
Lauksaimniecības zemju apmežošanās ilgtermiņa ietekme uz augsnes morfoloģiju un īpašībām

Raimonds Kasparinskis ^{1*}, Oļģerts Nikodemus ¹, Imants Kukuļs ¹,
Nauris Rolavs ¹, Guntis Tabors ²

Kasparinskis, R., Nikodemus, O., Kukuļs, I., Rolavs, N., Tabors, G.
(2011). Long term impact of afforestation on soil morphology and
properties. *Mežzinātne* 24(57): 17–40.

Kopsavilkums. Pētījums par augsnes morfoloģisko, fizikālo un ķīmisko īpašību izmaiņām lauksaimniecības zemju apmežošanās rezultātā veikts dažāda vecuma meža zemēs, kur parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.), āra bērza (*Betula pendula* Roth.), baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) un parastās apses (*Populus tremula* L.) kokaudzes ir kolonizējušas bijušās lauksaimniecības zemes. Pētījums parādīja, ka augsnē, kuras granulometrisko sastāvu veido smaga mālsmilts un smilšmāls, lauksaimniecības zemju morfoloģiskās īpašības saglabājas līdz 100 gadiem. Sekundārās podzolēšanās pazīmes augsnes profilos konstatējamas 100 gadu laikā kopš apmežošanās sākuma, tomēr podzolēšanās process nav tik intensīvs, lai 200 gadu laikā izveidotos *Albic* un *Spodic* diagnostiskais horizonts. Pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās augsnes pH_{KCl}, organisko vielu satura un Al₀ un Fe₀ koncentrācijas izmaiņas norisinās daudz ātrāk nekā izpaužas augsnes diagnostiskās pazīmes augsnes profilā. Pētījums parādīja, ka augsnes auglības izmaiņas, kas norisinās lauksaimniecības zemju apmežošanās rezultātā, nav vērtējamas viennozīmīgi.

Nozīmīgākie vārdi: meža zemes vecums, sekundārā podzolēšanās, humifikācija, glaciģēnie morēnas nogulumu.

•••

Kasparinskis, R. ^{3*}, Nikodemus, O. ³, Kukuļs, I. ³, Rolavs, N. ³, Tabors, G. ⁴ **Long term impact of afforestation on soil morphology and properties.**

Abstract. Changes in soil morphological, physical and chemical properties as a result of establishing forest on agricultural lands were studied using as an example the lands naturally overgrowing in different periods of time by Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.), silver birch (*Betula pendula* Roth.), grey alder (*Alnus incana*

¹ Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586, Latvija;
* e-pasts: raimonds.kasparinskis@lu.lv

² Latvijas Universitāte, Bioloģijas fakultāte, Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1856, Latvija

³ University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences, 19 Raina Blvd., Riga, LV-1586, Latvia; * e-mail: raimonds.kasparinskis@lu.lv

⁴ University of Latvia, Faculty of Biology, 19 Raina Blvd., Riga, LV-1586, Latvia

(L.) Moench) and aspen (*Populus tremula* L.). The research results showed that the soil with a texture of sandy loam and loam retains the morphological properties of agricultural land for up to 100 years. Secondary podzolization features in the soil profiles were detected in 100 years since the onset of afforestation. However, the podzolization has not been intensive enough to develop the *Albic* and *Spodic* diagnostic horizons over 200 years. After the forest has established itself on agricultural lands, the changes in the soil pH_{KCl} , organic matter content, and Al_0 and Fe_0 concentrations develop faster than those in the soil diagnostic properties in soil profile. The study showed that the changes in soil fertility resulting from afforestation of agricultural lands cannot be unambiguously interpreted.

Key words: age of forest land, secondary podzolization, humification, glacial till deposits.

•••

Каспаринскис, Р. ^{5*}, Никодемус, О. ⁵, Кукульс, И. ⁵, Ролавс, Н. ⁵, Таборс, Г. ⁶ **Долгосрочное влияние залесенности на морфологию и свойства почв.**

Резюме. Исследование проводилось в связи с изменениями морфологических, физических и химических свойств почв на бывших сельскохозяйственных угодьях, залесенных деревьями следующих пород: ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), березы повислой (*Betula pendula* Roth.), ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) и осины (*Populus tremula* L.). Исследование показало, что в почве с гранулометрическим составом – тяжелый супесь, суглинок – морфологические свойства сельскохозяйственных земель сохраняются неизменными до 100 лет. Вторичные признаки оподзоливания в профилях почвы обнаруживаются в течении 100 лет с начала залесения; в свою очередь процесс оподзоливания протекает не настолько интенсивно, чтобы в течении 200 лет происходило образование диагностических горизонтов *Albic* и *Spodic*. После залесения сельскохозяйственных земель изменения уровня pH_{KCl} содержания органических веществ и концентрации Al_0 и Fe_0 протекают намного быстрее, чем проявление диагностических признаков генезиса профиля почвы. Исследование показало, что изменения плодородия почв, которые происходят в результате залесения бывших сельскохозяйственных земель, не имеют однозначной оценки.

Ключевые слова: возраст лесных земель, вторичное оподзоливание, гумификация, гляциогенные отложения морены.

⁵ Латвийский университет, Факультет географии и земельных наук, ул. Райня 19, Рига, LV-1586, Латвия; *эл. почта: raimonds.kasparinskis@lu.lv

⁶ Латвийский университет, Факультет биологий, ул. Райня 19, Рига, LV-1586, Латвия

Ievads

Zemes apsaimniekošanas norise laikā nozīmīgi ietekmē augsnes veidošanās procesus, tās morfoloģiju, fizikālās un ķīmiskās īpašības (Kristiansen, 2001; Wall, Hytönen, 2005; Armolaitis *et al.*, 2007). Daudzviet Eiropā pašlaik aktuāla problēma ir lauksaimniecības zemju atstāšana atmatā un to pakāpeniska apmežošanās (Lipsky, 1995; Kristensen *et al.*, 2001; Mander, Kuuba, 2004; Sitzia *et al.*, 2010). Rezultātā mainās ne tikai ainava, bet notiek arī pakāpeniskas izmaiņas augsnē. Lauksaimniecības zemju apmežošana ar skujkokiem, pateicoties nobirām, izraisa nozīmīgas izmaiņas minerālaugsnes virskārtā (Armolaitis *et al.*, 2007). Augsnē palielinās organisko vielu daudzums (Paul *et al.*, 2002; Vesterdal *et al.*, 2002) un samazinās tās pH (Reynolds *et al.*, 1988; Alriksson, Olsson, 1995; Andersson *et al.*, 2002; Vesterdal *et al.*, 2002; Jug *et al.*, 1999; Ritter *et al.*, 2003), kas sekmē podzolēšanās attīstību (Miles, 1985). Augsnes pārveidošanās procesi, sevišķi boreālajā un nemorālajā biomā, noris lēni, tādēļ kopumā relatīvi maz ir informācijas par lauksaimniecības zemju apmežošanās ietekmi uz augsni un tās auglību.

Latvijā, tāpat kā daudzviet Eiropā, daļa meža zemju ir veidojušās uz bijušajām lauksaimniecības zemēm. Laika periodā no 1925. gada līdz 2007. gadam mežu platības Latvijā ir palielinājušās no 25 % līdz 54,7 % (Latvijas statistika, 2010). Lauksaimniecības zemju apmežošanās process Latvijā notiek arī pašlaik (Penēze, 2009; Ruskule *et al.*, in press). Pēdējos gadsimtos pakāpeniskas zemes izmantošanas struk-

turālo izmaiņu rezultātā Latvijā bijušajās lauksaimniecības zemēs sastopamas dažāda vecuma meža zemes, kas paver plašas iespējas izziņāt lauksaimniecības zemju apmežošanās ietekmi uz augsnes ģenēzi, morfoloģiju un īpašībām.

Līdz šim pētījumi pasaulē par augsnes īpašību izmaiņām saistībā ar apmežošanu veikti galvenokārt smilts augsnēs (Armolaitis *et al.*, 2007; Nielsen *et al.*, 1999; Hagen-Thorn *et al.*, 2004; De Keersmaecker *et al.*, 2004; Smal, Olszewska, 2008; Wall, Hytönen, 2005; Alriksson, Olsson, 1995; Miller *et al.*, 2001; Merilä *et al.*, 2002; Nierop *et al.*, 2001; Paul *et al.*, 2002; Paul *et al.*, 2003; Mund *et al.*, 2002; Nadporozhskaya *et al.*, 2006; Peichl, Arain, 2006; Wall, Heiskanen, 2003), kur pārveidību procesi norisinās relatīvi ātrāk nekā smaga granulometriskā sastāva augsnēs (smaga mālsmilts, smilšmāls, māls), kuru morfoloģiskās un fizikāli ķīmiskās izmaiņas tādēļ arī ir relatīvi maz pētītas (nozīmīgākie pētījumi: McNamara *et al.*, 2008; Falkengren-Grerup *et al.*, 2006; Vesterdal *et al.*, 2002; He, Tang, 2008; Tullus *et al.*, 2007; Griffiths *et al.*, 2005; Hedde *et al.*, 2008; Reintam, 2007; McLauchlan, 2006; Knohl *et al.*, 2003; Mellor, Acheson, 2009; Susyan *et al.*, 2011). Iepriekš minētais rosinājis izpēti veikt dažāda vecuma meža zemēs, kur parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.), āra bērza (*Betula pendula* Roth.), baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) un parastās apses (*Populus tremula* L.) kokaudzes ir kolonizējušās bijušās lauksaimniecības zemes un kur augsnes cilmiezi veido glaciģenie morēnas nogulumi (smaga mālsmilts, smilšmāls).

Pētījuma mērķis – noskaidrot morfoloģijas un ķīmisko īpašību izmaiņas augsnēs, kas veidojušās uz glaciēnajiem morēnas nogulumiem pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās.

Materiāls un metodes

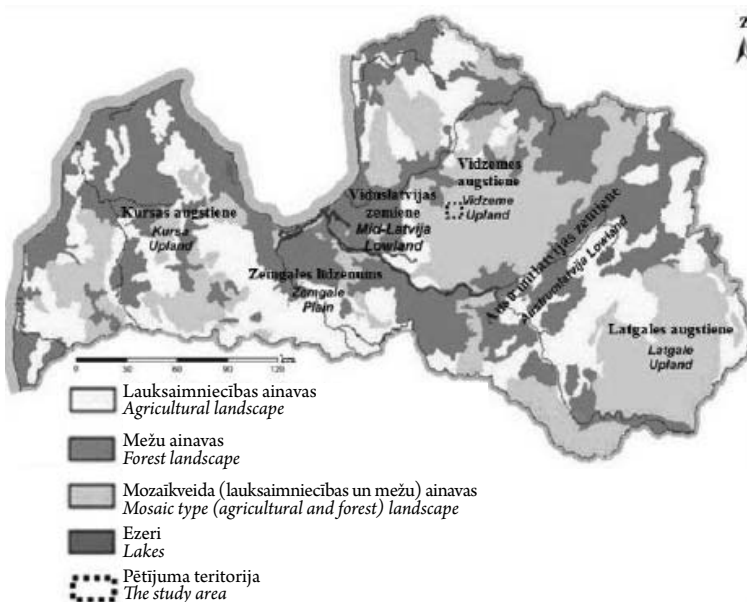
Pētījuma teritorijas raksturojums

Pētījums veikts Latvijas centrālajā daļā, Vidzemes augstienē (1. att.), vāji saposmotā reljefā (200–300 m virs jūras līmeņa). Teritorijā dominē morēnas pauguri, kēmi un plato virsas pauguri (Lūkins, Nikodemus, 2011). Augsnes cilmiezi morēnu pauguros veido smilšmāls un māls, kēmos – rupja smilts, bet plato virsas pauguros – māls. Lauksaimniecības zemju apmežošanās ietekmes uz augsni novērtēšanai pētījuma parauglaukumi ierikoti

lauksaimniecības un meža zemēs, kur augsnes cilmiezi veido morēnas nogulumu.

Vidzemes augstienē klimats ir mērens. Gaisa vidējā temperatūra jūlijā 16,5 C°, bet janvārī -6 C°. Ikgadējie nokrišņi ir 750–850 mm, no kuriem aptuveni 500 mm nokrīt vasarā un rudenī. Faktiskā iztvaikošana sasniedz 67 % no nokrišņu daudzuma, savukārt 33 % nokrišņu infiltrējas augsnē vai veido virszemes noteci (Krauklis, 2000).

Zaubes pagastā, kur veikts pētījums, lauksaimniecības zemes aizņem 34,4 % no pagasta kopplatības; 43,9% no minētajām zemēm 2005.gadā netika apsaimniekotas (Nikodemus *et al.*, 2010), savukārt lielu daļu no apsaimniekotajām aizņem ganības un pļavas.



1. attēls. Pētījuma teritorijas izvietojums.

Figure 1. Location of the study area.

Lauka pētījumi un augsnes analīzes

Pētījumi 2009.gadā veikti astoņos 25–200 gadu vecu meža zemju parauglaukumos. Visi parauglaukumi ierīkoti vē-rī (*Oxalidos*), 25–100 gadu vecās mežau-dzēs. Meža zemju vecums noteikts, vei-cot speciālu pētījumu par Spinduļu meža vēsturi (Lūkins, Nikodemus, 2011). Izpētei izmantoti Latvijas Valsts vēstures arhīva fondos Nr.1679, 7404 un 6828 uzglabātās Nītaures muižas un draudzes un Annas muižas plāni un kartes, kā arī Latvijas Valsts mežzinātnes institūta „Silava” mežierīcības arhīva materiāli (no 1938. līdz 2000. gadam) par Siguldas novada Nītau-res mežniecību, Cēsu virsmežniecības Nī-taures un Zaubes mežniecību. Kokaudzes vecums pētītajās mežaudzēs noteikts, pielietojot Preslera svārpstu. Atbilstoši Latvijas mežu tipoloģijai (Bušs, 1981), no-teikti arī meža tipi parauglaukumos.

Paralēli meža augšņu izpētei, viens augsnes dziļrakums izdarīts ekstensīvi izmantotās ganībās. Dziļrakuma vieta izvēlēta, pirms tam veicot augsnes zondēšanu. Augsnes rakums šajā gadījumā raksturo tipiskāko augsnes profilu apsekotajā zālājā. Pētītā lauksaimniecības zeme nav arta kopš pagājušā gadsimta septiņdesmitajiem gadiem, un visu laika periodu izmantota kā ganības, par ko, papildus minētajai karšu un mežierīcības materiālu izpētei, liecina arī vietējo iedzīvotāju aptauja, ku-ras laikā precizēta mežu un lauksaimnie-cības zemju izmantošanas un apsaimnie-košanas vēsture.

Augsnes paraugi lauksaimniecības un meža zemēs ievākti no katra augsnes

horizonta vai slāņa trīs atkārtojumos, pēc tam izveidojot vidējo paraugu. Kopumā 9 augsnes dziļrakumos no katra augsnes horizonta vai slāņa ievākti 52 vidējie augsnes paraugi. Augsnes profili aprak-stīti atbilstoši starptautiskajai FAO WRB augšņu klasifikācijai (IUSS Working Group, 2007). Turklāt pētījuma parauglaukumā noteikta ģeoloģisko nogulumu ģenētiskā izcelsme un sastāvs, kā arī parauglaukumu izvietojums reljefā.

Augsnes paraugu fizikālās un ķīmiskās analīzes izdarītas Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu, kā arī Bioloģijas fakultātē. Pēc paraugu nogādā-šanas laboratorijā tie izzāvēti līdz gais-sausam stāvoklim, tad minerālaugsnes paraugi izsijāti caur 2-mm sietu, bet orga-niskais materiāls – caur 4 mm sietu. Pēc paraugu sagatavošanas analīzēm noteikts to granulometriskais sastāvs, augsnes pH_{KCl} skābā amonija oksalāta ekstrahējamais dzelzs $[Fe_o]$ un alumīnijs $[Al_o]$, kopējais slāpeklis $[N_{kop.}]$, fosfors $[P_{kop.}]$, kalcijs $[Ca_{kop.}]$, magnijs $[Mg_{kop.}]$ un kālijs $[K_{kop.}]$. Analīzes veiktas atbilstoši FSCC (Forest Soil Co-Ordinating Centre) (2006) me-todēm.

Nosakot augsnes granulometrisko sastāvu, paraugi apstrādāti ar 0,1M NaOH šķīdumu. Granulometriskais sastāvs no-teikts, izmantojot pipetēšanas metodi (Van Reeuwijk, 1995). Balstoties uz USDA augsnes granulometriskā sastāva iedalījumu, frakcija ar daļiņu lielumu no 0,063 līdz 2,0 mm klasificēta kā smilts, daļiņas no 0,002 līdz 0,063 mm – kā putekļi, bet smal-kākās daļiņas, kas mazākas par 0,002 mm, – kā māls (FSCC, 2006). Granulometriskā

sastāva grupa noteikta, pielietojot nomogrammu (Kārklīnš, 2008).

Augsnes pH noteikts, izmantojot pH-metru *WTW inoLab* ar stikla elektrodu, 1M KCl šķīdumā (masas/tilpuma attiecība 1:2,5). Amorfais dzelzs (Fe_o) un alumīnijs (Al_o) noteikts 0,2M skābā amonija oksalāta šķīdumā pie pH 3 (USDA, 2004).

Kopējā elementu (Ca, Mg, K), kā arī Fe_o un Al_o koncentrācija amonija oksalāta šķīdumā noteikta ar atomabsorbcijas spektrometru *Perkin Elmer Analyst 200*. Kopējais N noteikts, izmantojot Kjeldāla standartmetodi (ISO, 11261), bet kopējais P – ar spektrofotometru *Zuzi 4210/20*.

Humusvielas no augsnes ekstrahētas ar 0,1M NaOH; šķīduma–augšnes attiecība 10:1. Kopējā organiskā oglekļa (angļu val. – *total organic carbon* – TOC) koncentrācija (mg L⁻¹) noteikta 0.1M NaOH ekstraktā, izmantojot kopējā oglekļa analizatoru *Shimadzu TOC-Vcsn*. Noteiktais TOC (mg L⁻¹) izmantots, lai aprēķinātu NaOH izdalāmā organiskā oglekļa koncentrāciju augsnē (OC_{NaOH}, mg g⁻¹). Fluorescences spektri noteikti ar fluorescences spektrometru *Perkin-Elmer LS-55*. Humifikācijas indekss (I_{510}/I_{460}) aprēķināts, kā fluorescences intensitātes (*I*) pie 510 nm attiecība pret fluorescences intensitāti pie 460 nm (Kalbitz *et al.*, 1999). Augšnes ekstrakti ar 0,1M NaOH paskābināti līdz pH < 2 ar koncentrētu H₂SO₄, izgulsnētās humīnskābes (HA) atdalītas centrifugējot. Fulvoskābju koncentrācija, izsakot to kā TOC (mg L⁻¹), noteikta ar kopējā oglekļa analizatoru *Shimadzu TOC – Vcsn*.

Visas fizikālās un ķīmiskās analīzes izdarītas 3 atkārtojumos. Laboratorijas ana-

līžu rezultāti uzskatīti par ticamiem, ja starpība starp noteiktajām vērtībām mazāka par ±5 %.

Rezultāti

Pētītajos parauglaukumos augsnes minerālo virskārtu veido smaga mālsmiltis, bet cilmiezi – smaga mālsmiltis vai smilšmāls. Atbilstoši starptautiskajai FAO WRB augšņu klasifikācijai, pētītās augsnes atbilst *Endostagnic Cutanic Luvisols*, *Endostagnic Cutanic Albeluvisols* un *Luvic Stagnosols* klasifikācijas vienībām (1. tab.). Pētījumā netika konstatētas augsnes grupu atšķirības saistībā ar lauksaimniecības zemju apmežošanās laiku.

Pētītajā teritorijā lauksaimniecības zemes vēsturiski ir apmežojušās vai arī pēc izstrādes izcirtums atjaunojies ar parasto egli (*Picea abies* (L.) H. Karst.), āra bērzu (*Betula pendula* Roth.), balttalksni (*Alnus incana* (L.) Moench) un parasto apsi (*Populus tremula* L.). Mežaudzes meža zemēs, kuru vecums līdz 100 gadiem, veido koku sugas, kas ir kolonizējušās laukus tūlīt pēc to izmantošanas pārtraukšanas. Savukārt meža zemēs, kas vecākas par 150 gadiem, meži vienreiz tikuši izcirsti, un audze pēc tam atjaunojusies dabiski.

Pētījumā konstatētas acīmredzamas morfoloģisko pazīmju izmaiņas augsnes profilos atkarībā no meža zemju vecuma. Trūdvielu akumulācijas horizonti (Ap horizontu biezums 21–27 cm) biežāki ir lauksaimniecības zemes augsnē un jaunākajās meža zemēs (2. att., 1., 2., 3. augsnes profils). Savukārt 150 gadu vecā meža zemē (2. att., 7. augsnes profils), kur kok-

1. tabula, Table 1

Parauglaukumu, kokaudzes un augsnes raksturojums pētījuma teritorijā
Characterization of the sampling plots in the study area

Augsnes profila Nr. Soil profile No.	Dominējošā koku suga (kvantitāte) Dominant tree species (quantity)	Meža zemes vecums, gadi Age of forest land, years	Meža vecums, gadi Age of forest stand, years	Augsnes pamatgrupa (FAO WRB) Soil group (FAO WRB)	Augsnes granulometriskais sastāvs (virskārtā/apakškārtā) Soil texture (top/bottom)	CaCO ₃ dziļums, cm Depth of the CaCO ₃ , cm	Izvietojums reljefā Topography
1.	—	—	—	Endostagnic Cutanic Luvisol	Smaga mālsmilts/ smaga mālsmilts Sandy loam/ Sandy loam	73	Nogāze Slope
2.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (100%)	25	25	Endostagnic Cutanic Albeluvisol	Smaga mālsmilts/ smaga mālsmilts Sandy loam/ Sandy loam	104	Viršotne Crest
3.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (80%); <i>Betula pendula</i> Roth. (20%)	70	60	Endostagnic Cutanic Luvisol	Smaga mālsmilts/ smilšmāls Sandy loam/ Loam	65	Viršotne Crest
4.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (50%); <i>Betula pendula</i> Roth. (30%); <i>Alnus incana</i> (20%) + <i>Populus tremula</i>	70	70	Endostagnic Cutanic Luvisol	Smaga mālsmilts/ smaga mālsmilts Sandy loam/ Sandy loam	111	Viršotne Crest
5.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (90%); <i>Betula pendula</i> Roth. (10%)	100	100	Luvic Stagnosol	Smaga mālsmilts/ smaga mālsmilts Sandy loam/ Sandy loam	108	Viršotne Crest
6.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (90%); <i>Betula pendula</i> Roth. (10%)	100	100	Luvic Stagnosol	Smaga mālsmilts/ smilšmāls Sandy loam/ Loam	67	Nogāze Slope

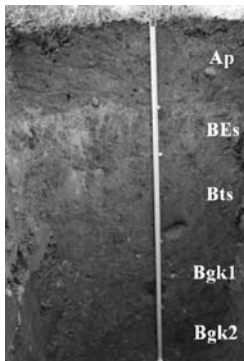
1. tabula (turpinājums) / Table 1 (continued).

Augsnes profila Nr. Soil profile No.	Dominējošā koku suga (kvantitāte) Dominant tree species (quantity)	Meža zemes vecums, gadi Age of forest land, years	Meža vecums, gadi Age of forest stand, years	Augsnes pamatgrupa (FAO WRB) Soil group (FAO WRB)	Augsnes granulometriskais sastāvs (virskārtā/apakškārtā) Soil texture (top/bottom)	CaCO ₃ dziļums, cm Depth of the CaCO ₃ cm	Izvietojums reljefā Topography
7.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (90%); <i>Betula pendula</i> Roth. (10%)	150	100	<i>Endostagnic Cutanic Luvisol</i>	Smaga mālsmits/smilšmāls <i>Sandy loam/Loam</i>	65	Virsošne Crest
8.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (80%); <i>Betula pendula</i> Roth. (10%); <i>Populus tremula</i> (10%)	200	80	<i>Luwic Stagnosol</i>	Smaga mālsmits/smilšmāls <i>Sandy loam/Loam</i>	90	Virsošne Crest
9.	<i>Populus tremula</i> L. (80%); <i>Betula pendula</i> Roth. (10%); <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (10%)	200	80	<i>Endostagnic Cutanic Albeluvisol</i>	Smaga mālsmits/smilšmāls <i>Sandy loam/Loam</i>	90	Virsošne Crest

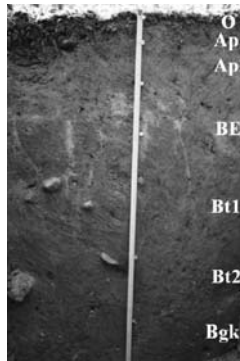
audzi veido parastā egle, Ap horizonta biezums ir tikai 6 cm; 200 gadu vecā meža zemē (2. att., 8. augsnes profils), kur dominējošās koku sugas ir āra bērzs un parastā apse, Ap horizonta biezums ir 18 cm. Izteikts *Albic* (E) horizonts konstatēts 70 gadu un vecākās meža zemju augsnēs (2. att., 3., 7. un 8. augsnes profils). Savukārt jaunākās meža zemju augsnēs (2. att., 2. augsnes profils) un lauksaimniecības zemē (2. att., 1. augsnes profils) augsnes profilā redzamas tikai E horizonta pazīmes. Te novērojams vāji izteikts *Albeluvisol* mēļveidīgums, kas iespējams saglabājies no perioda pirms lauksaimniecības zemju ierīkošanas, un tas redzams 1., 2. un 8. augsņu profila B horizontā.

Stagnic pazīmes konstatētas visos augsņu profilos (2. att.). *Stagnic* krāsu salikums redzams lauksaimniecības un relatīvi jaunāko meža zemju augsņu B horizontā, 73–105 cm dziļumā. Vecākās meža zemēs *Stagnic* krāsu salikums novērojams EB un E horizontā, 22–45 cm dziļumā virs blīvā B horizonta.

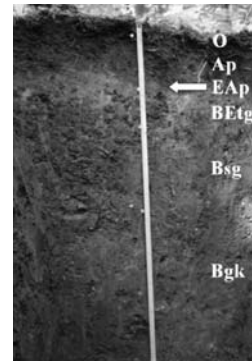
Kalcija karbonāti (CaCO₃) pētītajos augsņu profilos sastopami 65–111 cm dziļumā. Vistuvāk augsnes virskārtai – 65 cm (2. att., 2. tab.) dziļumā – CaCO₃ ir 3. un 7. augsņu dziļrakumā. Karbonātu dziļums pētītajā apvidū nav saistīts ar meža zemes vecumu, lai gan to klātbūtne var ietekmēt augsnes veidošanās procesus.



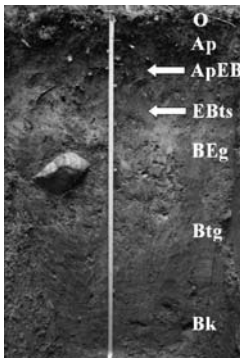
Augsnes profils Nr. 1
Soil profile No. 1
Endostagnic Cutanic Luvisol
Pļava
Grassland



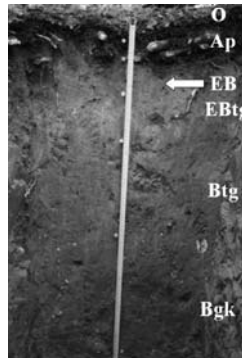
Augsnes profils Nr. 2
Soil profile No. 2
Endostagnic Cutanic Albeluvisol
Oxalidosa
(100 % *Picea abies* (L.) H. Karst.)
Kokaudzes vecums: 25 gadi
Age of forest stand: 25 years
Meža zemes vecums: 25 gadi
Age of forest land: 25 years



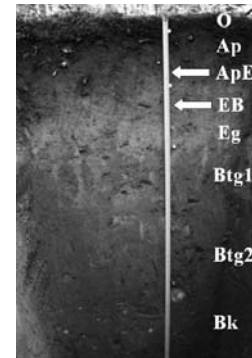
Augsnes profils Nr. 3
Soil profile No. 3
Endostagnic Cutanic Luvisol
Oxalidosa
(80 % *Picea abies* (L.) H. Karst.,
20 % *Betula pendula* Roth.)
Kokaudzes vecums: 60 gadi
Age of forest stand: 60 years
Meža zemes vecums: 70 gadi
Age of forest land: 70 years



Augsnes profils Nr. 5
Soil profile No. 5
Luvic Stagnosol
Oxalidosa
(90 % *Picea abies* (L.) H. Karst.,
10 % *Betula pendula* Roth.)
Kokaudzes vecums: 100 gadi
Age of forest stand: 100 years
Meža zemes vecums: 100 gadi
Age of forest land: 100 years



Augsnes profils Nr. 7
Soil profile No. 7
Endostagnic Cutanic Luvisol
Oxalidosa
(90 % *Picea abies* (L.) H. Karst.,
10 % *Betula pendula* Roth.)
Kokaudzes vecums: 100 gadi
Age of forest stand: 100 years
Meža zemes vecums: 150 gadi
Age of forest land: 150 years

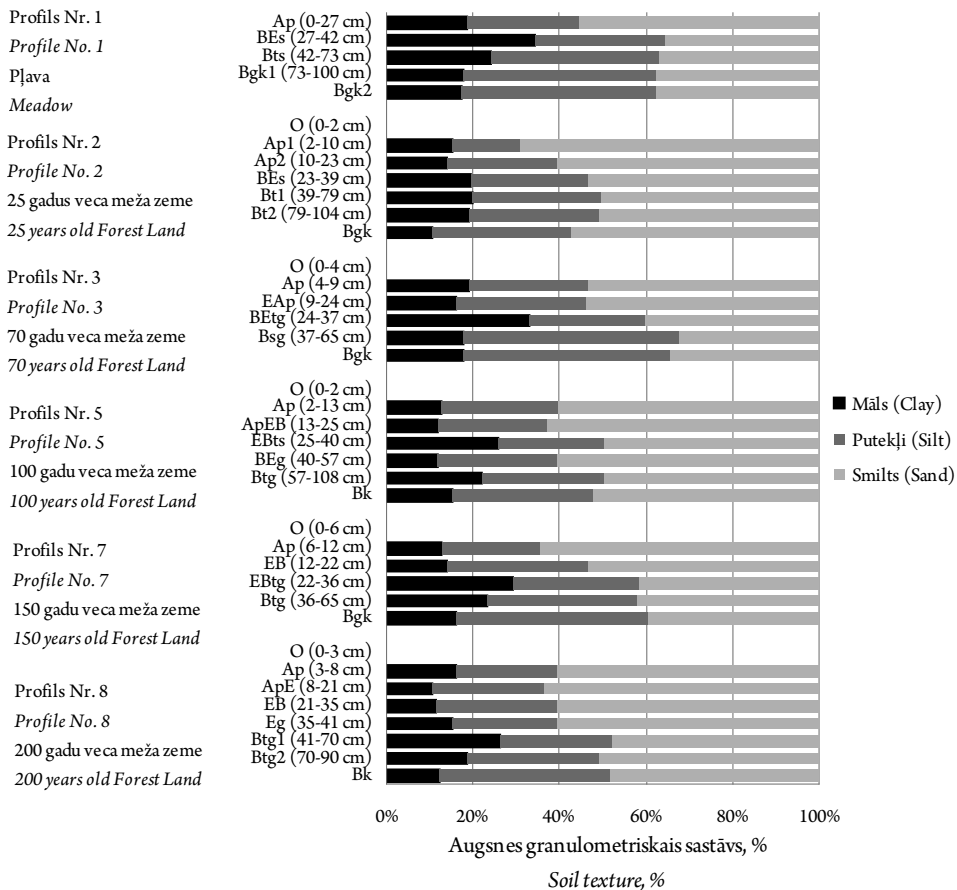


Augsnes profils Nr. 8
Soil profile No. 8
Luvic Stagnosol
Oxalidosa
(80 % *Picea abies* (L.) H. Karst.,
10 % *Betula pendula* Roth.,
10 % *Populus tremula* L.)
Kokaudzes vecums: 80 gadi
Age of forest stand: 80 years
Meža zemes vecums: 200 gadi
Age of forest land: 200 years

2. attēls. Parauglaukumu un augsnes profilu raksturojums.
Figure 2. Description of sampling plots and soil profiles.

Augsnes horizontu granulometri-
skais sastāvs pētītajās augsnēs kopumā ir
relatīvi līdzīgs. Augsnes virskārtā dominē
smaga mālsmilts, bet cilmiezi – smilšmāls
un 2. parauglaukumā – smaga mālsmilts.
Augstāks māla daļiņu daudzums visās
augsnēs, izņemot 8. profilu, konstatēts
tieši zem aramkārtas slāņa – BE un EB
horizontos (3. att.). Māla daļiņas šajos

horizontos ir indikators māla iluviālai
akumulācijai, par ko liecina arī daļiņu
orientācija augsnēs tukšumos, kā arī
veidošanās *in situ*. Relatīvi vecākā meža
zemē (8. augsnis profils) salīdzinoši lielāks
māla daļiņu daudzums konstatēts Btg
horizontā, kas atrodas dziļāk par augstāk
minētajiem BE un EB horizontiem citos
augšņu dziļrakumos (3. att.).



3. attēls. Augsnes granulometriskais sastāvs pļavu eksosistēmas un dažāda vecuma meža zemju augsnēs.

Figure 3. Soil texture in the soils of grassland and forest lands of different ages.

Vecākās meža zemēs, salīdzinot ar 25-gadīgu meža zemi un lauksaimniecības zemi, pH_{KCl} vērtība virsējā minerālajā horizontā ir zemāka (4.a attēls). Būtiskas savstarpējas pH_{KCl} vērtību atšķirības vecāko mežu zemju (70, 150 un 200 gadu vecās meža zemēs) virsējos minerālajos horizontos pētījumā netika konstatētas; arī O horizonta pH_{KCl} nav tieši atkarīgs no meža zemes vecuma.

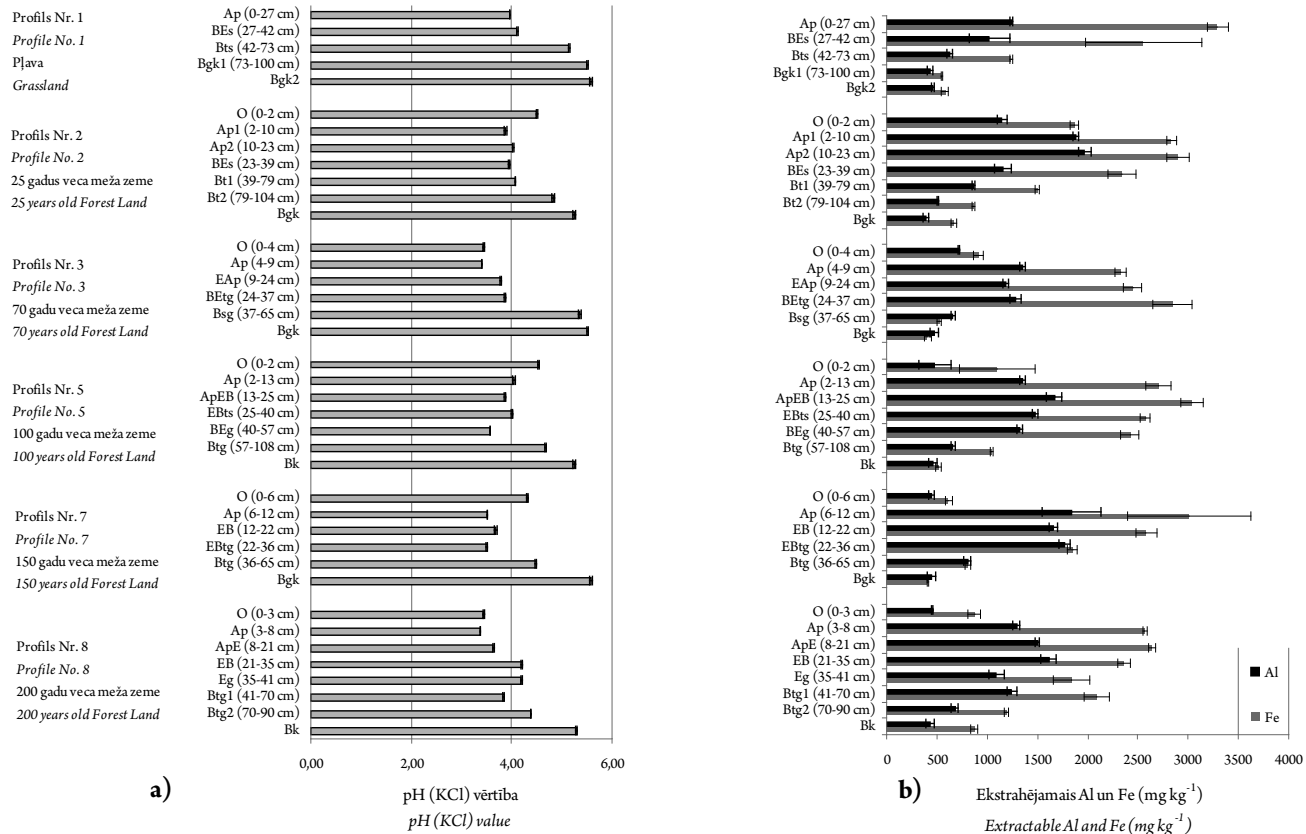
Pētījums parādīja, ka pļāvā, salīdzinot ar meža zemi, augsnes Ap horizontā ir augstāka Fe_0 koncentrācija (4.b att.). Savukārt meža zemju augsnēs relatīvi augstāka koncentrācija ir horizontos zem Ap horizonta, tanī skaitā sekundārajā E un B horizontā (3., 5. un 8. augšņu profils). Minētā sakarība nav viennozīmīga, jo 7. profilā augstākā Fe_0 koncentrācija ir tieši Ap horizontā.

Lauksaimniecībā izmantojamo zemju un jaunāko meža zemju augsnēs, salīdzinot ar vecajām meža zemēm, izteikti augstāka Al_0 koncentrācija konstatēta Ap horizontā (4.b att.). Turklāt šajās augsnēs Al_0 koncentrācija strauji samazinās dziļākajos horizontos. Savukārt vecāko meža zemju EB horizontā Al_0 koncentrācija ir tikpat augsta kā virsējos minerālajos horizontos. Turklāt tieši 200 gadu vecās meža zemes EB horizontā (8. augsnes profils) novērojama augstākā vidējā Al_0 koncentrācija (1611 mg kg^{-1}) šajā profilā. Minētais horizonts veidojies sekundārās podzolēšanās procesā. Līdzīgas tendences novērotas arī citās relatīvi vecākās meža zemju augsnēs.

Lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekmē augsnes organiskā oglekļa koncentrāciju, un meža augsnēs tā uz-

krāšanās notiek galvenokārt O horizontā (5.a att.), kur visos šo augšņu profilos koncentrācija ir visaugstākā. Augsnes minerālajos horizontos OC_{NaOH} lielākā koncentrācija ir Ap horizontos, turklāt vecākās meža zemēs tā ir augstāka. Salīdzinot ar lauksaimniecības zemēm, meža zemju augsnēs horizontā zem Ap horizonta (EB horizontā) ir notikusi organiskā oglekļa ieskalošāns no virskārtas vai arī akumulācija, atmirstot saknēm un citiem organiskajiem materiāliem. Tomēr visaugstākā organiskā oglekļa koncentrācija Ap horizontā nav visvecākajās meža zemēs, bet gan *Endostagnic Cutanic Luvisol* augsnē, kas atrodas 70 gadu vecā meža zemē (3. augsnes profils). Ļoti liela OC_{NaOH} koncentrācija ir arī 3. augsnes profilā EAp horizontā. Dati rāda, ka 70 gadu ilgā laika posmā pēc apmežošanas sākuma, organiskā oglekļa saturs augsnē ir pieaudzis. Savukārt pēc 70 gadiem organiskā oglekļa daudzums augsnes Ap horizontā, sasniedzot koncentrāciju $14,8\text{--}24,8 \text{ mg g}^{-1}$, nostabilizējas un vairs nepalielinās (2. tab.).

Kā jau iepriekš atzīmēts, tad OC_{NaOH} koncentrācija O horizontā visos gadījumos ir augstāka nekā Ap horizontā, un šīs atšķirības ir vairāk izteiktas relatīvi jaunākās meža zemēs (2. augsnes profils). O un Ap horizontā, 2. augsnes profilā, organiskās vielas humifikācijas indekss I_{510}/I_{460} ir vismazākais (2. tab.). Tajā pašā laikā minētais rādītājs augstāko vērtību sasniedz O horizontā, 5. augsnes profilā, un Ap horizontā, 7. augsnes profilā. Tas liecina, ka humifikācijas process nav tieši saistīts ar meža zemes vecumu.



4. attēls. pH_{KCl} (a) vidējā vērtība, ekstrahējamā Fe un Al vidējā koncentrācija un standartnovirze (b) pļavu ekosistēmas un dažāda vecuma meža zemju augsnēs.

Figure 4. Mean values and standard deviations of pH_{KCl} (a) and extractable Fe and Al concentration (b) in the soils of grassland and forest lands of different ages.

2. tabula, Table 2

Organiskā oglekļa, organisko vielu humifikācijas indeksa vidējās vērtības un $C_{HA} : C_{FA}$ izmaiņas virsējos augsnes horizontos saistībā ar meža zemes vecumu

Mean content of organic carbon, humification index of organic matter and $C_{HA} : C_{FA}$ changes in the topsoil horizons depending on the age of forest land

Augsnes profila Nr. Soil profile No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meža zemes vecums, gadi Age of forest land, years		0	25	70	70	100	100	150	200	200
OC _{NAOH'} mg g ⁻¹	O horizonts O horizon	-	32,1	45,2	38,4	45,2	30,1	44,4	40,8	32,8
	Ap horizonts Ap horizon	10,7	11,2	36,8	21,9	22,2	14,8	23,2	24,8	18,9
OC _{NAOH'} mg g ⁻¹	O/Ap horizonts O/Ap horizon	-	2,87	1,23	1,75	2,04	2,03	1,91	1,65	1,74
Organiskās vielas humifikācijas indeks I_{510}/I_{460} Organic matter humification index I_{510}/I_{460}	O horizonts O horizon	-	0,57	0,69	0,62	0,71	0,58	0,68	0,66	0,62
	Ap horizonts Ap horizon	0,63	0,58	0,64	0,73	0,77	0,65	0,78	0,70	0,70
$C_{HA} : C_{FA}$	Ap horizonts Ap horizon	1,24	0,55	0,33	0,37	0,56	0,49	0,34	0,35	0,39

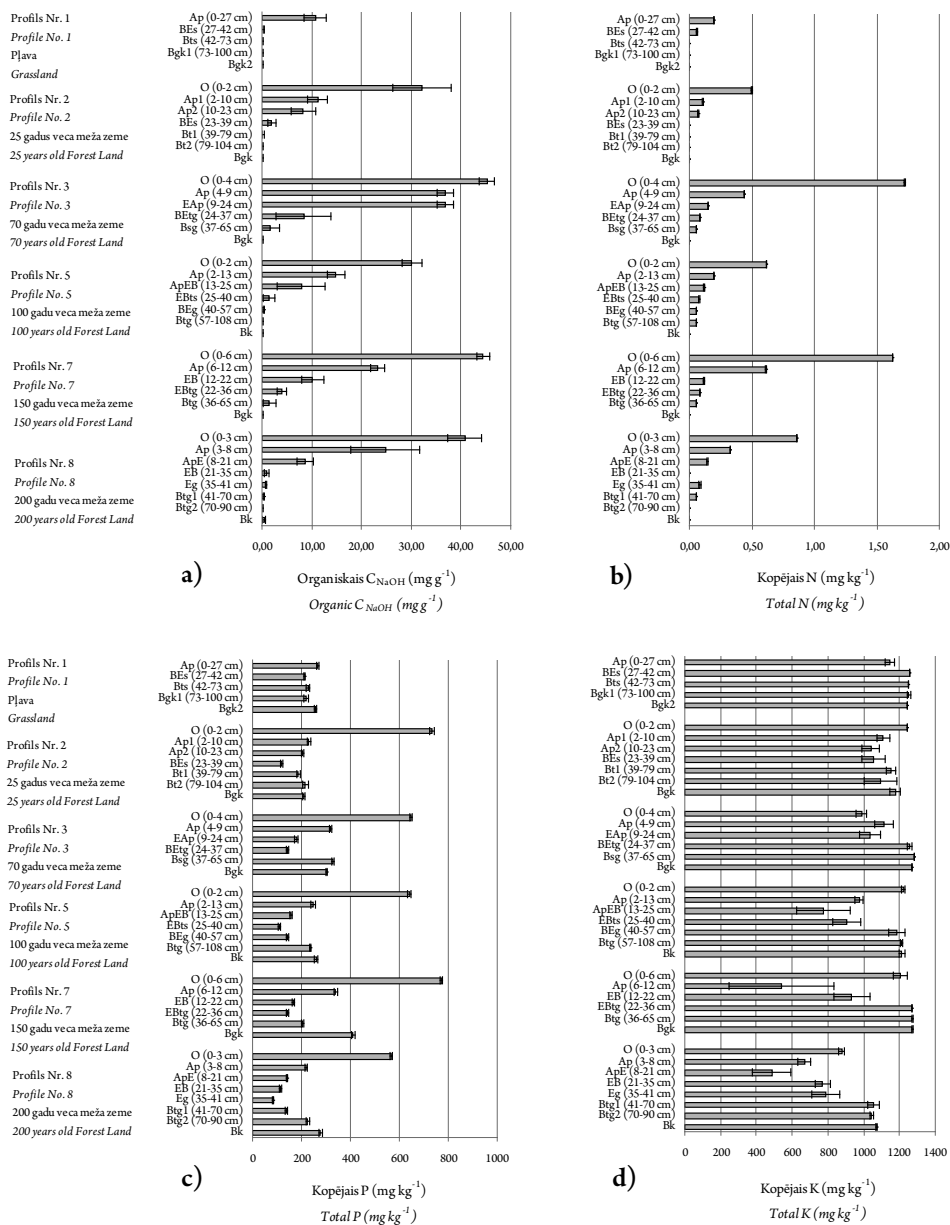
Vislielākās $C_{HA} : C_{FA}$ vērtības konstatētas lauksaimniecības zemes augsnē, turpretī meža zemēs tās ir relatīvi mazākas. Starp meža zemju augsnēm humīnskābes salīdzinoši vairāk satur lauksaimniecības zemes, kas transformētas meža zemēs relatīvi nesēn (2. augsnes profils), un 100 gadu vecā meža zemē (5. augsnes profils), kur konstatēts relatīvi augsts I_{510}/I_{460} indekss (2. tab.).

$N_{kop.}$ (5.b att.) koncentrācija augstāka ir par 70 gadiem vecākās meža zemēs nekā ekstensīvi izmantotā pļavā un 25 gadus vecā meža zemē. Šī likumsakarība

novērota ne tikai Ap horizontos, bet arī dziļākos minerālajos horizontos. Tomēr pētījumu rezultāti rāda, ka arī $N_{kop.}$ koncentrācijas izmaiņas nedzīvajā zemsegā un augsnes minerālajā virskārtā nav tieši saistītas ar meža zemju vecumu.

Izvērtējot $P_{kop.}$ koncentrāciju (5.c att.) dažāda vecuma meža zemju augsnēs, konstatēts, ka meža zemēs, kas vecākas par 70 gadiem, kopējā P koncentrācija E un EB horizontā samazinās, bet pieaug dziļāk esošajā Bt horizontā.

Izpētē konstatēts, ka augsnes minerālajos horizontos līdz ar dziļumu pa-



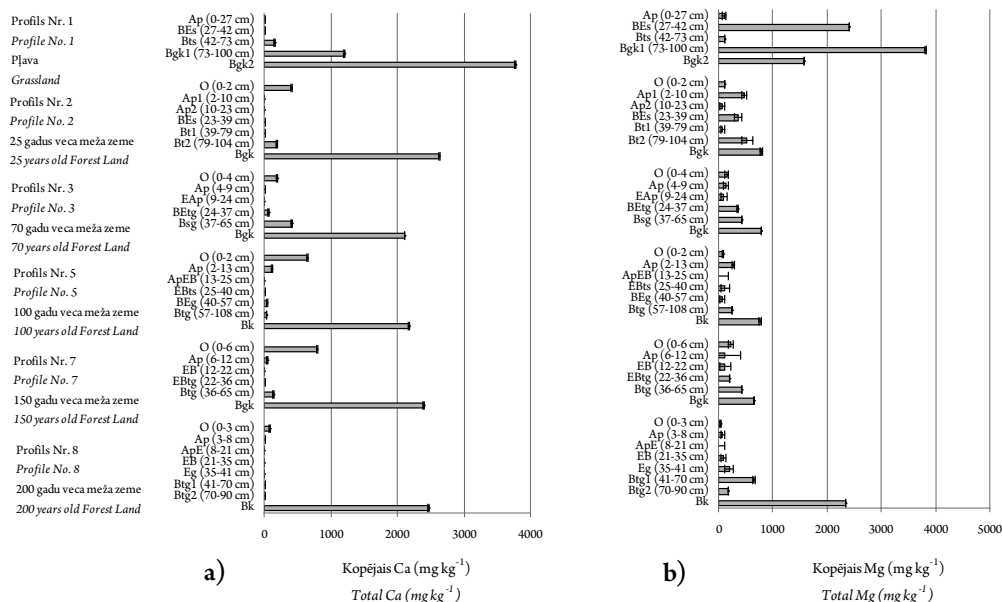
5. attēls. Organiskā C_{NaOH} (a), kopējā N (b), P (c), K (d) vidējās koncentrācijas vērtības un standartnovirzes pļavu ekosistēmās un dažāda vecuma meža zemju augsnēs.

Figure 5. Mean values and standard deviations of organic C_{NaOH} (a) and total N (b), P (c), K (d) in the soil profiles of grassland and forest lands of different ages.

lielinās Ca_{kop} un Mg_{kop} koncentrācija, augsnes cilmiezī sasniedzot attiecīgi $22108 \pm 9797 \text{ mg kg}^{-1}$; $9420 \pm 2754 \text{ mg kg}^{-1}$ (6.a, b att.). No vienas puses, tas liecina par šo elementu ienesi no augsnes virskārtas tās dziļākajos slāņos, ko varētu izraisīt dekalciifikācijas un podzolēšanās procesu norise, bet, no otras puses, koncentrācijas straujš pieaugums atklāj augsnes cilmieža sastāvu.

150 un 200 gadu vecas meža zem-

ju augsnes Ap un ApE horizontā, salīdzinot ar jaunākām mežu zemju un lauksaimniecības augsnēm, K_{kop} koncentrācija ir relatīvi zemāka (5.d att.). Pieaugot meža zemju vecumam, samazinās minētā elementa koncentrācija ApE un citos horizontos, kas atrodas tieši zem AP horizonta. Elementa koncentrācija pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās nemainās dziļākos minerālajos horizontos.



6. attēls. Kopējā Ca un Mg vidējās koncentrācijas vērtības un standartnovirzes pļavu eksosistēmas un dažāda vecuma meža zemju augsnēs.

Figure 6. Mean values and standard deviations of total Ca and Mg concentration in the soils of grassland and forest lands of different ages.

Diskusija

Augsnes veidošanās parasti tiek uzskatīta par lēnu procesu (Montagne *et al.*, 2008), kuru V. Targuliāns un P. Krasilņikovs (Targulian, Krasilnikov, 2007) pēc norises ātruma iedala trīs galvenajās klasēs: ātrs (10^{1-2} gadi), vidējs (10^{3-4} gadi), lēns (10^{5-6} gadi). M. Wilkinsons un citi (Wilkinson *et al.*, 2005) uzskata, ka augsnes veidošanās, lai rastos pilns augsnes profils, notiek vidēji 10^4 līdz 10^5 gadu ilgā periodā. Turpretī mūsu pētījuma rezultāti liecina, ka morfoloģiskās izmaiņas augsnes boreonemorālajā starpzonā attīstās daudz ātrāk.

Rezultātu sadaļā aprakstītās izmaiņas Ap horizonta biezumā un E horizonta saglabāšanos vecākās meža zemēs mūsu pētītajos augsnes parauglaukumos iespējams skaidrot ar zemkopības un augsnes apstrādes vēsturisko gaitu. Latvijā līdz 1940. gadam aramzemju virsējo slāni uzirdināja tikai līdz 15 cm dziļumam (Boruks, 2003), kā rezultātā augsnēs, kas veidojušās uz morēnas nogulumiem, netika skarts E horizonts. Savukārt padomju periodā augsni apvērta līdz pat 25 cm dziļumam, sajaucot E un Ap horizontus (1. un 2. augšņu profils). Tādēļ E horizonta pazīmes, kas veidojušās ilgstošā laika periodā, pirms zemju izmantošanas lauksaimniecībā un vēlākās teritorijas apmežošanās, ir saglabājušās 100, 150 un 200 gadu vecās meža zemju augsnēs (5., 7. un 8. augsnes profils), bet nav novērojamas padomju laikā kultivētajās augsnēs.

Sekundārās podzolēšanās pazīmes pētījumā konstatētas vecāko meža zemju

augšņu profilos. Par podzolēšanās procesu attīstību liecina tā pazīmes Ap horizontā (5., 7. un 8. augšņu profils) un trīsvērtīgo oksīdu uzkrāšanās virs E horizonta, veidojoties sekundārajam EB horizontam. Tādēļ varam piekrist augšņu zinātniekiem (Mellor, 1985; Alexander, Burt, 1996; Stützer, 1998), kuri norāda, ka podzolēšanās procesa morfoloģiskās pazīmes ir novērojamas jau 100 gadu laikā pēc tā sākšanās. Mūsu pētījumā konstatēts, ka sekundārā B horizonta, kas veidojies virs primārā E horizonta (2. att.), pazīmes (augšnes krāsa 7,5YR 3/4; 10YR 5/4) boreonemorālajās starpzonas augsnēs, kas izveidojušās uz morēnas nogulumiem, iespējams konstatēt 100 gadu laikā pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās.

Māla iluviālā uzkrāšanās uz vertikālo makroagregātu virsmām B horizontā konstatēta visās pētītajās augsnēs. Tas norāda uz lesivēšanās procesa attīstību. Pēc literatūras datiem šis process parasti norisinās relatīvi ilgā laika periodā. D. Sauera un citu (Sauer *et al.*, 2008) pētījuma rezultāti rāda, ka *Albeluvis* mēļveidīgums attīstās laikā no 4600 līdz 6200 gadiem. Māla daļiņu pārklājuma izpēte pasaulē liecina par vismaz trīs dažādām māla iluviālajām fāzēm, no kurām jaunākā visticamāk ir antropogēnas izcelsmes (Kühn, 2003). Šajā gadījumā māla uzklājumu veidošanos atsevišķi zinātnieki (Slager, Van de Wetering, 1977; Kwaad, Múcher, 1977) saista ar meža zemju transformēšanu lauksaimniecības zemēs, kas, pateicoties liduma zemkopības attīstībai, ir noritējusi visā Latvijas teritorijā, tanī skaitā arī mūsu pētītajā, par ko lie-

cina augsnes Ap un dziļākajos horizontos atrastās oglītes.

Liduma zemkopības attīstība acīmredzot notikusi laika posmā starp 13. un 18. gs. (Zunde, 1999), kā rezultātā zemes izmantošanas veids šajā periodā iespējams vairākas reizes ir mainījies. Pētījuma rezultāti uzrāda aptuveni vienādu *Albeluvic* mēļveidīguma izteiktību neatkarīgi no tā, kad pēdējo reizi lauksaimniecības zemes transformētas meža zemēs (2. un 8. augšņu profils). Vienlaikus, atkarībā no meža zemes vecuma, augsnē atšķirīgs ir iluviālā māla uzkrāšanās dziļums, kas iespējams rāda, ka lesivēšanās procesu ir ietekmējusi atšķirīgā zemes izmantošana pēdējo 200 gadu laikā. Vecākajās meža zemju augsnēs lielākais māla daudzums (8. augsnes profils) konstatēts Bt horizontā, 41–70 cm dziļumā, turpretī citās augsnēs vairāk māla daļiņu ir 22–40 cm dziļumā. Relatīvi nelielo māla un augsto smilts daļiņu īpatsvaru vecāko meža zemju virsējos minerālajos horizontos un relatīvi biežāko E horizontu (2. att.) var skaidrot ne tikai ar lesivēšanās procesa norisi, bet arī ar minerālu dēdēšanu, ko izraisa kompleksās zemas molekulasmasas organiskās skābes (Aristovskaya, Zykina, 1977; Lundström, 1993). Minētais process notiek galvenokārt E horizontā (Lundström *et al.*, 2000). Iespējamību, ka tas noris aktīvāk pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās, apstiprina arī atšķirības humīnskābju un fulvoskābju attiecībā Ap horizontā starp meža zemēm un lauksaimniecības zemēm (2. tabula).

Pieaugot meža zemes vecumam, samazinās pH_{KCl} ne tikai Ap horizontā,

bet arī dziļākajos horizontos. Augsnes pH_{KCl} izmaiņas nosaka arī Fe_o koncentrāciju augsnē (Smal, Olszewska, 2008). Tādēļ, no vienas puses, ekstrahējamā Fe augstāka koncentrācija ir zālāja Ap horizontā un vecāku meža zemju dziļākajos EB un Btg horizontos. Tomēr, no otras puses, Fe_o lielāka koncentrācija var norādīt arī uz Fe^{3+} izskalošanos no augsnes virskārtas horizontiem podzolēšanās rezultātā.

Augstāka Al_o koncentrācija meža zemes augsnes virskārtas horizontos, salīdzinot ar lauksaimniecības zemi, liecina, ka podzolēšanās process palielina Al_o koncentrāciju sekundāri iluviālajos horizontos meža zemēs, kas veidojušās uz bijušajām lauksaimniecības zemēm.

Svarīgs process, kas norisinās pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās, ir O horizonta veidošanās. Kā liecina pētījuma rezultāti, O horizonta biezums (2–6 cm) (2. att.) un organisko vielu saturs (2. tab.) uz barības vielām bagāta minerālā slāņa ir nemainīgs ilgākā laika periodā. Arī OC_{NaOH} koncentrācija O horizontā ilgāku laiku saglabājas nemainīga. Savukārt Ap horizontā straujam OC_{NaOH} pieaugumam sākuma periodā, pēc lauksaimniecības zemes apmežošanās, seko būtiska tā koncentrācijas samazināšanās. Iepriekš minētā likumsakarība sakrīt ar daudzu citu zinātnieku pētījumu rezultātiem (Paul *et al.*, 2002; Cerli *et al.*, 2006). Organiskā oglekļa samazināšanās augsnē ilgstošākā periodā pēc mežu stādīšanas tiek skaidrota ar izmaiņām organisko vielu mineralizācijas ātrumā, ar ienesto oglekļa daudzumu un veidu, kā arī barības vielu nepieciešamību meža augiem. Jāpiekrīt

C. Cerli un viņa kolēģiem (Cerli *et al.*, 2008), ka ogleklis pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās A horizontā kļūst daudz kustīgāks un sāk pārvietoties dziļākajos augsnes slāņos. Šāda likumsakarība novērota arī augsnēs, kas veidojušās uz relatīvi smagiem morēnas nogulumiem.

$P_{kop.}$ un $N_{kop.}$ koncentrāciju atšķirības dažādu mežaudžu O horizontā ir atkarīgas no nobiru sastāva (Terauda, Nikodemus, 2006). Dažāda mežaudžu sastāvs nosaka arī atšķirības O horizonta ķīmiskajā sastāvā.

Organisko vielu pieaugums augsnes dziļākajos slāņos palielina tajos arī slāpekļa koncentrāciju. Turklāt lauksaimniecības zemju apmežošanās ietekmē arī kopējā P un K migrāciju augsnē, kā rezultātā vecākās meža zemēs trūdvielu akumulācijas horizontā samazinās $P_{kop.}$ un $K_{kop.}$ koncentrācija. Tajā pašā laikā novērots minēto elementu koncentrācijas pieaugums dziļāk esošajos B horizontos. Saistībā ar augstāk minētajiem procesiem, augsnes auglības izmaiņas, kas norisinās lauksaimniecības zemju apmežošanās rezultātā, nav vērtējamā viennozīmīgi. No vienas puses, podzolēšanās un citu norišu rezultātā samazinās barības vielu daudzums trūdvielu

akumulācijas horizontā, bet, no otras puses, organiskās vielas un tādējādi arī barības vielas uzkrājas O horizontā. Kopumā mūsu pētījums liecina, ka augsnes glacigēnajos morēnas nogulumos (smaga mālsmilts, smilšmāls) lauksaimniecības zemju morfoloģiskās pazīmes saglabājas līdz 100 gadiem. Sekundārās podzolēšanās pazīmes augsnes profilos novērotas 100 gadu laikā pēc apmežošanās sākuma, turklāt augsnes profilā 200 gados nav izveidojušies *Albic* un *Spodic* horizonti, kas atbilstu diagnostiskajiem kritērijiem.

Pētījuma rezultāti rāda, ka podzolēšanās process aizkavēti noris relatīvi auglīgās augsnēs dažāda vecuma meža zemēs, kas veidojušās uz glacigēnajiem morēnas nogulumiem (smaga mālsmilts, smilšmāls). To galvenokārt nosaka salīdzinoši augstais putekļu un māla daļiņu saturs, kas saistīts ar relatīvi augstu pH_{KCl} vērtību un kopējā kalcija, magnija un kālija daudzumu augsnes cilmiezī. Pētījumā konstatēts, ka pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās augsnes pH_{KCl} , organisko vielu un ekstrahējamā alumīnija un dzelzs saturs izmainās daudz ātrāk nekā augsnes diagnostiskās pazīmes tās profilā.

Noslēgums

Mūsu pētījuma rezultāti ļaus labāk izprast un skaidrot meža augšņu telpiskās izplatības likumsakarības Latvijā. Pēdējā gadsimta laikā meža platības valstī ir divkāršojušās, un līdz ar to secināms, ka vairāk nekā puse šo mežu ir veidojušies uz bijušajām lauksaimniecības zemēm. Joprojām nav noskaidrota lauksaimniecības zemju apmežošanās ietekme uz augu barības vielu izmaiņām, jo to daudzums dziļākajos augsnes slāņos samazinās, bet palielinās O horizontā un Ap horizonta virsējā slānī. Turpmākajos zinātniskajos projektos vēlama augiem pieejamo elementu izpēte, lai izzinātu, kā augsnes auglību ietekmē lauksaimniecības zemju apmežošana.

Pateicība: pētījums veikts ar Latvijas Zinātnes padomes granta Nr. 09.1568 un Eiropas Sociālā fonda projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004 finansiālu atbalstu. Autori izsaka pateicību Ingum Liepiņam un Mārtiņam Lūkinam par dalību lauka darbos, kā arī Mārtiņam Lūkinam par atļauju izmantot viņa ievākto informāciju par meža zemju vēsturi. Autori izsaka pateicību arī publikācijas recenzentiem par konstruktīvajiem norādījumiem.

Literatūra

- Alexander, E.B., Burt, R.** (1996). Soil development on moraines of Mendenhall Glacier, southeast Alaska. 1. The moraines and soil morphology. *Geoderma*, 72, 1–17.
- Alriksson, A., Olsson, M.T.** (1995). Soil changes in different age classes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on afforested farmland. *Plant and Soil*, 168-169, 103–110.
- Andersson, P., Berggren, D., Nilsson, I.** (2002). Indices for nitrogen status and nitrate leaching from Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 157, 39–53.
- Aristovskaya, T.V., Zykina, L.V.** (1977). Biological factors of aluminium migration and accumulation in soils and weathering crusts. *Problems of soil science*. Nauka, Moscow, 175–182.
- Armolaitis, K., Aleinikovienė, J., Baniūnienė, A., Lubytė, J., Žėkaitė, V.** (2007). Carbon Sequestration and Nitrogen Status in Arenosols Following Afforestation or Following Abandonment of Arable Land. *Baltic Forestry*, 13 (2/25), 169–177.
- Boruks, A.** (2003). Zemnieks, zeme un zemkopība Latvijā no senākiem laikiem līdz mūsdienām. Otrais, pārstrādātais un papildinātais izdevums. LLU, Jelgava, 717 lpp.
- Bušs, K.** (1981). Meža ekoloģija un tipoloģija. Rīga, Zinātne, 68 lpp.
- Cerli, C., Celi, A., Kaiser, K., Guggenberger, G., Johansson, M.B., Cignetti, A., Zanini, E.** (2008). Changes in humic substances along an age sequence of Norway spruce stands planted on former agricultural land. *Organic Geochemistry*, 39: 1269–1280.
- Cerli, C., Celi, L., Johansson, M. B., Kögel-Knabner, I., Rosenqvist, L., Zanini, E.** (2006). Soil organic matter changes in a spruce chronosequence on Swedish former agricultural soil: I. carbon and lignin dynamics. *Soil Science*, 171: 837–849.
- De Keersmaeker, L., Martens, L., Verheyen, K., Hermy, M., De Schrijver, A., Lust, N.** (2004). Impact of soil fertility and insolation on diversity of herbaceous woodland species colonizing afforestations in Muizen forest (Belgium). *Forest Ecology and Management*, 188: 291–304.
- Falkengren-Grerup, U., ten Brink, D. J., Brunet, J.** (2006). Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth on agricultural soils. *Forest Ecology*

- and Management, 225: 74–81.
- FSCC (Forest Soil Co-Ordinating Centre). (2006). Manual IIIa: Sampling and Analysis of Soil. In: ICP Forests, 2006: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. p 26. + annexes; URL <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual> [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- Griffiths, R., Madritch, M., Swanson, A.** (2005). Conifer invasion of forest meadows transforms soil characteristics in the Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management*, 208, 347–358.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., Nihlgård, B.** (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195, 373–384.
- He, L., Tang, Y.** (2008). Soil development along primary succession sequences on moraines of Hailuoguo Glacier, Gongga Mountain, Sichuan, China. *Catena*, 72, 259–269.
- Hedde, M., Aubert, M., Decaëns, T., Bureau, F.** (2008). Dynamics of soil carbon in a beechwood chronosequence forest. *Forest Ecology and Management*, 255, 193–202.
- ISO 11261. (1995). Soil Quality – Determination of total nitrogen – Modified Kjeldahl method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. p. 4; URL <http://www.iso.org/iso/home.html> [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- IUSS Working Group WRB. (2007). World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports 103. FAO, Rome. p 115; URL http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2007_corr.pdf [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- Jug, A., Makeschin, F., Rehfuess, K. E., Hofmann-Schielle, C.** (1999). Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *Forest Ecology and Management*, 121, 85–99.
- Kalbitz, K., Geyer, W., Geyer, S.** (1999). Spectroscopic Properties of Dissolved Humic Substances – a Reflection of Land Use History in a Fen Area. *Biogeochemistry*, 47: 219–238.
- Kārklīņš, A.** (2008). Augsnēs diagnostika un apraksts. LLU, Jelgava, 336 lpp.
- Knohl, A., Schulze, E. D., Kolle, O., Buchmann, N.** (2003). Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118, 151–167.
- Krauklis, A.** (2000). Living with diversity in Latvia: people, nature and cultural landscapes. *Folia Geographica*, 8, 1–14.
- Kristensen, S. P., Thenail, C., Kristensen, L.** (2001). Farmers's involment in landscape

- activietis: An analysis of the relationship between farm location, farm characteristics and landscape changes in two study areas in Jutland, Denmark. *Journal of Environmental Management*, 61: 301–318.
- Kristiansen, S. M.** (2001). Present-day soil distribution explained by prehistoric land-use: Podzol-Arenosol variation in and ancient woodland in Denmark. *Geoderma*, 103: 273–289.
- Kühn, P.** (2003). Micromorphology and late glacial/Holocene genesis of Luvisols in Mecklenburg - Vorpommern (NE – Germany). *Catena*, 54: 537–555.
- Kwaad, F. J. P. M., Mücher, H. J.** (1977). The evolution of soils and slope deposits in the Luxembourg Ardennes near Wiltz. *Geoderma*, 17: 1–37.
- Latvijas Statistika. (2010). Forestry-key indicators. Central Statistical Bureau of Latvia. URL <http://www.csb.gov.lv/en/statistikas-temas/forestry-key-indicators-30729.html> [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- Lipsky, Z.** (1995). The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 31: 39–45.
- Lūkins, M., Nikodemus, O.** (2011). Meža masīva struktūras maiņa 20.gs. pauguraines ainavā Vidzemē. *Latvijas Universitātes raksti. Zemes un Vides zinātnes*, 762: 7-25.
- Lundström, U. S., van Breemen, N., Bain, D.** (2000). The podzolization process. A review. *Geoderma*, 94: 91–107.
- Lundström, U. S.** (1993). The role of organic acids in soil solution chemistry in a podzolized soil. *Journal of Soil Science*, 44: 121–133.
- Mander, Ū., Kuuba, R.** (2004). Changing landscapes in Northeastern Europe based on examples from the Baltic countries. In: *The new dimension of the European landscape*, p. 123–134; URL <http://edepot.wur.nl/119323> [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- McLauchlan, K. K.** (2006). Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. *Geoderma*, 136, 289–299.
- McNamara, N. P., Black, H. I. J., Pearce, T. G., Reay, D. S., Ineson, P.** (2008). The influence of afforestation and tree species on soil methane fluxes from shallow organic soils at the UK Gisburn Forest Experiment. *Soil Use and Management*, 24: 1–7.
- Mellor, A., Acheson, B.** (2009). Changes in Soil Characteristics Under Different Aged Plantations of Corsican Pine (*Pinus nigra*) at Chopwell Woodland Park, Gateshead, UK. School of Applied Sciences occasional paper. Northumbria University, p. 23; URL <http://hdl.handle.net/10145/94101> [izdrukāts 2011. gada 1. septembrī].
- Mellor, A.** (1985). Soil chronosequences on Neoglacial moraine ridges, Jostedalbreen and Jotunheimen, southern Norway: a quantitative pedogenic approach. In Arnett, R.R., Ellis S., Richards K.S. (eds.): *Geomorphology and Soils*. George, Allen and Unwin, London, p. 289–308.

- Merilä, P., Smolander, A., Strömmer, R.** (2002). Soil nitrogen transformations along a primary succession transect on the land-uplift coast in western Finland. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 373–385.
- Miles, J.** (1985). The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession. *Soil Science*, 36, 571–584.
- Miller, J. D., Duff, E. I., Hirst, D., Anderson, H. A., Bell, J. S., Henderson, D. J.** (2001). Temporal Changes in Soil Properties at an Upland Scottish Site Between 1956 and 1997. *Science of Total Environment*, 265, 15–26.
- Montagne, D., Cornu, S., Le Forestier, L., Hardy, M., Josière, O., Caner, L., Cousin, I.** (2008). Impact of drainage on soil-forming mechanisms in a French Albeluvisol: Input of mineralogical data in mass-balance modelling. *Geoderma*, 145, 426–438.
- Mund, M., Kummetz, E., Hein, M., Bauer, G. A., Schulze, E. D.** (2002). Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 171, 275–296.
- Nadporozhskaya, M. A., Mohren, G. M. J., Chertov, O. G., Komarov, A. S., Mikhailov, A. V.** (2006). Dynamics of soil organic matter in primary and secondary forest succession on sandy soils in The Netherlands: An application of the ROMUL model. *Ecological Modelling*, 190, 399–418.
- Nielsen, K. E., Ladekarl, U. L., Nørnberg, P.** (1999). Dynamic soil processes on heathland due to changes in vegetation to oak and Sitka spruce. *Forest Ecology and Management*, 114, 107–116.
- Nierop, K. G. J., van Lagen, B., Buurman, P.** (2001). Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession. *Geoderma*, 100, 1–24.
- Nikodemus, O., Bell, S., Peneze, Z., Rasa, I.** (2010). The influence of single area payments on the Latvian landscape. *European Countryside*, 2, (1), 25–41.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., Khanna, P. K.** (2002). Change in Soil Carbon Following Afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168, 241–257.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Richards, G. P.** (2003). Sensitivity analysis of predicted change in soil carbon following afforestation. *Ecological Modelling*, 164, 137–152.
- Peichl, M., Arain, M. A.** (2006). Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140, 51–63.
- Penēze, Z.** (2009). Latvijas lauku ainavas izmaiņas 20. un 21. gadsimtā: cēloņi, procesi un tendences. Promocijas darbs. LU, Rīga, 255 lpp.
- Reintam, L.** (2007). Soil formation on reddish-brown calcareous till under herbaceous vegetation during forty years. *Estonian Journal of Earth Science*, 56, 65–84.
- Reynolds, B., Neal, C., Hornung, M., Hughes, S., Stevens, P. A.** (1988). Impact of afforestation on the soil solution chemistry of stagnopodzols in mid-Wales.

- Water Air and Soil Pollution, 38, (1-2), 55–70.
- Ritter, E., Vesterdal, L., Gundersen, P.** (2003). Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. *Plant and Soil*, 249, 319–330.
- Ruskule, A., Nikodemus, O., Kasparinska, Z., Kasparinskis, R., Brumelis, G.** (2011). Patterns of afforestation on abandoned agriculture land in Latvia. *Agroforestry Systems*. In press.
- Sauer, D., Shüllli-Maurer, I., Sperstad, R., Sørensen, R., Stahr, K.** (2008). Albeluvisol development with time in loamy marine sediments of southern Norway. *Quaternary International*, 30, 1–13.
- Sitzia, T., Sementzato, P., Trentanovi, G.** (2010). Natural reforestation is changing spatial patterns or rural mountain and hill landscapes: A global overview. *Forest Ecology and Management*, 259, (8), 1354–1362.
- Slager, S., Van de Wetering, H. T. J.** (1977). Soil formation in archaeological pits and adjacent soils in southern Germany. *Journal of Archaeological Science*, 4, 259–267.
- Smal, H., Olszewska, M.** (2008). The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. *Plant and Soil*, 305, 171–187.
- Stützer, A.** (1998). Early stages of podzolisation in young aeolian sediments, western Jutland. *Catena*, 32, 115–129.
- Susyan, E. A., Wirth, S., Ananyeva, N. D., Stolnikova, E. V.** (2011). Forest Succession on Abandoned Arable Soils in European Russia – Impacts on Microbial Biomass, Fungal-bacterial Ratio, and Basal CO₂ Respiration Activity. *European Journal of Soil Biology*, 47, 169–174.
- Targulian, V. O., Krasilnikov, P. V.** (2007). Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. *Catena*, 71, 373–381.
- Terauda, E., Nikodemus, O.** (2006). Element inputs by litterfall to the soil in pine forest ecosystems. *Environmental Bioindicators*, 1, 145–156.
- Tullus, A., Tullus, H., Vares, A., Kanal, A.** (2007). Early growth of hybrid aspen (*Populus x wettsteinii Hämet-Ahti*) plantations on former agricultural lands in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 245, 118–129.
- USDA National Resources Conservation Service (2004). *Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Investigations report No 42, Version 4,0, p. 312–317.
- Van Reeuwijk, L. P.** (1995). *Procedures for Soil Analysis*, 5th edition. Wageningen.
- Vesterdal, L., Ritter, E., Gundersen, P.** (2002). Change in Soil Organic Carbon Following Afforestation of Former Arable Land. *Forest Ecology and Management*, 169, 137–147.
- Zunde, M.** (1999). Mežainuma un koku sugu sastāva pārmaiņu dinamika un to galvenie

ietekmējošie faktori Latvijas teritorijā. – Strods, H. (red.). Latvijas meža vēsture līdz 1940. gadam. WWF – Pasaules Dabas fonds, Rīga, 111.–203. lpp.

Wall, A., Heiskanen, J. (2003). Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. *Forest Ecology and Management*, 186, 21–32.

Wall, A., Hytönen, J. (2005). Soil fertility of afforested arable land compared to continuously forested sites. *Plant and Soil*, 275, 247–260.

Wilkinson, M. T., Chappell, J., Humphreys, G. S., Fifield, K., Smith, B., Hesse, P. (2005). Soil production in heath and forest, Blue Mountains, Australia: influence of lithology and paleoclimate. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, (8), 923–934.