
Latvijas meža augšņu īpašību raksturojums demonstrācijas projekta *BioSoil* rezultātu skatījumā

A. Bārdule^{1*}, E. Bāders¹, J. Stola¹, A. Lazdiņš¹

Bārdule, A., Bāders, E., Stola, J., Lazdiņš, A. (2009). Forest soil characteristic in Latvia according results of the demonstration project *BioSoil*. *Mežzinātne / Forest Science* 20(53): 105-124.

Kopsavilkums: Eiropas Savienības (ES) dalībvalstis 2004. gadā uzsāka kopīgu demonstrācijas projekta *BioSoil* izstrādi ar mērķi – harmonizēti izpētīt augsnes īpašības un bioloģisko daudzveidību ES. Galvenie uzdevumi augsnes sadaļā bija statistiski ticamas informācijas iegūšana par Eiropas meža augšņu ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām, kā arī augsnes inventarizācijas metodikas pilnveidošana un standartizēšana. Latvijā *BioSoil* projekts īstenots 95 pirmā limeņa meža monitoringa parauglaukumos, kas izklidēti visā valsts teritorijā, 16 x 16 km tīklā. Augsnes statistiskai inventarizācijai izmantoti augsnes paraugi, kas ņemti 0 līdz 80 cm dziļumā, kā arī no augsnes nedzīvās zemsegas slāņa (O horizonts) visā tā biezumā.

Rakstā apkopoti augsnes aktīvā skābuma, granulometriskā sastāva, organiskā oglekļa (C_{org}) un kopējā slāpekļa ($N_{kop.}$) analīžu rezultāti. Pētījumos dažādos meža tipos un mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām konstatētas atšķirības starp pH H_2O , granulometrisko sastāvu un slāpekļa saturu augsnes nedzīvās zemsegas slānī, augsnes organiskajos un minerālaugsnes horizontos. Kopējais akumulētais C_{org} saturs Latvijas meža zemju augsnēs (0...80 cm slānī) un augsnes nedzīvās zemsegas horizontā ir 754 ± 185 milj. t.

Nozīmīgākie vārdi: meža monitorings, augsnes īpašības, oglekļa piesaiste.

...

Bārdule, A., Bāders, E., Stola, J., Lazdiņš, A. LSFRI „Silava”. **Forest soil characteristic in Latvia according results of the demonstration project *BioSoil*.**

Abstract: The first EC scale forest soil inventory was implemented in the late 1990s within the ICP Forest Initiative. One of its tasks was to obtain basic information about the soil properties, which determine the resistance against air pollution. Because of no harmonized methodology, the results were only partially useful for the initial purpose. The European Parliament and Council Directive No. 2152/2003 on monitoring of forests and environmental interactions *Forest Focus* concentrates not only on forest protection against air pollution and forest fires, but also on the areas like soil research and biodiversity assessment. To close out this gap the European Commission supported launching in 2004 a joint international demonstration project *BioSoil*, which was aimed to provide a harmonized soil

¹ LVMI “Silava”, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; *e-pasts: arta.bardule@silava.lv

and biodiversity studies of the EU Member States. The major project objective regarding the soils was to obtain statistically reliable information about the forest soil properties, which is necessary to deal with a number of environmental issues, like acidification and or eutrophication, dynamics of the carbon content of soil, climate change, etc.; to develop standardized and harmonized soil monitoring methodology (*ICP Forests* Guides and other guidance); to improve quality of the existing European forest soil database; and to identify and explain as far as possible temporal changes in forest soils. Statistical inventory of forest soils involved sampling forest soils from 0 to 80 cm deep, including the humus (O) horizon.

In Latvia, the *BioSoil* project involved 95 *ICP Forests* monitoring plots of Level 1, distributed across the country in a regular 16 x 16 km grid. The soil samples for composite sample analyses were taken from 1 m deep pits (8 per sample plot). As the *ICP Forests* soil sampling method provides, the composite samples were taken from Horizon O (if present), 0...10 cm, 10...20 cm, 20...40 cm and 40...80 cm deep. Two sets of composite samples were collected in each plot – one set of certain volume ($24 \times 100 \text{ cm}^3$ from each layer from 0...80 cm deep, and 24 samples of certain area (100 cm^2) from the humus layer for bulk density and texture analyses, and another set for chemical analyses.

Soil samples were prepared for analyses according to LVS ISO 11464 Standard. Fine earth fraction of soil ($\varnothing < 2 \text{ mm}$) was used for chemical and texture analyses according to LVS ISO 11464, 2005. For composite samples the following parameters were determined: texture according to LVS ISO 11277, 2000; pH in water extraction according to LVS ISO 10390, 2002; carbonate according to LVS ISO 10693: 1995, 1999, total carbon (C) according to LECO, 1987 and calculated organic carbon (C_{org}); total nitrogen (N_{tot}) according to LVS ISO 11261, 2002. All the results were validated according to the validity tables provided by the *ICP Forests*. Calculations of the carbon stock of forest soils were made separately for the organic soils and mineral soils, using average thickness of litter layer, density and organic carbon content.

This article deals with the results of analyses for soil acidity, texture, organic (C_{org}) and total nitrogen (N_{tot}).

Within the scope of this study significant differences were found in pH H_2O , texture and concentration of nitrogen in O horizon, as well as in the organic and mineral soil layers in forest stands with different dominant species.

There is a correlation between dominant specie, site index, and content of clay particles in soil. Spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) and pine (*Pinus sylvestris* L.) grows better in loamy soils (clay content 7...10%).

Horizon O of forest soils is moderately to strongly acidic. The most acidic conditions were found in pine (*Pinus sylvestris* L.) stands.

Content of total nitrogen in Horizon O depends on species composition of the stand as well as on the origin of soil material (organic or mineral). The highest content of total nitrogen was found in spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) and pine stands in Horizon O, which overlays organic soil.

In Latvia the content of organic carbon in soil (0...80 cm deep) and Horizon O in forest soils is 754 ± 185 mill. t. This means that organic carbon stock in soil is considerably higher than in living biomass and therefore soil is a highly important element of natural carbon sequestration and as such it should be monitored and protected at least with the same care as the living forest biomass.

Key words: forest monitoring, soil properties, carbon removal.

...

Бардуле А., Бадерс Э., Стола Е., Лаздыньш А., АГИЛН «Силава». **Анализ качественных особенностей Латвийских лесных почв по результатам демонстрационного проекта *BioSoil*.**

Резюме: Директива Европейского парламента и Совета № 2152/2003 о мониторинге лесов и экологических взаимосвязей (*Forest Focus*) включает не только охрану лесов от загрязнения воздуха и лесных пожаров, но и такие области, как исследования почвы и оценка биологического разнообразия. Европейская комиссия в 2004 году поддержала создание совместного международного демонстрационного проекта *BioSoil*, который был направлен на обеспечение согласованного мониторинга почв и биологического разнообразия в государствах членах Европейского Союза. Основная цель проекта в разделе почв – сбор данных о лесных почвах, что является необходимым для решения ряда экологических проблем связанных, например, с подкислением и эйтрофикацией почв, а также с динамикой содержания углерода в почве, изменением климата и т.д.; проект предусматривает разработку стандартизированных, согласованных методологий мониторинга почвы (*ICP Forests Guides* и другие указания), улучшение качества существующих баз данных о европейских лесных почвах, а также, в пределах возможного, выявление и объяснение временных изменений, наблюдаемых в лесных почвах.

За период с 2005 по 2008 годы в рамках проекта *BioSoil* Латвийский государственный научно исследовательский институт леса “Silava” осуществил отбор композитных проб грунта на 95 пробных участках лесного мониторинга в сети 16 x 16 км; а также сушку, приготовление и гомогенизацию образцов почвы, анализ физических и химических свойств почв в соответствии с стандартизированными методиками *ICP Forests Guides* и других справочных документов, а также создание архива образцов почв.

В статье обобщены результаты анализов активной кислотности почв, гранулометрического состава почв, содержания органического углерода и общего азота. Произведен также анализ различий по кислотности, гранулометрическому составу и содержанию азота в почвах в различных типов леса и лесных массивов с различными доминирующими породами деревьев. Содержание органического углерода в горизонте гумуса лесных почв и прилегающих к нему слоях почвы (0...80 см) составляет 754 ± 185 миллионов тонн.

Ключевые слова: мониторинг леса, почвы, накопление углерода.

Ievads

Latvijā ir relatīvi daudz pētījumu par smago metālu saturu meža augsnēs (Brūmelis et al., 2002; Brūmelis, Nikodemus, 1995). Augšņu ģeokīmiskās kartēšanas rezultātā (Gilucis, 2007) noteikts smago metālu un barības elementu saturs lauksaimniecībā un mežsaimniecībā izmantojamās augsnēs. Līdz šim detalizētāka meža augšņu izpēte veikta reģionālā meža monitoringa ietvaros laika periodā no 1990. līdz 1992. gadam (Laiviņš et al., 1993).

Augsnes monitoringa programmas jeb regulāra dažādu augsnes īpašību inventarizācija, izdarot atkārtotu augsnes paraugu ievākšanu ilglaicīgu novērojumu parauglaukumu tīklā, tiek īstenotas lielākajā daļā ES dalībvalstu, tomēr šajās programmās izmantotās metodikas, atkarībā no monitoringa mērķiem un valstu finansiālajām iespējām, nereti ir ļoti atšķirīgas. Arī augsnes monitoringa ģeogrāfiskais pārklājums ir nevienmērīgs – blīvāks tas ir Ziemeļvalstīs, savukārt vismazāk informācijas ir par Dienvideiropas un Baltijas reģionu (Blum, 1993; Haussmann, Lorenz, 2004). Raksturīgs augsnes monitoringa piemērs ir *Land Use Land Cover Annual Survey* (LUCAS) programma, kas ietver dažādus novērojumus, tajā skaitā augsnes analīzes vairāk nekā 1000000 parauglaukumos visā Eiropā (Morvan et al., 2008).

Augsnes monitorings ir sistemātiska dažādu augsnes īpašību noteikšana, lai fiksētu īslaicīgas (pārejošas) un ilglaicīgas augsnes īpašību izmaiņas (Morvan et al., 2008). Tas ir sevišķi svarīgi, lai fiksētu agrinās augsnes kvalitātes izmaiņu pazīmes un savlaicīgi iestrādātu preventīvus instrumentus atsevišķu valstu vai visas ES kopienas ietvaros

(European Commission, 2006). Harmonizētas metodoloģijas izmantošana augsnes monitoringā sniedz datus, kas ir salīdzināmi starpvalstu līmenī, savukārt starplaboratoriju kvalitātes kontroles mehānismu ieviešana būtiski palielina iegūto datu ticamību (Clarke et al., 2008).

Pirmais ES mēroga meža augšņu izpētes cikls *ICP Forests* meža monitoringa parauglaukumos veikts deviņdesmito gadu vidū, lai iegūtu pamatinformāciju par tām īpašībām, kas nosaka augsnes jutību pret gaisa piesārņojumu (Morvana et al., 2008). Tā kā šajā monitoringa ciklā netika pievērsta pietiekama uzmanība metožu harmonizēšanai, tādēļ, piemēram, vairākās Austrumeiropas valstīs veikto metālu analīžu dati nebija salīdzināmi ar Rietumeiropas valstīs iegūtajiem (Cools et al., 2004).

Meža augšņu statistiskā inventarizācija, kas veikta *BioSoil* projekta ietvaros, ļauj iegūt padziļinātu un kvalitatīvu informāciju par augšņu ķīmisko un fizikālo stāvokli, kas saistāms ar tādiem vides aspektiem kā klimata izmaiņām, paskābināšanos, eitrofikāciju un pieaugošo SEG izmešu daudzumu atmosfērā, kā arī konstatēt un meklēt skaidrojumu īslaicīgajām izmaiņām augsnes sastāvā. Latvijas mērogā *BioSoil* projekts ir pirmais detālais valsts mēroga meža augšņu inventarizācijas mēģinājums. Turklāt šī pētījuma rezultāti palīdz identificēt tos augsnes parametrus, kas nozīmīgi meža augšanas apstākļu analīzei, kā arī sniedz informāciju, kas noderīga meža augšņu kartēšanai.

Viena no projekta *BioSoil* prioritātēm ir C_{org} satura augsnē novērtēšana. Šis jautājums pētīts padziļināti, lai pilnveidotu ogļskābās gāzes (CO_2) piesaistes un emisijas

Katrā parauglaukumā ievākti 4...5 vidējie paraugi, kas iegūti no 8 atkārtojumos dažādos dziļumos ņemtajiem paraugiem (O horizonts visā tā dziļumā, kā arī minerālaugsnes un kūdras slāņu paraugi no 0...10, 10...20, 20...40 un 40...80 cm dziļuma). Paraugi ievākti atbilstoši ICP Forests prasībām (ICP Forests Manual IIIa, 2006). Paraugu ņemšanas vietu izvietojums parauglaukumā redzams 2. attēlā.

Augsnes paraugi ņemti veģetācijas sezonas laikā, katram norādot ņemšanas datumu, lai, veicot atkārtotu paraugu ievākšanu, varētu novērtēt konkrētajā laika posmā notikušās izmaiņas.

Augsnes paraugi sagatavoti fizikāli ķīmiskajām analizēm, atbilstoši LVS ISO 11464 standartam. Augsnes materiālu priekšapstrāde veikta atsevišķā telpā, lai novērstu paraugu piesārņošanu. Paraugi žāvēti istabas temperatūrā, tos vienmērīgā slānī izklājot uz papīra paplātēm. Pēc svešķermeņu (stikla gabali, akmeņi, piemaisījums) atdalīšanas atsijātas daļiņas, kuru diametrs mazāks par 2 mm (LVS ISO 11464, 2005).

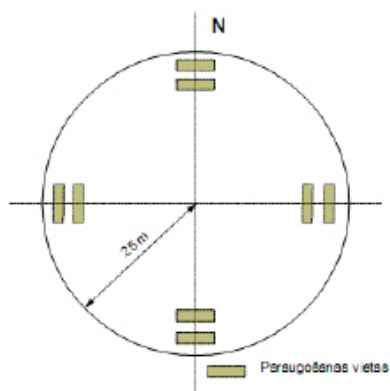
Minerālaugšņu granulometriskais

sastāvs ar slapjās sijāšanas un sedimentācijas metodi noteikts daļiņām, kuru diametrs mazāks par 2 mm (frakcijas 2000...63 μm , 63...2 μm un < 2 μm). Uz sieta ar acs izmēru 0,063 mm palikušās daļiņas (smilts daļiņu frakcija) atdalītas, izmantojot slapjo sijāšanu, bet sietam caurbirušās (putekļu un māla frakcijas) – atdalītas ar sedimentācijas (pipetēšanas) metodi, kuras pamatā ir Stoksa likums par daļiņu nogulsnešanos sedimentācijas cilindrā. Paraugi pirms granulometriskā sastāva noteikšanas vāriti ūdeņraža peroksīda klātbūtnē, lai mineralizētu organiskās vielas, un sālskābes klātbūtnē (LVS ISO 11277, 2000; ICP Forests Manual IIIa, 2006).

Augsnes pH noteikts potenciometriski H_2O suspensijā (1:5) (LVS ISO 10390, 2002).

Kopējā oglekļa ($C_{\text{kop.}}$) noteikšanai izmantots oglekļa elementanalizators LECO CR-12 (LECO, 1987; ICP Forests Manual IIIa, 2006). Organiskā oglekļa satura aprēķināšanai noteikts arī karbonātu saturs augsnē. CaCO_3 noteikts ar Eijkelkamp kalcimetru, pievienojot augsnes paraugiem 20% sālskābi (HCl), atbilstoši LVS ISO 10693 standartam (LVS ISO 10693: 1995, 1999). $C_{\text{org.}}$ aprēķināts, no $C_{\text{kop.}}$ atskaitot karbonātu sastāvā esošo oglekli (ICP Forests Manual IIIa, 2006).

$N_{\text{kop.}}$ noteikts, izmantojot modificētu Kjeldāla metodi, atbilstoši standartam LVS ISO 11261 (LVS ISO 11261, 2002).



2. attēls. Augsnes paraugu ņemšanas vietu shēma.

Figure 2. Distribution of the spots for taking samples.

C_{org} saturs meža augsnēs aprēķināts atsevišķi organiskajām augsnēm, kur vismaz 30 cm biezā virsējā augsnes slānī $C_{org} > 200 \text{ g kg}^{-1}$, un minerālaugsnēm, kur $C_{org} \leq 200 \text{ g kg}^{-1}$, izmantojot O horizonta biezuma, augsnes blīvuma un C_{org} satura vidējos rādītājus (2. tabula). Meža zemju kopplatība aprēķinos pieņemta 2938 tūkst. ha, atbilstoši projekta izstrādes laika Meža statistiskās inventarizācijas datiem.

Organiskā oglekļa saturs katrā augsnes slānī aprēķināts, izmantojot formulu:

$$A = B \cdot C \cdot D \cdot 0,01, \text{ kur} \quad (1)$$

A – C_{org} saturs 1 ha meža augsnes attiecīgajā

slānī ($\text{t C}_{org} \text{ ha}^{-1}$);

B – 1 m² augsnes slāņa tilpums (L);

C – attiecīgā slāņa augsnes blīvums (kg L^{-1});

D – C_{org} saturs attiecīgajā augsnes slānī (g C kg^{-1});

0,01 – mērvienību pārrēķina koeficients.

Pēc tam C_{org} saturs visos augsnes slāņos summēts, iegūstot kopējo C_{org} saturu 0...80 cm biezā augsnes slānī un O horizontā.

Iegūto datu statistiskā apstrāde ietvēra datu integritātes analīzi (analīzu rezultātu salīdzināšana ar ICP Forests ieteiktajām minimālajām un maksimālajām vērtībām) (3. tabula), kā arī augsnes kvalitatīvo

2. tabula, Table 2

Dati C_{org} satura aprēķināšanai meža augsnēs un nedzīvās zemsegas slānī

Data used for organic C stock calculation in forest soils and litter layer

Augsnes slānis Soil layer	Mērvienība Unit	O	0...10 cm	10...20 cm	20...40 cm	40...80 cm
Vidēji visās augsnēs/ Average in all soils						
$C_{org} / C_{organic}$	g kg^{-1}	386	101	71	53	51
Augsnes blīvums/ Bulk density	g L^{-1}	171	911	1162	1311	1399
Slāņa biezums/ Layer thickness	cm	3	10	10	20	40

3. tabula, Table 3

Eiropas organisko augšņu un minerālaugšņu parametru ticamības intervāli (Clarke et al, 2008)

Plausible ranges of parameters for organic and mineral soil samples at the European level

Augsnes slānis Soil layer	Mērvienība Unit	Ticamības intervāls Plausible range			
		Organiskā augsne Organic sample		Minerālaugsne Mineral soil sample	
		Minimālā vērtība Min. value	Maksimālā vērtība Max. value	Minimālā vērtība Min. value	Maksimālā vērtība Max. value
pH H ₂ O	-	2	8	2,5	10,0
$C_{org} / C_{organic}$	g kg^{-1}	120	580	< 1,2	200,0
N_{kop} / N_{total}	g kg^{-1}	< 0,5	25	< 0,1	20,0
CaCO ₃	g kg^{-1}	< 3	850	< 3	850
Māls / Clay	%	-	-	< 0,6	80,0
Putekļi / Silt	%	-	-	< 0,4	100,0
Smiltis / Sand	%	-	-	< 0,6	100,0

rādītāju un meža taksācijas datu vienfaktoru dispersijas analīzi. Paraugiem, kuriem kāds no rādītājiem pārsniedza minimālās vai maksimālās vērtības, veikta atkārtota šī rādītāja analīze. Meža tips un citi taksācijas rādītāji aktualizēti, īstenojot projekta *BioSoil* bioloģiskās daudzveidības izpēti programmu (Valsts meža dienests, 2008).

LVMI „Silava” Meža vides laboratorija *BioSoil* projekta ietvaros iesaistījās ICP Forests Kvalitātes uzraudzības komitejas izstrādātajos laboratorijas kvalitātes kontroles un uzraudzības starplaboratoriju salīdzināšanas testos, kas pielīdzināmi laboratoriju akreditācijas sistēmām. Rakstā apskatītie augsnes kvalitatīvie rādītāji Latvijā veiktajās analīzēs atbilda Kvalitātes uzraudzības komitejas izvirzītajiem kritērijiem (Clarke et al., 2008).

Īpaša pateicība Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātes un Latvijas Lauksaimniecības universitātes mācībspēkiem un studentiem, kas piedalījās parauglaukumu apsekošanā, kā arī augsnes paraugu ievākšanā un sagatavošanā.

Rezultāti un diskusija

Augsnes īpašību un mežaudžu taksācijas rādītāju kopsakarības novērtētas *BioSoil* projektā iekļautajos meža tipos un mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām – priedei (*Pinus sylvestris* L.), eglei (*Picea abies* (L.) H.Karst.), bērzam (*Betula pendula* Roth) un apsei (*Populus tremula* L.), neatkarīgi no meža tipa.

Lielākā daļa mežaudžu, kur ierīkoti *BioSoil* parauglaukumi, aug smilts un mālsmilts augsnēs ar vidējo pH H_2O O horizontā no $3,5 \pm 0,1$ silā un līdz $5,7 \pm 0,2$ slapjajā vērī (4. tabula). Vidējais augsnes aktīvais skābums O horizontā Latvijas mežu augsnēs ir $4,2 \pm 0,1$. Noteikts vidējais aktīvais skābums 0...10 cm dziļumā minerālaugsnēs $5,1 \pm 0,1$ un kūdras augsnēs $4,3 \pm 0,2$. Līdz ar organisko vielu satura samazināšanos un karbonātu koncentrācijas pieaugumu, augsnes materiāls 40...80 cm dziļumā ir ievērojami bāziskāks – līdz vidēji pH H_2O

4. tabula, Table 4

Augsnes aktīvā skābuma pH H_2O vērtības dažādos meža tipos *
Soil actual acidity pH H_2O values in the different forest site types *

Aktīvais skābums pH H_2O Actual acidity pH H_2O		Augsnes slānis Soil layer				
Meža tips Forest type	Rādītājs Value	O	0...10 cm	10...20 cm	20...40 cm	40...80 cm
Am	vidēji / average	3,8	4,7	5,4	5,8	6,3
	min. vērtība / min	3,5	4,4	5,1	5,3	5,9
	maks. vērtība / max	4,0	5,2	6,0	6,4	7,0
	mediāna / median	3,8	4,6	5,3	5,8	6,1
Ap	vidēji / average	4,8	5,8	6,4	7,1	8,0
	min. vērtība / min	4,3	4,7	5,3	5,9	6,9
	maks. vērtība / max	5,2	7,2	7,9	8,7	9,0
	mediāna / median	4,8	5,5	6,0	6,7	8,1

4. tabula (turpinājums), Table 4 (continued)

Aktīvais skābums pH H ₂ O Actual acidity pH H ₂ O		Augsnes slānis Soil layer				
Meža tips Forest type	Rādītājs Value	O	0...10 cm	10...20 cm	20...40 cm	40...80 cm
As	vidēji / average	4,4	5,1	5,8	6,2	7,1
	min. vērtība / min	3,7	4,4	4,8	5,1	5,3
	maks. vērtība / max	5,4	6,1	6,7	7,9	8,5
	mediāna / median	4,1	5,2	5,8	6,2	7,0
Dm	vidēji / average	4,3	4,9	5,4	6,0	6,6
	min. vērtība / min	3,4	3,8	4,3	5,0	5,1
	maks. vērtība / max	5,5	6,7	7,0	7,3	8,7
	mediāna / median	4,2	5,0	5,5	6,0	6,3
Dms	vidēji / average	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7
	min. vērtība / min	3,3	3,9	4,3	4,6	5,2
	maks. vērtība / max	4,2	4,7	5,3	6,2	6,5
	mediāna / median	3,9	4,3	4,4	4,8	6,0
Ln	vidēji / average	4,1	4,9	5,5	5,7	6,0
	min. vērtība / min	3,3	4,3	4,8	4,9	5,1
	maks. vērtība / max	5,5	6,4	7	7,4	7,8
	mediāna / median	4,0	4,6	5,5	5,5	5,8
Mr	vidēji / average	3,8	4,6	5,0	5,4	5,4
	min. vērtība / min	3,4	4,3	4,6	4,7	4,9
	maks. vērtība / max	4,2	5,0	5,6	5,9	6,0
	mediāna / median	3,9	4,6	5,0	5,5	5,4
Sl	vidēji / average	3,5	5,0	5,6	6,0	6,2
	min. vērtība / min	3,3	4,9	5,2	5,3	5,8
	maks. vērtība / max	3,7	5,1	5,9	6,4	6,5
	mediāna / median	3,6	4,9	5,8	6,2	6,4
Vr	vidēji / average	4,7	5,5	6,0	6,5	7,2
	min. vērtība / min	4,1	4,3	4,7	4,9	5,1
	maks. vērtība / max	5,8	7,7	7,8	7,9	8,8
	mediāna / median	4,7	5,2	5,7	6,4	7,5
Vrs	vidēji / average	5,7	6,2	6,8	7,1	7,8
	min. vērtība / min	5,5	5,2	5,6	5,7	6,5
	maks. vērtība / max	5,8	7,7	8,1	8,4	8,5
	mediāna / median	5,7	6,2	6,6	7,1	7,7

* tabulā iekļauti tikai tie meža tipi, kurus aptver BioSoil parauglaukumu tīkls / only forest types represented by the BioSoil project are included in table.

5. tabula, Table 5

Augsnes aktīvā skābuma pH H₂O vērtības mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām
Average soil actual acidity pH H₂O values in the stand with different dominant tree species

Augsne Soil	Valdošā koku suga <i>Dominant tree specie</i>	Augsnes slānis <i>Soil layer</i>				
		O horizonts <i>O horizon</i>	0...10 cm	10...20 cm	20...40 cm	40...80 cm
Minerālaugsne <i>Mineral soil</i>	Apse / Aspen	4,6±0,5	5,6±0,5	5,9±0,5	6,2±0,5	7,1±0,6
	Bērzs / Birch	5,0±0,3	5,5±0,2	5,9±0,2	6,4±0,3	7,4±0,3
	Egle / Spruce	4,5±0,2	5,5±0,2	6,1±0,3	6,6±0,2	7,3±0,3
	Priede / Pine	4,0±0,1	4,9±0,1	5,4±0,1	5,8±0,1	6,2±0,1
Organiskās augsnes <i>Organic soil</i>	Bērzs / Birch	-	5,6±0,6	5,8±0,5	5,7±0,7	5,9±0,5
	Egle / Spruce	4,0±0,3	4,3±0,5	4,7±0,5	5,0±0,4	5,5±0,2
	Priede / Pine	4,0±0,2	4,1±0,2	4,4±0,3	4,8±0,4	5,2±0,4

8,0 ± 0,6 platlapju ārenī. Vidējais aktīvais augsnes skābums Latvijas mežu minerālaugsnēs 40...80 cm dziļumā ir 6,7 ± 0,1, bet kūdras augsnēs – 5,4 ± 0,3. Vidējais aktīvais augsnes skābums Eiropas mežu organisko vielu horizontos ir robežās no 3,0 līdz 5,4 (Vanmechelen et al., 1997), savukārt Somijā vidējais pH H₂O meža augšņu organisko vielu horizontos ir 4,0 (Tamminen and Derome, 2005).

Pēc BioSoil pētījumu rezultātiem 45% Latvijas meža augšņu nedzīvās zemsegas horizonta reakcija ir ļoti stipri skāba (3,0...4,0 pH vienības), 42% gadījumu – stipri skāba (4,0...5,0 pH vienības); 40...80 cm dziļumā 18% gadījumu augsnes reakcija ir vidēji bāziska (8,0...9,0 pH vienības), bet 13% gadījumu – vāji bāziska (7,0...8,0 pH vienības) (Tan, 1998).

Solidzinot augsnes aktīvo skābumu audzēs ar dažādām valdošajām koku sugām (5. tabula), skābākā augsnes reakcija novērota priežu audzēs, kur augsnes nedzīvās zemsegas horizontā pH H₂O ir vidēji 4,0 ± 0,1, bet dziļākajos augsnes slāņos (40...80 cm)

pH H₂O minerālaugsnēs ir vidēji 6,2 ± 0,1, bet organiskajās augsnēs 5,2 ± 0,4. Ievērojami bāziskāka augsne 40...80 cm dziļumā ir lapu koku audzēs, kas saistīts ar lielāku karbonātu izplatību dziļākajos augsnes slāņos; apšu audzēs vidējais pH H₂O minerālaugsnēs 40...80 cm dziļumā ir 7,1 ± 0,6, bērzu audzēs – 7,4 ± 0,3, bet bērzu audzēs vidējais pH H₂O organiskajās augsnēs 40...80 cm dziļumā ir 5,9 ± 0,5.

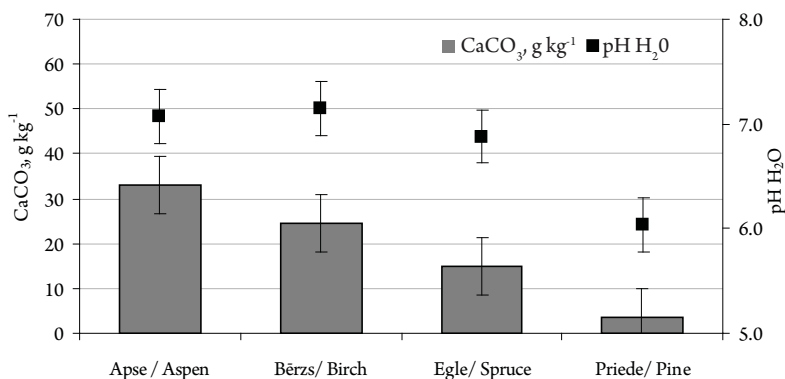
3. attēlā parādīta sakarība starp CaCO₃ saturu un pH H₂O 40...80 cm dziļumā audzēs ar dažādām valdošajām koku sugām (lineārās regresijas determinācijas koeficients $r = 0,89$).

Meža augsnēs N atrodas augsnes organiskajā vielā, sevišķi humusā, kur tas atkarībā no reakcijas un Ca satura sastāda 3,5-5,5% no humusa. N_{kop.} minerālaugšņu virsējos horizontos meža augsnēs vidēji ir 0,05-0,85% (Mežals, 1980; Werdin-Pfisterer et al., 2009). N_{kop.} koncentrācija Eiropas mežu augsnes nedzīvās zemsegas horizontā ir 5-20 g kg⁻¹ (Vanmechelen et al., 1997). Vidējā BioSoil projektā konstatētā N_{kop.} koncentrācija

Latvijas mežu augsnes nedzīvās zemsegas horizontā ir $16,5 \pm 0,7 \text{ g kg}^{-1}$ un būtiski neatšķiras no Eiropas mežu augšņu vidējiem rādītājiem.

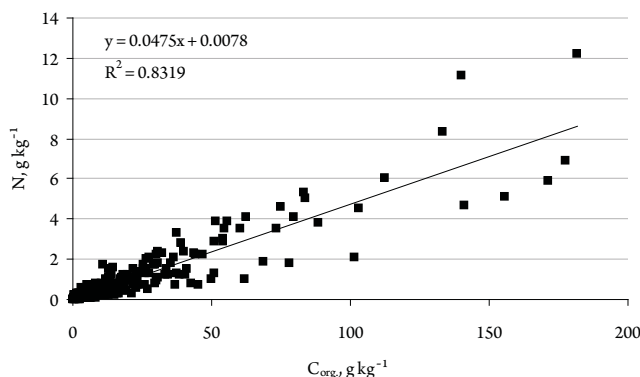
$N_{\text{kop.}}$ koncentrācija minerālaugsnēs variē kā funkcija no organisko vielu daudzuma, bet vienmēr ir mazāka nekā organiskajos horizontos. Šāda likumsakarība konstatēta arī *BioSoil* projektā iekļautos parauglaukumos. Atbilstoši *ICP Forests* rekomendācijām un references dokumentiem, 4. attēlā

parādīta sakarība starp $N_{\text{kop.}}$ un $C_{\text{org.}}$ koncentrāciju, kas *BioSoil* projektā konstatēta Latvijas mežu minerālaugsnēs (lineārās regresijas determinācijas koeficients $R^2 = 0,83$); 5. attēlā parādīta sakarība starp $N_{\text{kop.}}$ un $C_{\text{org.}}$ koncentrāciju Latvijas mežu augsnēs, kur $C_{\text{org.}} > 200 \text{ g kg}^{-1}$ (eksponenciālās regresijas determinācijas koeficients $R^2 = 0,35$). $N_{\text{kop.}}$ saturs Eiropas mežu virsējos minerālaugsnes slāņos vidēji ir mazāks par $5,3 \text{ g kg}^{-1}$ un mazāks par $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ dziļākajos slāņos



3. attēls. Sakarība starp CaCO_3 saturu un $\text{pH H}_2\text{O}$ augsnē 40...80 cm dziļumā.

Figure 3. Relationship between CaCO_3 content and soil $\text{pH H}_2\text{O}$ at 40...80 cm depth.



4. attēls. Sakarība starp kopējo slāpekli un organisko oglekli minerālaugsnēs ($C_{\text{org.}} < 200 \text{ g kg}^{-1}$).

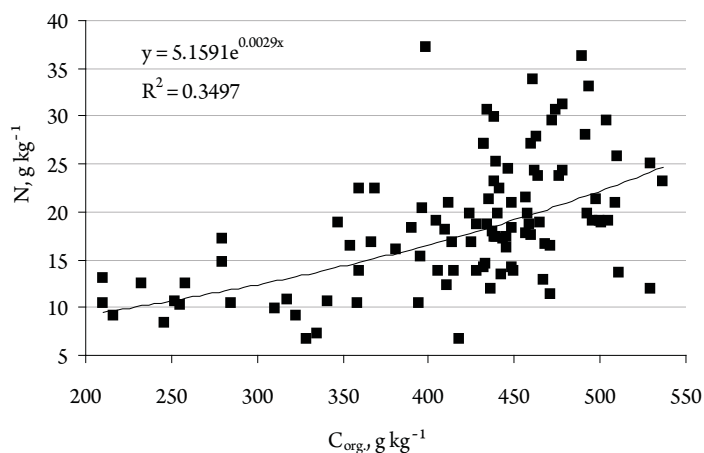
Figure 4. Relationship between total nitrogen and organic carbon in the mineral soils ($C_{\text{org.}} < 200 \text{ g kg}^{-1}$).

(Vanmechelen et al., 1997). Pētījumos konstatēts, ka Latvijas minerālaugsnēs vidējais $N_{kop.}$ saturs 0...10 cm dziļumā ir $2,7 \pm 0,6 \text{ g kg}^{-1}$, savukārt 40...80 cm dziļumā – $0,6 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1}$.

BioSoil parauglaukumu organiskajos augsnes slāņos ($C_{org.} > 200 \text{ g kg}^{-1}$) vidējais $N_{kop.}$ saturs 0...10 cm dziļumā ir $14,4 \pm 2,6 \text{ g kg}^{-1}$, bet 40...80 cm dziļumā $9,8 \pm 2,4 \text{ g kg}^{-1}$.

Salīdzinot $N_{kop.}$ saturu dažādos meža

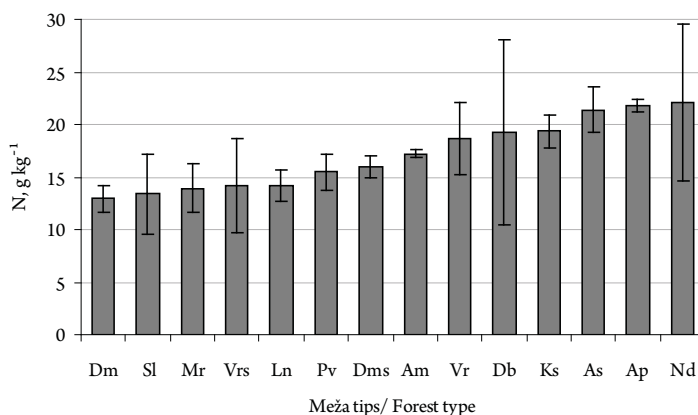
tipos, kas iekļauti *BioSoil* projektā, mazākais $N_{kop.}$ saturs augsnes nedzīvās zemsegas horizontā (6. attēls) konstatēts sausieņu mežu tipos: damaksnī, silā un mētrājā – attiecīgi $13,0 \pm 1,3 \text{ g kg}^{-1}$, $13,4 \pm 3,8 \text{ g kg}^{-1}$ un $13,9 \pm 2,3 \text{ g kg}^{-1}$, savukārt lielākais $N_{kop.}$ saturs – niedrājā, platlapju ārenī un šaurlapju ārenī – attiecīgi $22,1 \pm 7,5 \text{ g kg}^{-1}$, $21,8 \pm 0,6 \text{ g kg}^{-1}$ un $21,4 \pm 2,2 \text{ g kg}^{-1}$. Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos mazākais $N_{kop.}$ saturs



5. attēls. Sakarība starp $N_{kop.}$ un $C_{org.}$ saturu augsnēs, kur $C_{org.} > 200 \text{ g kg}^{-1}$.
Figure 5. Relationship between total nitrogen and organic carbon content in the soils with $C_{org.} > 200 \text{ g kg}^{-1}$.

6. attēls. $N_{kop.}$ saturs dažādos meža tipos O horizontā.

Figure 6. $N_{tot.}$ content in the different forest types in the O horizon.

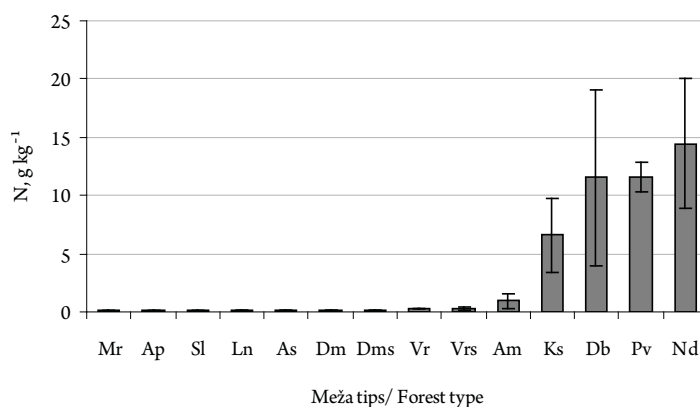


augšnes nedzīvās zemsegas horizontā konstatēts silā (8 g kg^{-1}), viršu ārenī (9 g kg^{-1}) un slapajā mētrājā (10 g kg^{-1}), savukārt lielākais – lieknā (23 g kg^{-1}) un platlapju kūdrenī (18 g kg^{-1}) (Laiviņš et al., 1993).

Salīdzinot $N_{\text{kop.}}$ saturu dažādos meža tipos, kas iekļauti *BioSoil* projektā, augšnes slānī 40...80 cm dziļumā (7. attēls), lielākais $N_{\text{kop.}}$ saturs konstatēts purvainu meža tipos: niedrājā, purvājā un dumbrajā – attiecīgi

$14,4 \pm 5,6 \text{ g kg}^{-1}$, $11,6 \pm 1,3 \text{ g kg}^{-1}$ un $11,6 \pm 1,2 \text{ g kg}^{-1}$.

6. tabulā parādīts vidējais $N_{\text{kop.}}$ saturs mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām. Lielākais vidējais $N_{\text{kop.}}$ saturs konstatēts egļu un priežu audžu O horizontā, kas atrodas virs organisko vielu horizontiem, attiecīgi $19,6 \pm 3,6 \text{ g kg}^{-1}$ un $19,0 \pm 1,9 \text{ g kg}^{-1}$; savukārt O horizontā, kas atrodas virs minerālaugšnes horizontiem, lielākais vidējais $N_{\text{kop.}}$ saturs



7. attēls. $N_{\text{kop.}}$ saturs augsnē dažādos meža tipos 40...80 cm dziļumā.

Figure 7. Content of N_{tot} in soils of different forest types at 40...80 cm depth.

6. tabula, Table 6

$N_{\text{kop.}}$ saturs audzēs ar dažādām valdošajām koku sugām
 $N_{\text{tot.}}$ content in the stands with different dominant tree species

Augsne Soil	Valdošā koku suga Dominant tree specie	Augsnes slānis Soil layer				
		O horizonts O horizon	0...10 cm	10...20 cm	20...40 cm	40...80 cm
Minerālaugšne Mineral soil	Apse / Aspen	17,8±6,4	2,0±0,4	0,8±0,1	0,5±0,1	0,2±0,1
	Bērzs / Birch	16,9±1,8	2,4±0,4	1,1±0,3	0,5±0,1	0,2±0,03
	Egle / Spruce	16,4±2,4	2,4±0,5	1,0±0,2	0,4±0,1	0,2±0,04
	Priede / Pine	15,4±1,0	3,1±1,1	1,5±0,7	1,1±0,8	1,0±0,4
Organiskās augšnes Organic soil	Bērzs / Birch	-	29,2±2,1	27,5±0,4	19,2±6,1	23,4±1,0
	Egle / Spruce	19,6±3,6	15,2±6,9	13,7±6,5	11,6±6,1	10,7±6,0
	Priede / Pine	19,0±1,9	11,2±2,3	8,1±2,1	6,5±2,2	6,7±2,3

konstatēts apšu un bērzu audzēs, attiecīgi $17,8 \pm 6,4 \text{ g kg}^{-1}$ un $16,9 \pm 1,8 \text{ g kg}^{-1}$. Integrālā monitoringa parauglaukumos vidējais N_{kop} saturs priežu audžu O horizontā Rucavā ir $13,5 \text{ g kg}^{-1}$, bet Taurenē – $10,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Tērauda, 2008). Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos priežu mežu O horizontā konstatēta vidējā slāpekļa koncentrācija 11 g kg^{-1} , egļu mežos – 12 g kg^{-1} , savukārt bērzu mežos – 15 g kg^{-1} (Laiviņš et al., 1993).

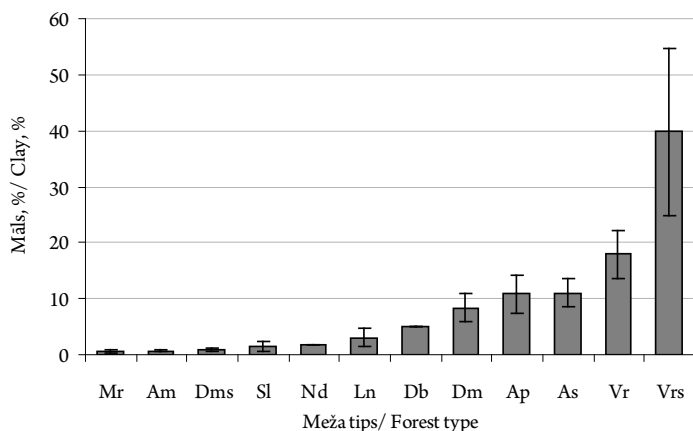
BioSoil projekta ietvaros noteikts augsnes granulometriskais sastāvs (māla, putekļu un smilts frakcijas īpatsvars augsnē) dažādos meža tipos. Augsnes granulometriskā sastāva raksturošanai rakstā izmantots māla daļiņu ($< 2 \mu\text{m}$) procentuālais īpatsvars (8. attēls). Lielākais māla daļiņu īpatsvars minerālaugsnēs konstatēts slapjajā vērī 40...80 cm dziļumā (vidēji $39,8 \pm 17\%$), bet mazākais – mētrājā, mētru ārenī un slapjajā damaksnī (vidēji 0,5...0,8%).

Lielākais vidējais māla daļiņu īpatsvars minerālaugsnēs 40...80 cm dziļumā, dalījumā pa valdošajām koku sugām, konstatēts apšu mežaudzēs (vidēji $23,7 \pm 10,5\%$) un bērzu

mežaudzēs (vidēji 18,2%), bet ievērojami mazāks tas ir priežu audzēs (vidēji $4,1 \pm 1,0\%$) (9. attēls).

Liels māla daļiņu daudzums var piesaistīt daudz augu barības elementu, kas rodas sadaloties un mineralizējoties nobirām, sadaloties iežiem un minerāliem, kā arī izsēžas uz augsnes no atmosfēras (Mežals, 1980; Barber, 1995; Tērauda, 2008).

Sakarība starp egļu audžu vidējo bonitāti un māla daļiņu īpatsvaru augsnes dziļākajos slāņos ir negatīva – jo lielāks māla daļiņu īpatsvars augsnē, jo zemāka ir bonitāte (logaritmiskās regresijas determinācijas koeficients $R^2 = 0,37$). Turpretī priežu audzēs starp bonitāti un augsnes granulometriskā sastāvu konstatēta vāja pozitīva korelācija – jo lielāks māla daļiņu īpatsvars, jo augstāka ir bonitāte (logaritmiskās regresijas determinācijas koeficients $R^2 = 0,21$). Taču vidējais māla daļiņu īpatsvars minerālaugsnes dziļākajos slāņos priežu audzēs ir ievērojami mazāks nekā egļu audzēs (1. bonitātes priežu audzēs vidēji 6,9%), tāpēc šī korelācija attiecas tikai uz mālsmilts



8. attēls. Māla saturs dažādu meža tipu minerālaugsnēs 40...80 cm dziļumā.

Figure 8. Content of clay particles in mineral soils in the different forest types at 40...80 cm depth.

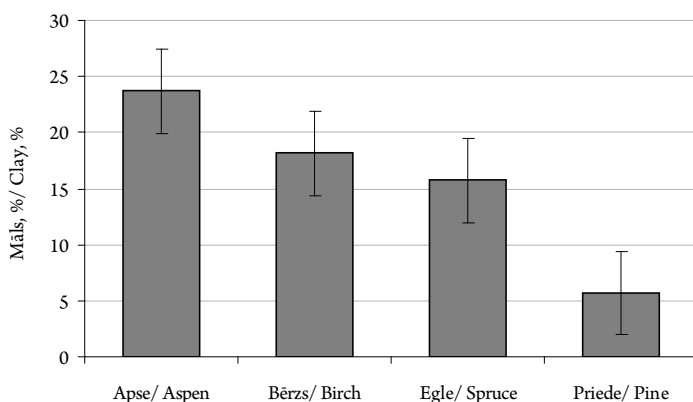
augsnēs augošajām priežu audzēm. Lapu koku (bērzs un apse) audzēs, salīdzinot bonitāti un augšnes granulometrisku sastāvu, izteiktas likumsakarības nav konstatētas (10. attēls), bet jāņem vērā, ka lapu koku parauglaukumos pārstāvēta tikai 1. un 2. bonitāte. Lapu koku audzēs māla īpatsvars svārstās no smagām smilšmāla augsnēm līdz smagai mālsmiltij raksturīgam. Salīdzinot māla daļiņu īpatsvaru un bonitāti visos parauglaukumos kopumā, neatkarīgi no valdošās sugas, izteiktas likumsakarības nav konstatētas.

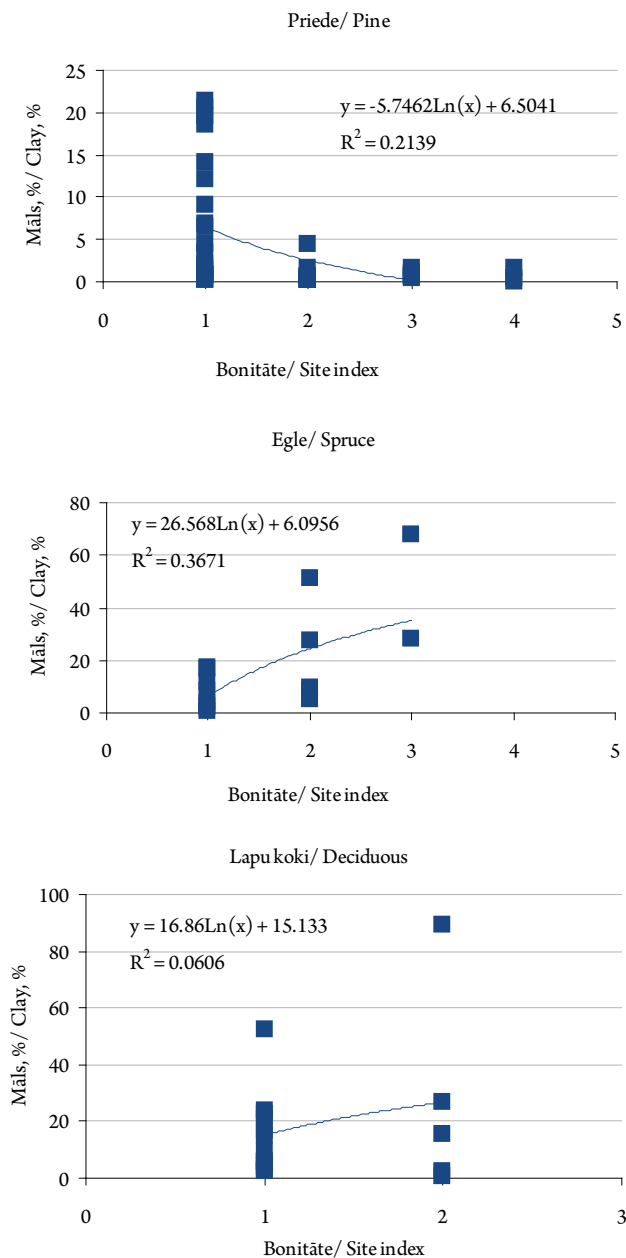
Līdz šim gan Latvijā, gan pasaulē liela uzmanība pievērsta pētījumiem par oglekļa akumulāciju meža ekosistēmu virszemes un sakņu biomasā (Cooper, 1983; Dixon et al., 1994; Liepa, 2005; Daugaviete et al., 2008).

BioSoil projekta pētījumu rezultātā aprēķināts, ka kopā Latvijas meža zemēs (2938 tūkst. ha) C_{org} saturs augsnē (0...80 cm slānī) un augšnes nedzīvās zemsegas horizontā ir $754 \pm 184,7$ milj. t (7. tab.). C_{org} saturs meža augsnēs ir lielāks nekā C_{org} saturs augu virszemes un sakņu biomasā

pieaugušās mežaudzēs (Broadmeadow et al., 2003). Piemēram, pēc aprēķinu metodikas zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektorā (Penman et al., 2003) C_{org} krāja mežaudzē, kur stumbra koksnes krāja kopā ar mizu veido 300 m^3 , ir ap 132 t ha^{-1} . Eiropas mērenā klimata joslā katrs hektārs meža uzkrāj ap 110 t oglekļa , no kura apmēram 27 t uzkrājas koku saknēs. Ievērojamu daudzumu oglekļa uzņem arī meža augšnes – ap 65 t ha^{-1} (Daugaviete et al., 2008). Organiskā oglekļa saturu meža augšņu O horizontā nosaka mežaudzes vecums un valdošā koku suga. Piemēram, Nīderlandē C_{org} saturs O horizontā variē ļoti plašās robežās – no 12 līdz 51 t C ha^{-1} , savukārt minerālaugsnēs $0...10 \text{ cm}$ dziļumā – no $40...66 \text{ t C ha}^{-1}$, bet minerālaugsnēs $10...20 \text{ cm}$ dziļumā C_{org} ir $\sim 40\%$ no C_{org} satura $0...10 \text{ cm}$ horizontā (Schulp et al., 2008). Latvijas meža augšņu O horizontā noteiktais vidējais C_{org} saturs ir 21 t ha^{-1} . Norvēģijā meža augšņu inventarizācijas pētījumos konstatētais vidējais C_{org} saturs minerāl-

9. attēls. Māla īpatsvars minerālaugsnēs 40...80 cm dziļumā mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām.
Figure 9. Share of clay particles in mineral soils at 40...80 cm depth in forest stands with different dominant species.





10. attēls. Sakarība starp bonitāti un māla daļiņu īpatsvaru augsnē 40...80 cm dziļumā.
 Figure 10. Relationship between stands index and content of clay particles in soil at 40...80 cm depth.

augsnēs 0...100 cm dziļumā ir 140 t C ha⁻¹ (De Wit et al., 2006). Latvijas meža augšņu minerālajos horizontos 0...80 cm dziļumā tas ir 195 t C ha⁻¹.

Lai objektīvi novērtētu C_{org.} saturu izmaiņas meža zemēs, augsnes monitorings veicams regulāri – ar 5 gadu intervālu, kā to dara, piemēram, Zviedrijā (Monni, 2005).

7. tabula, Table 7

C_{org.} saturs Latvijas meža augsnēs
Stock of C_{org.} in Latvia's forest soils

Augsnes slānis Soil layer	C _{org.} saturs, t ha ⁻¹ C _{org.} stock, t ha ⁻¹	C _{org.} saturs, milj. t C _{org.} stock, mill. t	± milj. t C _{org.} ± mill. t C _{org.}
Vidēji visās augsnēs/ Average in all soils			
O horizonts / O horizon	52,1	64,3	4,3
0...10 cm	136,2	192,9	26,8
10...20 cm	116,1	126,9	27,3
20...40 cm	192,1	146,1	59,4
40...80 cm	370,0	224,1	66,8
Kopā / Total		754,2	184,7

Secinājumi

1. Pētījumos dažādos meža tipos un mežaudzēs ar dažādām valdošajām koku sugām konstatētas atšķirības starp pH H₂O, granulometrisko sastāvu un slāpekļa daudzumu augsnes nedzīvās zemsegas slānī, kā arī kūdras un minerālaugsnes horizontos.
2. Pastāv cieša korelācija starp valdošo koku sugu, mežaudzes bonitāti un māla daļiņu īpatsvaru augsnē. Egle (*Picea abies* (L.) H.Karst.) un priede (*Pinus sylvestris* L.) vislabāk aug mālsmilts augsnēs, kur māla daļiņas sastāda 7 līdz 10%.
3. Augsnes nedzīvās zemsegas horizonts meža augsnēs ir stipri līdz vidēji skābs: skābākais konstatēts priežu (*Pinus sylvestris* L.) audzēs.
4. Kopējo slāpekļa saturu mežaudzes O horizontā galvenokārt nosaka sugu sastāvs un augsnes substrāts.
5. C_{org.} saturs Latvijas meža zemju augsnes un nedzīvās zemsegas slānī 0...80 cm dziļumā ir 754 ± 185 milj. t. C_{org.} saturs augsnē ir lielāks nekā tā vidējais daudzums augu biomasā pieaugušās mežaudzēs. Tas liecina, ka augsne oglekļa piesaistē var būt ne mazāk svarīgs elements kā dzīvā biomasā, un tādēļ, tāpat kā tiek veikta dzīvās mežu biomasas inventarizācija, būtu izdarāma arī regulāra augsnes oglekļa inventarizācija.

Literatūra

- Barber, S.A.** (1995). Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic approach, 2nd ed. Wiley, New York, 414 p.
- Blum, W.E.H.** (1993). Soil protection concept of the council of Europe and integrated soil research. Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection. Kluwer Academic Publishers, p. 37-47.
- Broadmeadow, M., Matthews, R.** (2003). Forests, carbon and climate change: the UK contribution. Forestry Commission, UK, p. 12.
- Brumelis, G., Nikodemus, O.** (1995). Biological monitoring in Latvia using moss and soil: Problems in the partitioning of anthropogenic and natural effects. Bioindicators of Environmental Health, p. 123-132.
- Brūmelis, G., Lapiņa, L., Nikodemus, O., Tabors, G.** (2002). Use of the O horizon of forest soils in monitoring metal deposition in Latvia. Water, Air and Soil Pollution, 135: p. 291-309.
- Clarke, N., Cools, N., Derome, J., Derome, K.** (2008). Quality Assurance and Control in Laboratories, ICP Forests, p. 57.
- Cools, N., Delanote, V., Scheldeman, X., Quataert, P., De Vos, B., Roskans, P.** (2004). Quality assurance and quality control in forest soil analyses: a comparison between European soil laboratories, Accreditation and Quality Assurance, 9, p. 688-694.
- Cooper, F. C.** (1983). Carbon storage in managed forests. Can. J. For. Res., 13, p. 155-166.
- Daugaviete, M., Gaitnieks, T., Kļaviņa, D., Teliševa, G.** (2008). Oglekļa akumulācija virszemes un sakņu biomasā priedes, egles un bērza stādījumos lauksaimniecības zemēs. Mežzinātne 18 (51): 35-52. lpp.
- De Wit, H. A., Palosuo, T., Hysten, G., Liski, J.** (2006). A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. Forest Ecology and Management, 225, p. 15-26.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J.** (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: p. 185-190.
- European Commission (2006). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the soil protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. COM (2006) 232 Brussels, 22/09/2006, p. 30.
- Gilucis, A.** (2007). Mikro- un makroelementu saturs un izplatības likumsakarības Latvijas augšņu virsējos horizontos. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas Universitāte, Rīga, 29 lpp.
- Hausmann, T., Lorenz, M.** (2004). Part I, Mandate of ICP Forests and Programme Implementation, Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UN/ECE, p. 28.
- ICP Forests Expert Panel on Soil (2006). Sampling and Analysis of Soil. ICP Forests,

p. 161.

- Laiviņš, M., Sipols, M., Riekstiņa, D.** (1993). Reģionālais meža monitorings Latvijā. Latvijas Vides aizsardzības komiteja, Pētījumu centrs. 149 lpp.
- LECO** (1987). Instrumental manual Carbon System CR-12. LECO corporation, p. 151.
- Liepa, I.** (2005). Piesaistītā oglekļa un oglekļa dioksīda apjoma un dinamikas noteikšana Latvijas egļu mežos. Pārskats. LLU, Jeggava, 19 lpp.
- Makipaa, R., Hakkinen, M., Muukkonen, P., Peltoniemi, M.** (2008). The costs of monitoring changes in forest soil carbon stocks. *Boreal Environment Research*, 13, B, p. 120-130.
- Mežals, G.** (1980). Meža augsnes zinātne. Zvaigzne, Rīga, 174 lpp.
- Monni, S.** (2005). Estimation of country contributions to the climate change. VTT PUBLICATIONS 577, VTT, p. 114.
- Morvan, X., Saby, N. P. A., Arrouays, D., Le Bas, C., Jones, R. J. A., Verheijen, F. G. A., Bellamy, P. H., Stephens, M., Kibblewhit, M. G.** (2008). Soil monitoring in Europe: A review of existing systems and requirements for harmonisation. *Science of the Total Environment*, 391, p. 12.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F.** (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2108-11, Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, Japan, p. 587.
- Schulpe, C. J. E., Nabuurs, G. J., Verburg, P. H., de Waal, R. W.** (2008). Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256, p. 482-490.
- Starptautiskā standartizācijas komiteja** (2005). Augsnes kvalitāte. Parauga sagatavošana fizikāli-ķīmiskām analizēm, Latvijas standarts, 14 lpp.
- Starptautiskā standartizācijas komiteja** (2002). Augsnes kvalitāte. Kopējā slāpekļa noteikšana. Modificēta Kjeldāla metode, Latvijas standarts, 8 lpp.
- Starptautiskā standartizācijas komiteja** (2002). Augsnes kvalitāte. pH noteikšana, Latvijas standarts, 12 lpp.
- Starptautiskā standartizācijas komiteja** (2000). Grunts kvalitāte. Minerālo grunts materiālu granulometriskā sastāva noteikšana. Sijāšanas un sedimentācijas metode, Latvijas standarts, 39 lpp.
- Starptautiskā standartizācijas komiteja** (1999). Augsnes kvalitāte. Karbonāta saturs noteikšana. Tilpuma metode, Latvijas standarts, 7 lpp.
- Tamminen, P., Derome, J.** (2005). Temporal trends in chemical parameters of upland forest soils in southern Finland. *Silva Fennica* 39 (3), p. 313-330.
- Tan, K. H.** (1998). Principles of Soil Chemistry, The University of Georgia, Athens, Georgia, p. 152.

- Tērauda, E.** (2008). Ķīmisko vielu plūsmas Latvijas priežu mežu ekosistēmās. Promocijas darbs. Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Vides zinātnes nodaļa, 123 lpp.
- UNFCCC (2001). Matters relating to land use, land-use change and forestry. FCCC/CP/2001/L.11/Rev.1.
- Valsts meža dienests (2008). Pārskats: Pirmā līmeņa meža monitoringa 2008. gada novērojumu rezultāti. Valsts meža dienests, 21 lpp.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., Van Ranst, E.** (1997). Forest soil condition in Europe. Forest Soil Co-ordinating Centre, p. 100.
- Werdin-Pfisterer, N. R., Kielland, K., Boone, R. D.** (2009). Soil amino acid composition across a boreal forest successional sequence. Soil Biology & Biochemistry, 30, p. 1-11.