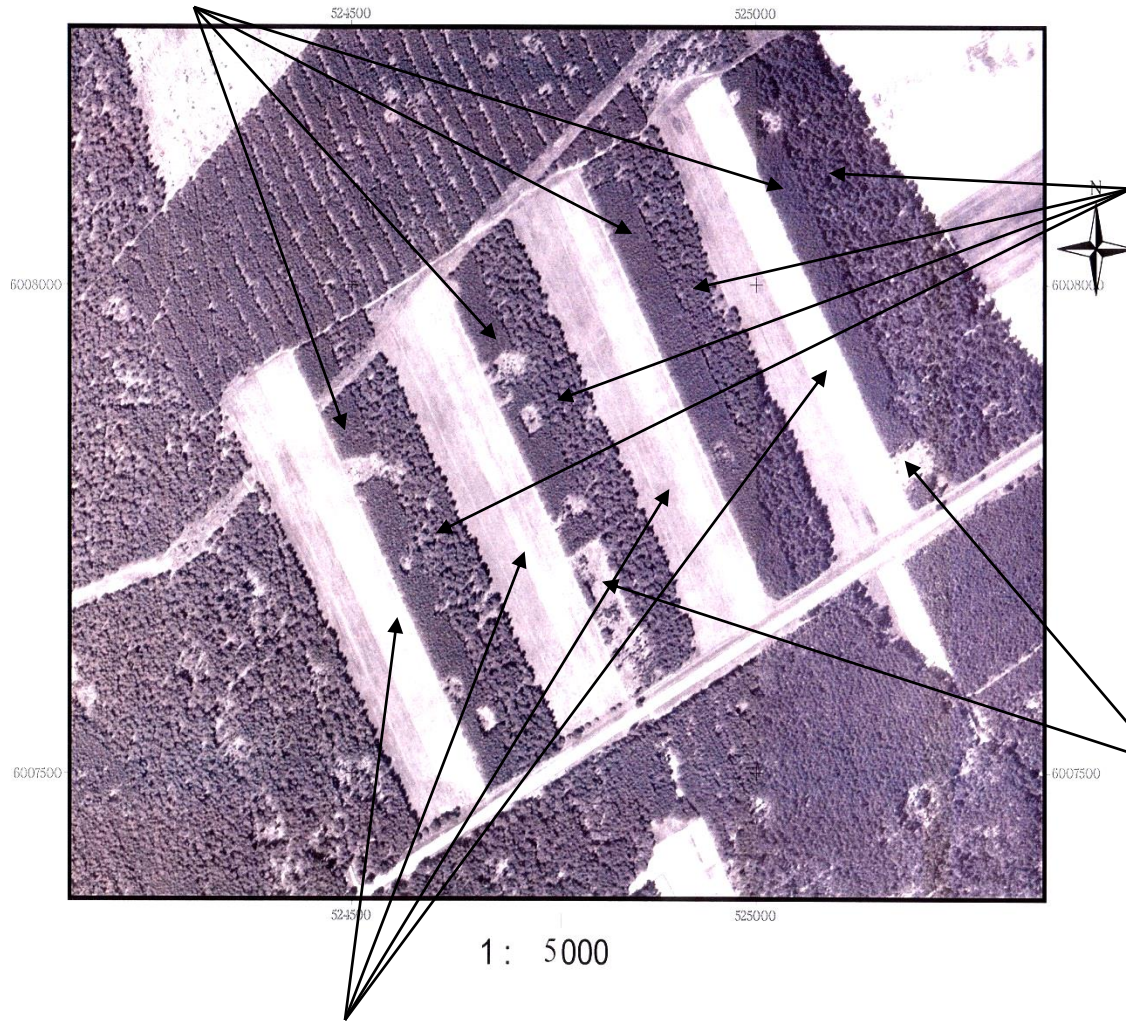


Fig. 4. The leaching of dissolved organic carbon (DOC) and the nutrients in the crop land of organic farming (pease, wheat) and adjacent Scots pine stands on *Luvisols* during 6 months of cold period of 2014-2015 (Perloja Experimental Station, LRCAF, zero-tension lysimetry).

DOC tvarumas

(1) Pušies želdiniai



(2) Savaiminiai pušies žėliniai

Šakninės pinties
(*Heterobasidion
annosum* (Fr.) Bref.)
židiniai pušies
želdiniuose

(3) Dirvonuojanti žemė

5 pav. Perlojos eksperimento (prof. P. Vasinauskas, prof. A. Tindžiulis, dr. J. Aleksonis)
ortofoto žemėlapis

DOC tvarumas



**6 pav. Pušynas (50 m.),
beržynas (50 m.) ir 15 m.
dirvonuojanti žemė**

Tyrimų metodai

Neapsaugota dirvožemio org. C:

- tirpioji H_2O – Schulz et al., 1991;
- dirvožemio mikrobiotos C – ISO/DIS 14240-2: 1997.

Humuso frakcinė sudėtis:

- huminės ir fulvo rūgštys, netirpioji liekana – Faithfull, 2002.

Org. C frakcijose – Six et al., 2002; Sleutel et al., 2006.

Dirvožemio mikrobiotos anglis skirtingoje žemėnaudoje

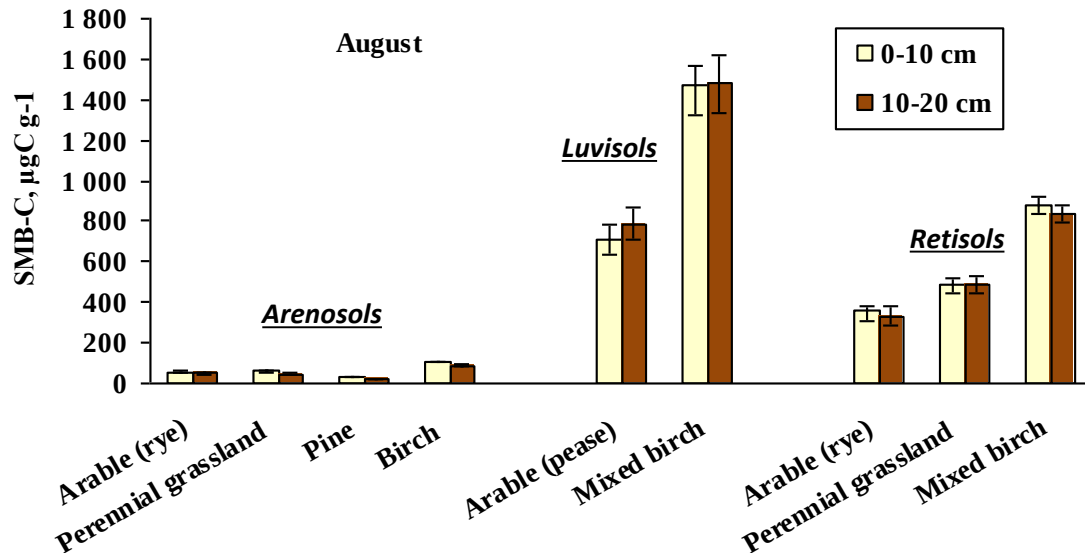
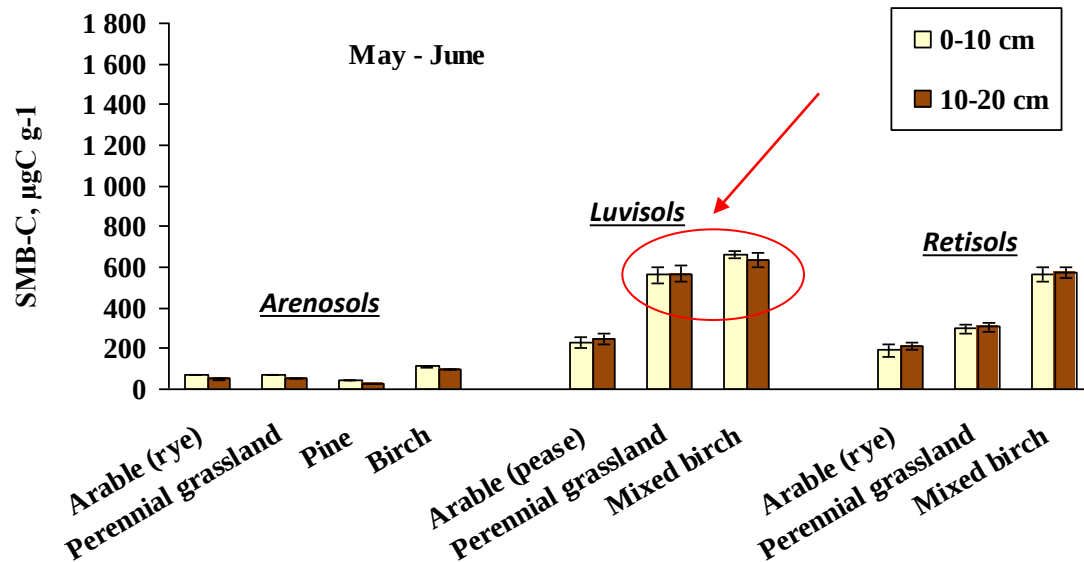
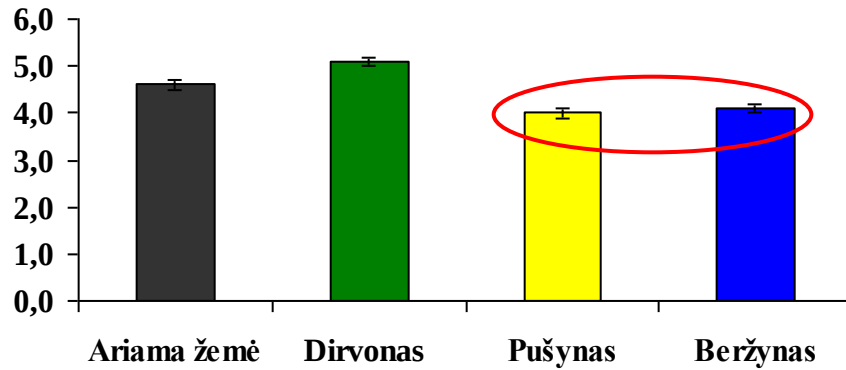


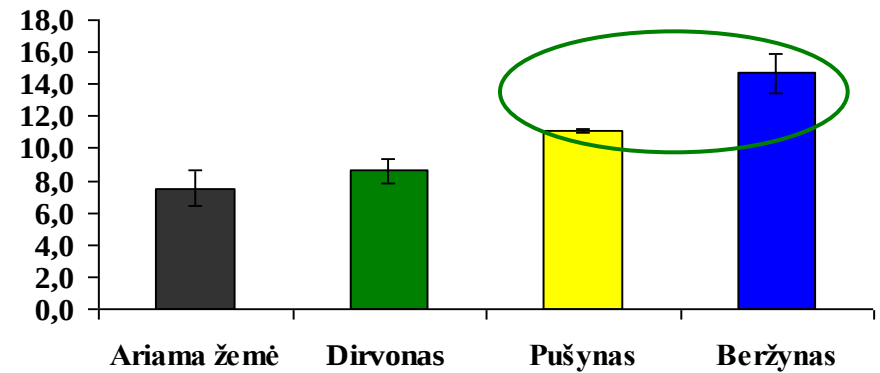
Fig. 7. Mean concentrations of soil microbial biomass carbon (SMB-C, $\mu\text{gC g}^{-1}$) in mineral 0-10 & 10-20 cm layers of Arenosols, Luvisols & Retisols (2011-2015)
(Chloroform fumigation-extraction method: ISO/DIS 14240-2).

DOC tvarumas

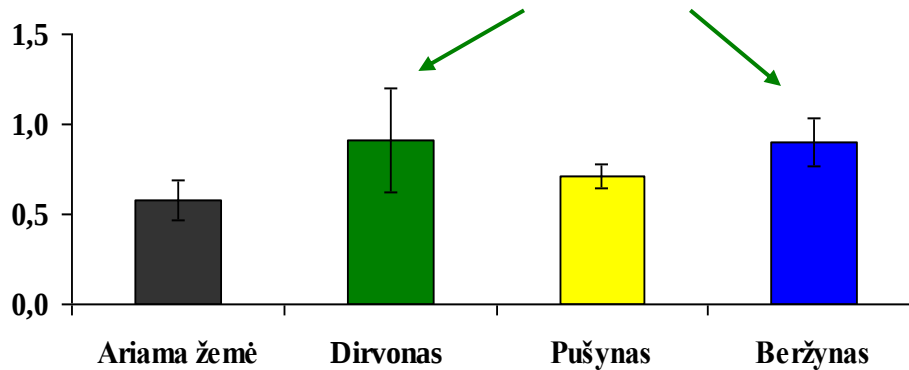
pH_{CaCl2}



Suminė org. C, g kg⁻¹



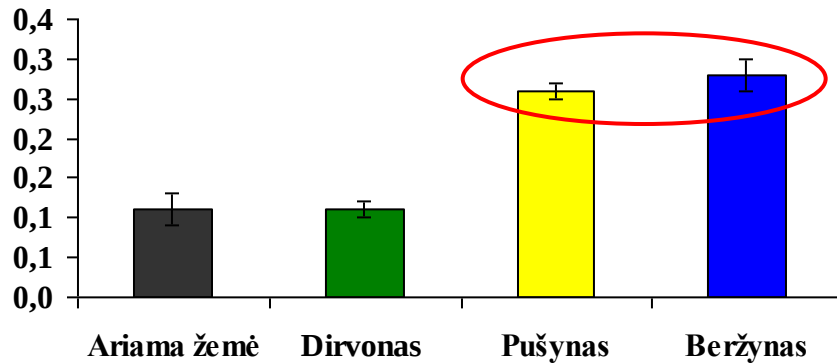
Suminis N, g kg⁻¹



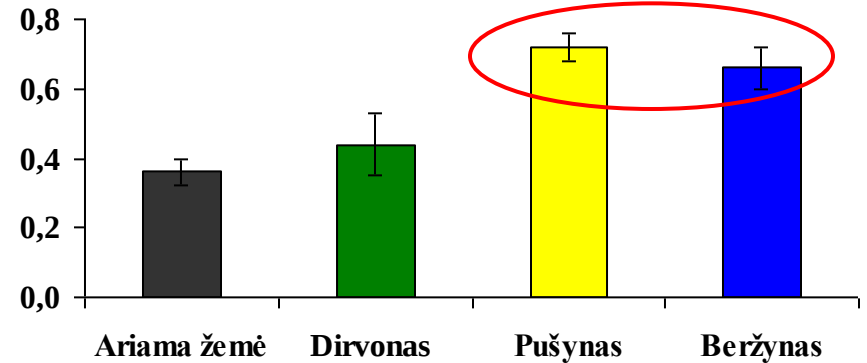
8 pav. Tirtų smėlžemių cheminiai rodikliai

DOC tvarumas

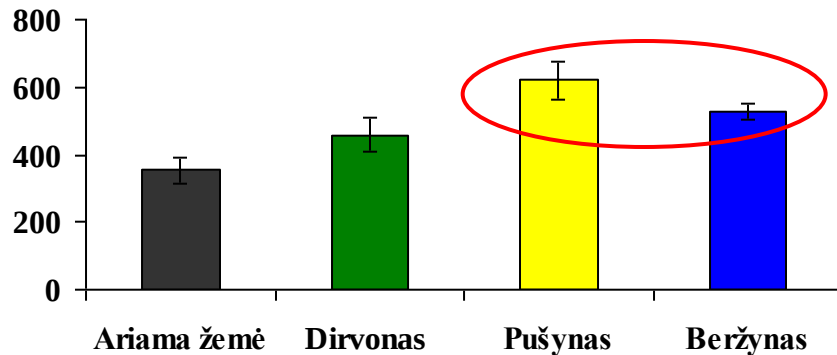
Fulvo rūgštys %



Huminės rūgštys %



Vandenyje tirpi org. C, mg/kg⁻¹



9 pav. Humuso frakcinė sudėtis ir vandenyje tirpios org. C koncentracijos

DOC tvarumas: fizinis frakcionavimas ir rūgšti hidrolizė

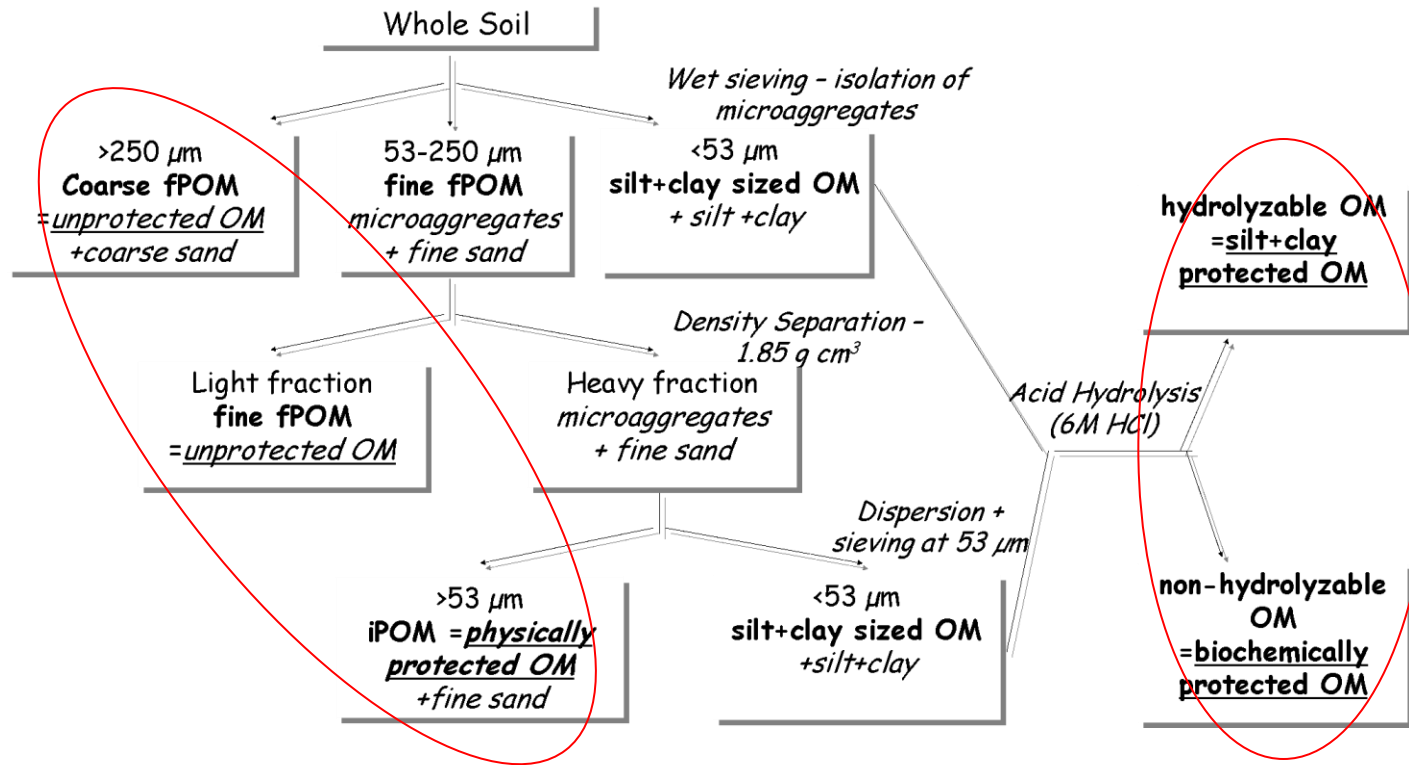


Fig. 10. Scheme of the physical fractionation procedure for isolation of coarse free particulate organic matter (coarse fPOM), fine free POM (fine fPOM), intra-microaggregate POM (iPOM) and silt and clay sized OM, with indication of four isolated conceptual SOM pools according to the model of Six et al. (2002) (unprotected OM, physically protected OM, silt and clay protected OM and biochemically protected OM) (from Sleutel et al., 2006).

Fizinis frakcionavimas (šlapias sijojimas):

- rupioji frakcija ($>250\ \mu\text{m}$) su neapsaugota org. C;**
- lengvoji frakcija ($53\text{-}250\ \mu\text{m}$) su neapsaugota org. C;**
- sunkioji frakcija ($53\text{-}250\ \mu\text{m}$) su fiziškai apsaugota org. C;**
- dumblo+molio ($<53\ \mu\text{m}$) frakc. su fiziškai apsaugota org. C.**

Rūgšti hidrolizė (6M HCl):

- hidrolizuojama frakcija su chemiškai apsaugota org. C;**
- nehidrolizuojama frakc. su biochemiškai apsaugota org. C.**

DOC tvarumas: suminės organinės anglies skirstinys dirvožemio frakcijose

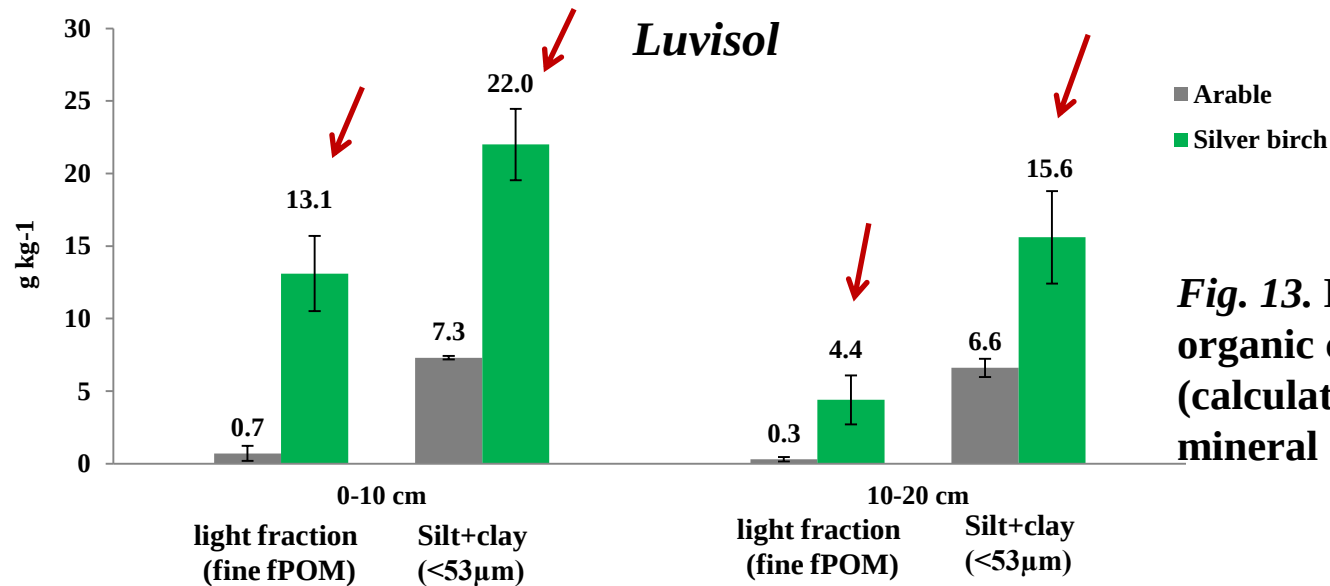
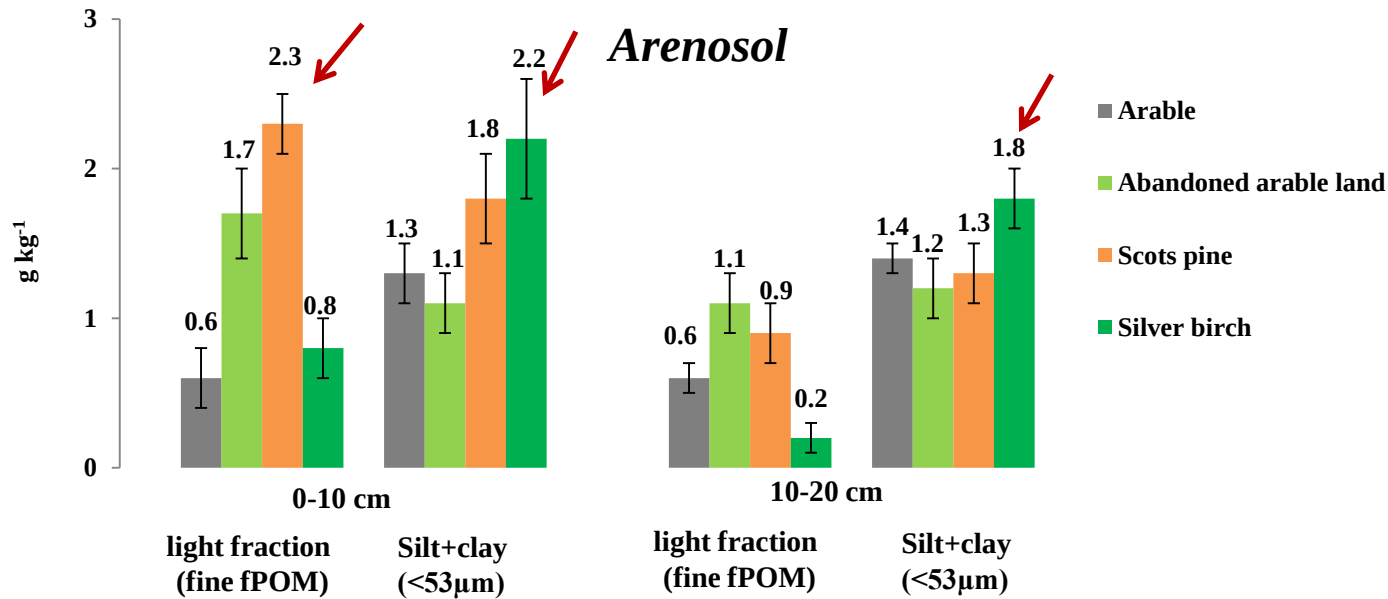
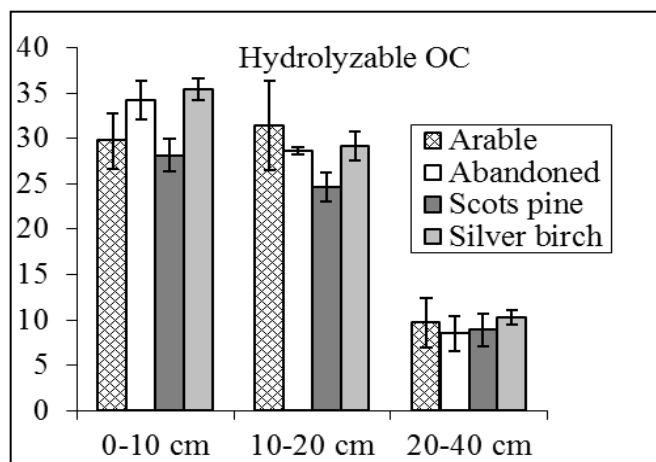


Fig. 13. Distribution of total soil organic carbon in different fractions (calculated as g kg⁻¹ C whole / bulk mineral soil) of *Arenosol* & *Luvisol*.

DOC tvarumas: hidrolizuojama ir nehidrolizuojama OC



Arenosol

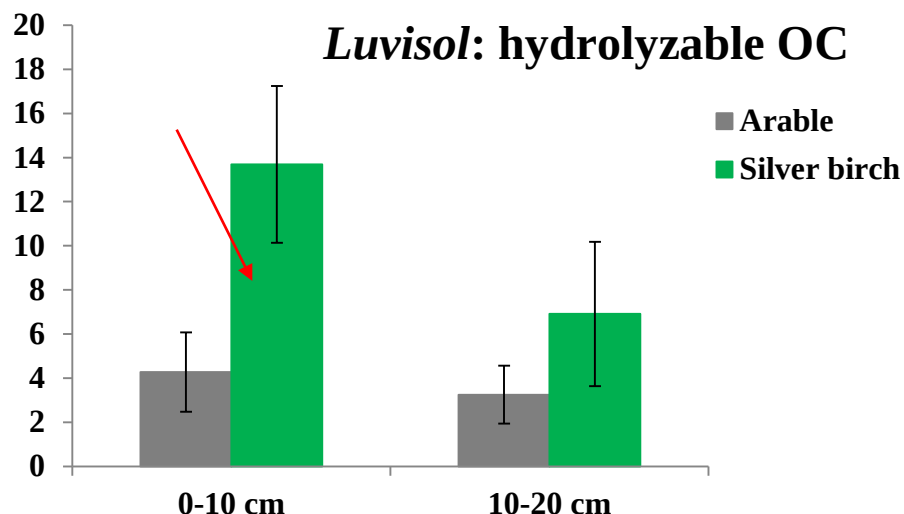
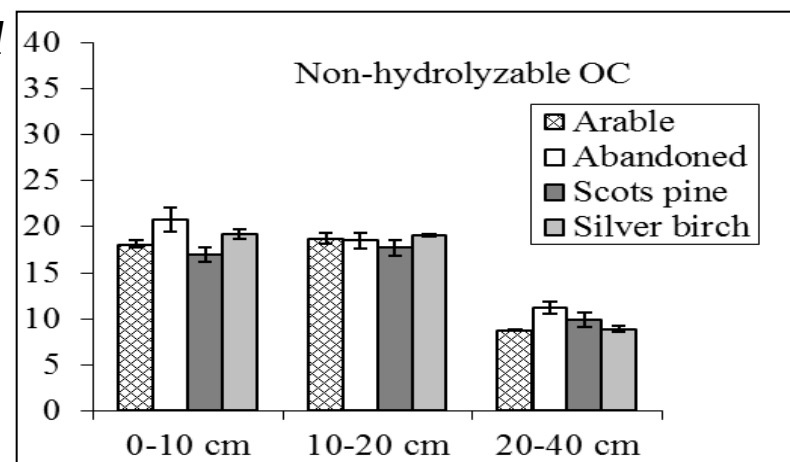


Fig. 14. Mean concentrations (g kg^{-1}) of hydrolyzable & non-hydrolyzable SOC in the silt+clay ($<53 \mu\text{m}$) sized mineral soil fraction in different land use of *Arenosol* & *Luvisol*.

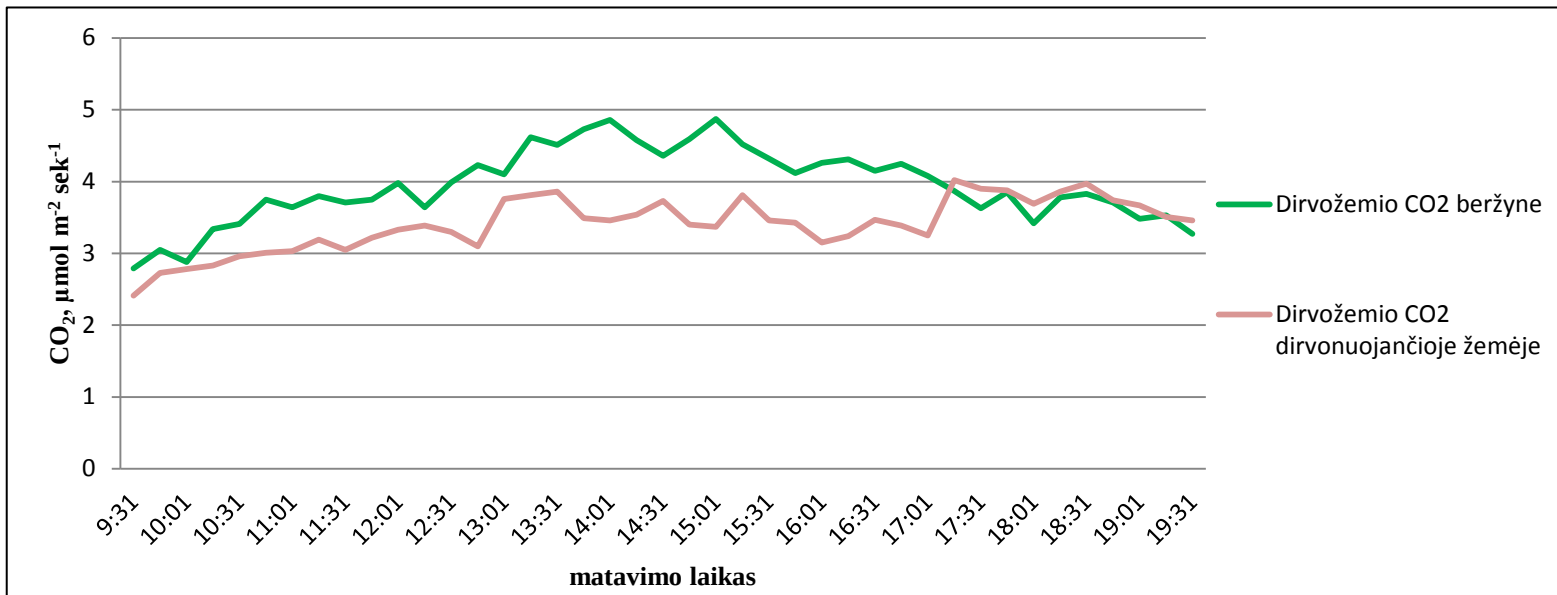
Dirvožemio „kvėpavimas“



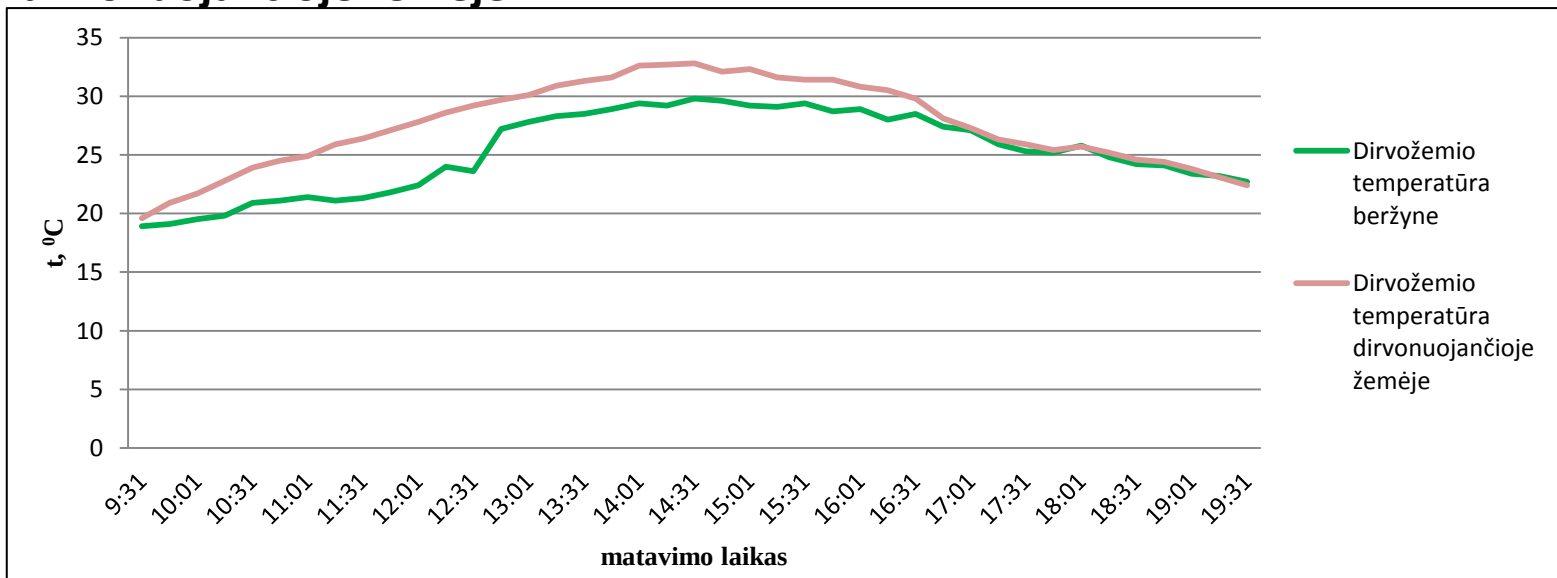
Fig. 15. ACE soil CO₂ exchange system (ADC BioScientific LTD) (SLĖNIS NEMUNAS).



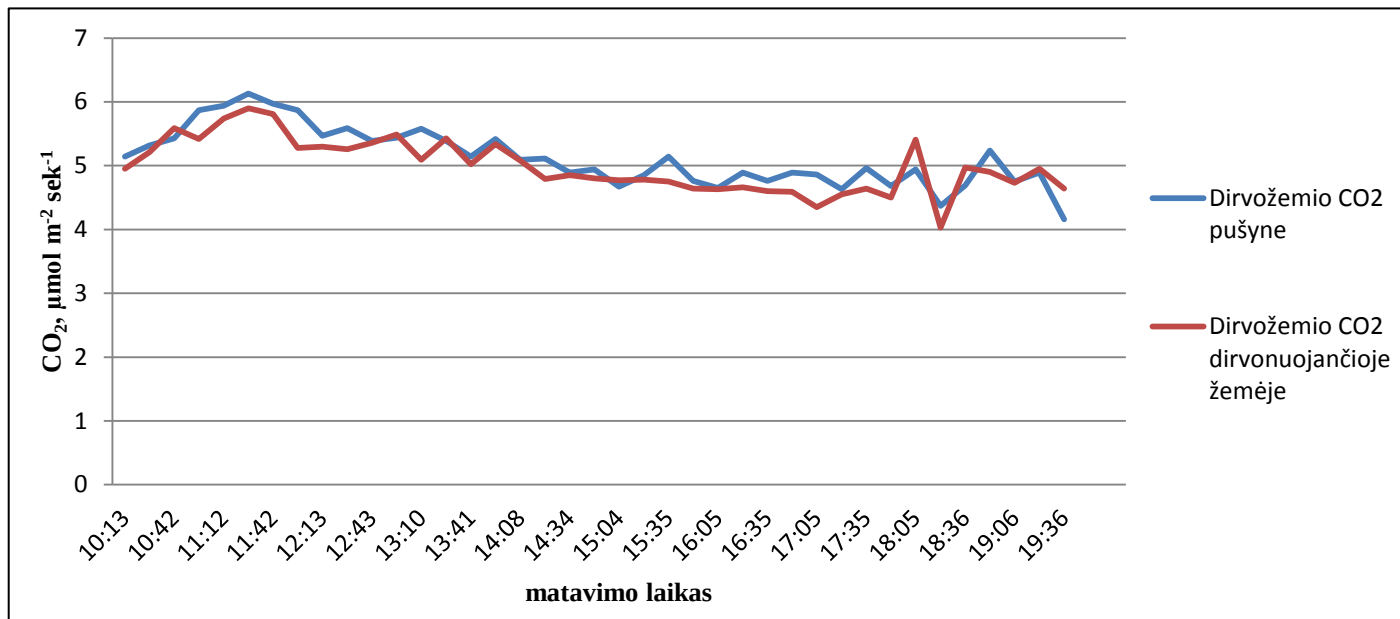
Fig. 16. WatchDog 2700 weather station (Spectrum Technologies Inc.) (SLĖNIS NEMUNAS).



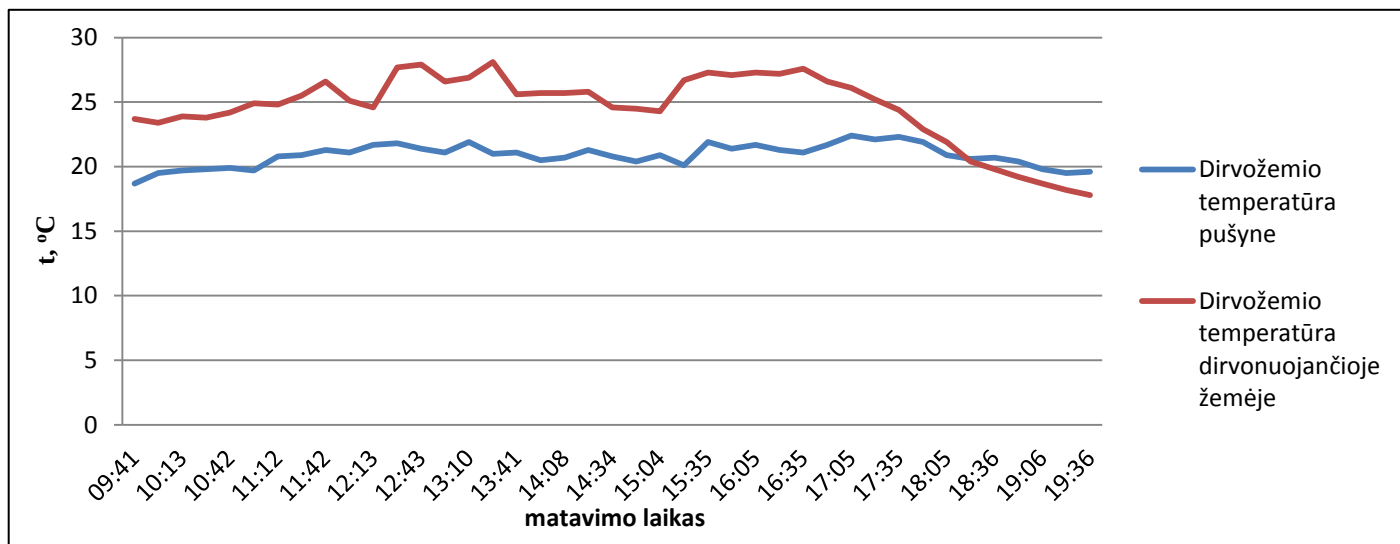
17 pav. Išplautžemių (*Luvisols*) CO₂ srautas mišriame beržyne ir dirvonuojančioje žemėje



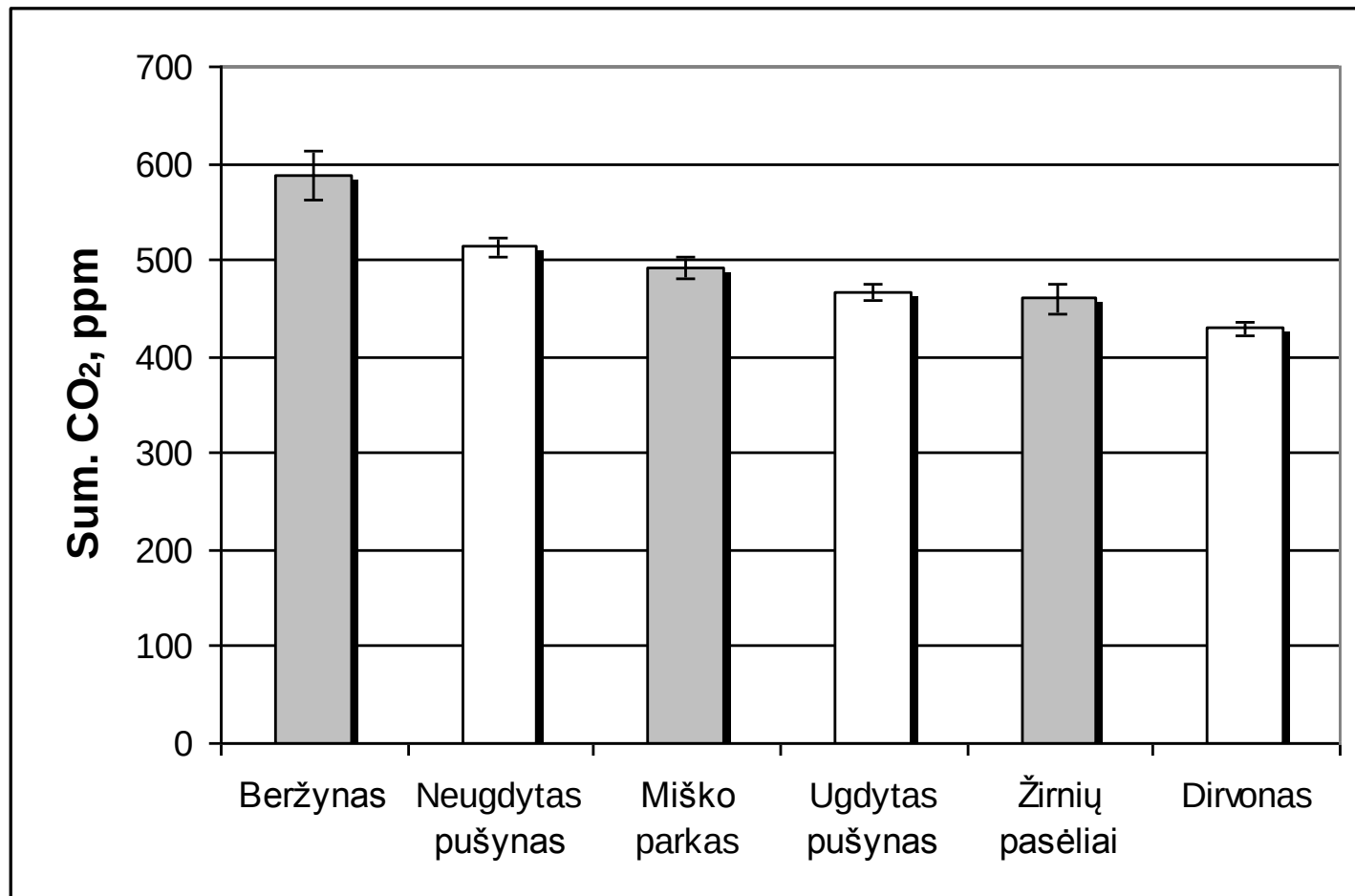
18 pav. Išplautžemių (*Luvisols*) temperatūra mišriame beržyne ir dirvonuojančioje žemėje



19 pav. Smėlžemių (*Arenosols*) CO₂ srautas paprastosios pušies medyne ir dirvonuojančioje žemėje



20 pav. Smėlžemių (*Arenosols*) temperatūra pušyne ir dirvonuojančioje žemėje



21 pav. Dirvožemio CO₂ emisija skirtingoje žemėnaudoje (pilki stulpeliai – išplautžemiai; balti stulpeliai – smėlžemiai)

Anglis žuvusioje medienoje



Paskutinio nacionalinės miškų inventORIZacijos ciklo duomenimis Lietuvoje vidutiniškai miškuose sukaupta $8,9 \text{ m}^3/\text{ha}$ likvidinės medžių mortmasės (Kuliešis ir kt., 2008).

Tyrimams Dubravos rezervatinėje apyrbėje buvo surinkti paprastosios eglės (*Picea abies* (L.) H. Karst.) tirtų virtėlių $n=7$; skersmuo – 20-40 cm) ir karpotojo beržo (*Betula pendula* Roth; $n=3$; skersmuo – apie 20 cm) sutręšusių virtėlių (IV suirimo laipsnis) ėminiai. Mineralinio dirvožemio (išplautžemių) jungtiniai ėminiai 3 pakartojimais buvo paimti iš 0-10; 10-20 ir 20-40 cm gylio sluoksnių po virtėliais ir 0,2; 0,4 bei 3-4 m (kontrolė) atstumuose nuo virtėlių. Visuose ėminiuose su COSTECH firmos automatinio analizatoriumi ECS 4010 nustatytos šių elementų koncentracijos: organinės anglies (org. C) – deginant mėginius 900°C temperatūroje (ISO 10694); o suminio azoto (N) – Kjeldhal metodu (ISO 11261). Sutrėšusios medienos ir mineralinio smulkožemio ($<2 \text{ mm}$) tankio (kg m^{-3}) apskaičiavimui pasverti 105°C temperatūroje iki pastovios masės išdžiovinti ėminiai.

Anglis žuvusioje medienoje

3 lentelė. Vidutinės anglies (C) ir azoto (N) koncentracijos (g kg^{-1}) bei sandaupos (kg m^{-3}) eglės ir beržo virtėliuose

Medžių rūšis (skersmuo, cm)	Suirimo laipsnis	Medienos tankis, kg m^{-3}	C (g kg^{-1})	C (kg m^{-3})	N (g kg^{-1})	N (kg m^{-3})
Eglė paprastoji (20-40cm)	I (žali virtėliai)	400	500	200,0	$0,58 \pm 0,06$	$0,23 \pm 0,02$
	IV (sutrėšę)	155±10	510±12	79,1±6,9	4,30±0,54	0,67±0,13
Beržas karpotasis (20 cm)	I (žali virtėliai)	610	500	305,0	$1,10 \pm 0,13$	$0,67 \pm 0,08$
	IV (sutrėšę)	119±8	476±22	56,6±6,4	4,56±0,06	0,54±0,16

Sutrėšusiuose virtėliuose anglies (C) sandaupos sumažėja kelis kartus dėl pūvančios medienos tankio sumažėjimo. Azoto (N) sandaupos pūvančioje medienoje nemažėja ar netgi padidėja, nes mikrobiologinių procesų metu virtėliuose fiksuojamas atmosferoje ir jos krituliuose esantis N.

Anglis žuvusioje medienoje

4 lentelė. Vidutinės anglies (C) ir azoto (N) sankaupos (kg m^{-3}) bei jų pokyčiai (padidėjimas/nuostoliai) sutrešusiuose virtėliuose ir 0-10 cm viršutiniame mineralinio dirvožemio sluoksnyje

Medžių rūšis	C sankaupos	C padidėjimas / nuostoliai	N sankaupos	N padidėjimas / nuostoliai
	CWD (kg m^{-3})			
Eglė paprastoji	79,1±6,9	-120,9	0,67±0,13	+0,44
Beržas karpotasis	56,6±6,4	-248,4	0,54±0,16	-0,13
	Mineral topsoil (kg m^{-3})			
Eglė paprastoji	37,0±6,1	+9,6	1,9±0,3	+0,4
Beržas karpotasis	34,3±5,2	+10,2	1,9±0,2	+0,5

Apskaičiuota, kad iš sutrešusių virtėlių dirvožemyje susikaupia tik 4-8 % anglies. Likusi anglies dalis, išsiskyrusi dėl mikroorganizmų veiklos, pateko į atmosferą.



Ačiū už dēmesj