Oglekļa un slāpekļa piesaiste minerālaugsnēs baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) audzēs apmežojušās lauksaimniecības zemēs

A. Bārdule [1], A. Lazdiņš [1]*

Bārdule, A., Lazdiņš, A. (2010). Accumulation of carbon and nitrogen in mineral soils in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) stands on naturally afforested farmlands. Mežzinātne | Forest Science 21(54): 95-109.

Kopsavilkums. Meži ir oglekli un slāpekli akumulējošas ekosistēmas, tādēļ ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām Kioto protokola kontekstā pēdējos gados arvien lielāka uzmanība pievērsta oglekļa dioksīda un slāpekļa savienojumu piesaistei meža ekosistēmās, tajā skaitā augsnēs. Baltalksnis (*Alnus incana* (L.) Moench) ir viena no pioniersugām, kas ieviešas aizaugušajās lauksaimniecības zemēs, kuru kopplatība pēc Meža statistiskās inventarizācijas datiem ir 314 tūkst. ha. Baltalkšņu audzes, ar kopējo stumbra krāju 831 tūkst. m^3, aizņem 41 tūkst. ha aizaugušo lauksaimniecības zemju. Kopējais virszemes un sakņu biomasā saistītais ogleklis šajās audzēs ir 392 tūkst. t.

Baltalksnis ir ātraudzīga lapu koku suga, kas īsā laika periodā spēj producēt ievērojamu koksnes daudzumu, fotosintēzes procesos piesaistot atmosfēras oglekļa dioksīdu un simbiozē ar augsnes mikroorganismiem – slāpekli. Augsnes virskārtā uz baltalkšņa saknēm veidojas gumiņi ar slāpekli saistošām baktērijām. Baltalkšņa sakņu mikoriza nodrošina ar slāpekli ne tikai pašus kokus, bet bagātina ar slāpekļa savienojumiem arī augsni. Baltalkšņu lapu nobiras un atmirušās saknes veido papildus organisko vielu krājumus nedzīvās zemsegas slānī.

Pētījuma ietvaros noteiktas organisko vielu sastāvā esošā oglekļa un kopējā slāpekļa daudzuma izmaiņas minerālaugsnēs 4 gadu ilgā pētījumu periodā (2005.-2009.) dažāda vecuma baltalkšņu audzēs, apmežojušās lauksaimniecības zemēs. Pētījumā nav analizēta organiskā oglekļa un kopējā slāpekļa piesaiste nedzīvajā zemsegā. Pētījumu periodā minerālā trūdvielu akumulācijas horizontā konstatēta kopējā slāpekļa daudzuma palielināšanās par 0,9 ±0,5 g N kg^{-1} jeb 0,9 ±0,4 t N ha^{-1} 0...10 cm biezā augsnes slānī, savukārt organiskā oglekļa daudzums 0...100 cm biezā augsnes slānī palielinājies par 10,1 ±3,4 t C ha^{-1}, t.i., vidēji gadā uzkrājušās 2,5 t C ha^{-1}. Lai novērtētu, vai iegūtie dati raksturo stabilu slāpekļa un oglekļa uzkrājuma pieauguma tendenci vai tā ir tikai īslaicīga parādība, nepieciešams vismaz vēl viens mērījumu cikls.

Nozīmīgākie vārdi: baltalksnis, *Alnus incana* (L.) Moench, augsne, oglekļa akumulācija, slāpekļa piesaiste.

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

•••

Bārdule, A., Lazdiņš, A. LSFRI „Silava". **Accumulation of carbon and nitrogen in mineral soils in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) stands on naturally afforested farmlands.**

Abstract. Since the adoption of the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol increasing attention is given to forest ecosystems as natural carbon and nitrogen sinks. In this respect the grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) is interesting as one of the pioneer tree species, invading abandoned farmlands. According to the National Forest Inventory the total area of artificially or naturally afforested farmlands in Latvia is 314,000 ha, of which on 212,000 ha grey alder is the dominant species. Grey alder covers 41,000 ha of recently afforested farmlands with the total growing stock of about 831,000 m^3 and the total stock of carbon accumulated in above- and below-ground biomass about 392,000 tons.

Grey alder is a fast growing broadleaved tree specie, capable to produce a considerable amount of biomass in a short time by capturing atmospheric CO_2 in the photosynthesis process and atmospheric nitrogen (N_2) in symbiosis with soil micro-flora. Sequestration of N_2 takes place in the upper soil layers in nodules on grey alder fine roots, comprising nitrogen fixing bacteria. The root mycorrhiza and bacteria supply nitrogen not only to the trees and but also enrich the soil with soluble nitrogen compounds, useful for the next generation of trees. Grey alder also increases the stock of soil organic compounds and creates the litter layer of decomposing leaves, dead branches, decaying wood, and roots.

Grey alder stands, representing different ages and growing conditions, were studied from 2005 to 2009 to identify variations in the stock of soil organic carbon ($C_{org.}$) and the total nitrogen ($N_{tot.}$), except for the dynamics of carbon and nitrogen in the litter layer and deadwood.

In 2004, first soil samples for analyses were taken in 33 stands from profile pits according to the generic horizons down to the depth of 1m. Later on (in 2009) 24 stands with no harvesting done during this period were sampled for comparison. The total carbon ($C_{tot.}$), carbonates ($C_{karb.}$), and $N_{tot.}$, content, including and bulk density of soil, were determined at the laboratory; $C_{org.}$ was calculated as a difference between $C_{tot.}$ and $C_{karb.}$.

The results show that in the beginning of the study (in 2005) the average content of $N_{tot.}$ in A horizon in grey alder stands was 3.1 ± 0,4 g N kg^{-1} or 3.5 ± 0.4 t N ha^{-1} in 0...10 cm deep soil layer. At the end of the study (in 2009) the average content of $N_{tot.}$ in A horizon was 4.0 ± 0.6 g N kg^{-1} or 4.4 ± 0.5 t N ha^{-1} in 0...10 cm deep soil layer. Thus, in four years $N_{tot.}$ in A horizon had increased by 0.9 ± 0.5 g N kg^{-1} or 0.9 ± 0.4 t N ha^{-1} in 0...10 cm deep soil layer, i.e. in A horizon grey alder had accumulated on the average 0.2 g N kg^{-1} or 0.2 t N ha^{-1} per year in 0...10 cm deep soil layer. The variations in $N_{tot.}$ stock are statistically significant ($p < 0,05$). The average content of $N_{tot.}$ in forest soils, determined within the international demonstration project BioSoil in 0...10 cm depth, is 2.7 ± 0.6 g N kg^{-1}, which is less compared to A horizon of soils in the grey alder stands.

Evaluation of the content of different forms of soil carbon demonstrated that in 2005 A horizon contained 43.6 ± 5.2 g C kg^{-1} of $C_{tot.}$, including $C_{karb.}$ – 0.7 ± 0.7 g C kg^{-1} and $C_{org.}$ – 42.9 ± 5.4 g C kg^{-1}. In deeper soil layers (on the average at 60...100 cm depth) in 2005 $C_{tot.}$ was 17.6 ± 1.9 g C kg^{-1}, including $C_{karb.}$ – 12.9 ± 1.7 g C kg^{-1} and $C_{org.}$ – 4.8 ± 0.6 g C kg^{-1}. In 2009, A horizon contained 45.1 ± 5.2 g C kg^{-1} of $C_{tot.}$, including $C_{karb.}$ – 0.7 ± 0.7 g C kg^{-1} and $C_{org.}$ – 44.4 ± 5.4 g C kg^{-1}. In deeper soil layers (on the average at 60...100 cm depth) in 2005 $C_{tot.}$ was 19.4 ± 1.9 g C kg^{-1}, including $C_{karb.}$ – 14.3 ± 1.9 g C kg^{-1} and $C_{org.}$ – 5.1 ± 0.5 g C kg^{-1}. In general, variations in the content of $C_{tot.}$ could be attributed to the variations in the content of $C_{org.}$.

Statistically significant difference between the 2005 and 2009 datasets were found for $C_{tot.}$ and $C_{org.}$, i. e. $p = 0.0014$ and $p = 0.0000$, respectively. The content of $C_{tot.}$ at 0...100 cm depth increased during the study period by 1.7 ± 0.5 g C kg^{-1}, $C_{org.}$ – by 0.9 ± 0.3 g C kg^{-1}.

In 2005, according to the estimates of carbon stock per unit area a 0...100 cm deep soil layer in grey alder stands contained 350 ± 39 t C ha^{-1} of $C_{tot.}$, including $C_{karb.}$ – 141 ± 24 t C ha^{-1} and $C_{org.}$ – 208 ± 28 t C ha^{-1}. In 2009, 0...100 cm deep soil layer contained 377 ± 40 t C ha^{-1} of $C_{tot.}$, including $C_{karb.}$ – 155 ± 25 and $C_{org.}$ – 221 ± 25 t C ha^{-1}. The average stock of $C_{org.}$ in forest soils determined within the international demonstration project BioSoil at 0...80 cm depth was 195 t C ha^{-1}. It means that the stock of $C_{org.}$ in grey alder stands does not differ from the average values for forest soils.

Comparison of the $C_{org.}$ stock between 2005 and 2009 showed a considerable increase in the carbon stock ($p = 0.001$). In four years the stock of $C_{org.}$ had increased on the average by 10.1 ± 3.4 t C ha^{-1}. However, these data are highly uncertain, which is explained by a high variability of the input data. It implies that a final conclusion about the increase of soil carbon stock in grey alder stands can be drawn only after the third of fourth round of measurements.

Results of the study demonstrate that grey alder stands on abandoned farmlands ought to be considered as ecosystems, fixing carbon and nitrogen. Considerable increase of $N_{tot.}$ in A horizon and the increase of $C_{org.}$ are found at 0...100 cm depth. Significant level of uncertainty should be noted for both indicators. In the light of climate change mitigation the most important conclusion is that grey alder stands on abandoned farmlands ought to be treated as carbon and nitrogen sinks rather than sources of it.

Key words: *Alnus incana* (L.) Moench, soil, carbon accumulation, nitrogen fixation.

•••

Бардуле А., Лаздыньш А., ЛГИЛН «Силава». **Поглощение минеральными почвами углерода и азота в насаждениях белой ольхи на естественно облесенных сельскохозяйственных землях.**

Резюме. Леса являются экосистемами, аккумулирующими углерод и азот, в связи с чем в контексте Киотского протокола Конвенции ООН об изменениях климата особенно акцентирована роль леса и почв в поглощении диоксида

углерода (CO_2) и азота. Серая ольха (*Alnus incana* (L.) Moench) является одной из пород-пионеров на бывших, естественно облесенных сельскохозяйственных землях, которые по данным Лесного статистического учета (ЛСУ) занимают 314 тыс. га. Общая площадь лесов серой ольхи на сельскохозяйственных землях занимает 41 тысяч. га, с общим запасом древесины 831 тыс. $м^3$. В свою очередь общее количество поглощенного углерода в биомассе серой ольхи на сельскохозяйственных землях составляет 392 тыс. тонн.

Серая ольха является быстрорастущей лиственной породой. В течении короткого периода времени леса серой ольхи способны произвести значительный объем биомассы, в процессе фотосинтеза вбирая атмосферного CO_2, а в симбиозе с почвенными микроорганизмами – и азота. В верхних слоях почвы на корнях серой ольхи образуются наросты, содержащие азотопоглощающих бактерий. Корневая микориза серой ольхи обеспечивает азотом не только самого дерево, но и обогащает почву азотными соединениями. Лиственный опад и омертвевшие корни серой ольхи образуют дополнительный запас органических веществ в слое неживой подстилки леса.

В данном исследовании изучены изменения содержания углерода и азота, происходившие в почве с 2005 по 2009 годы в лесах серой ольхи различного возраста, произрастающих на естественно облесенных сельскохозяйственных землях. В исследовании не учтены изменения содержания азота и углерода в лесной подстилке. В результате проведенных анализов установлено, что содержание азота в минеральных почвах на глубине 0...10 см увеличилось на 0,9 ±0,5 г $кг^{-1}$ или 0,9 ± 0,4 т N $га^{-1}$, а содержание углерода в почвенном слое 0...100 см – возросло на 10,1 ± 3,4 т C $га^{-1}$, т.е. в среднем на 1 га – 2,5 тонны в год. Чтобы оценить насколько полученные данные характеризуют устойчивую тенденцию или временное явление, или объяснимы разбросом данных, связанным с избранным методом получения проб, требуется провести по крайней мере еще один цикл измерений.

Ключевые слова: серая ольха, *Alnus incana*, минеральные почвы, поглощение углерода и азота.

Ievads

Latvija uzņēmusies pildīt starptautiskās saistības, parakstot ANO Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām 1992. g. Riodežaneiro un ratificējot to LR Saeimā 1995. gadā. Konvencijas mērķis – samazināt siltumnīcefekta gāzu (SEG) koncentrāciju atmosfērā, lai novērstu bīstamu antropogēnu iejaukšanos ar klimatu saistītajos procesos. Atbilstoši Konvencijas 1997. gada 11. decembra Kioto protokolam, ko Latvija parakstīja 1998. gadā un LR Saeima ratificēja 2002. gadā, Latvijai individuāli vai sadarbībā ar citām valstīm jāpanāk, lai antropogēnie tiešie SEG izmeši laika posmā

no 2008. līdz 2012. gadam samazinātos par 8%, salīdzinot ar 1990. gada līmeni (LR Vides ministrija, 2010). Apzinoties mežu, kā oglekli un slāpekli akumulējošu ekosistēmu, īpašo lomu, liela uzmanība tiek veltīta oglekļa dioksīda (CO_2) un slāpekļa savienojumu piesaistes un akumulācijas ātruma izpētei meža ekosistēmās, kur būtiska nozīme ir arī meža augsnēm.

Pasaulē meži aizņem ap 4 mld. ha vai 30% no sauszemes teritorijas. Pēc veikto pētījumu datiem Eiropas mērenā klimata joslā katrs hektārs meža uzkrāj ap 110 t organiskā oglekļa ($C_{org.}$), savukārt apmēram 65 t $C_{org.}$ no šī daudzuma uzkrājas mežu augsnēs (Daugaviete *et al.*, 2008). Pasaules mērogā augsnēs kopumā ir aptuveni divas reizes vairāk oglekļa nekā atmosfērā un trīs reizes vairāk – nekā visā augu biomasā. Eiropas augsnes ir milzīga oglekļa krātuve, kas satur aptuveni 75 mld. t $C_{org.}$. Tomēr jāatzīmē, ka, vienlaicīgi ar CO_2 piesaistīšanu, augsnē notiek arī pretējs process – organiskajām vielām sadaloties, atmosfērā izdalās CO_2 (Eiropas Kopiena, 2009). Kopējo slāpekļa ($N_{kop.}$) daudzumu meža augsnēs galvenokārt nosaka audzes sugu sastāvs, augsnes substrāts un atmosfēras slāpekļa piesārņojums (Vanmechelen *et al.*, 1997; Laiviņš *et al.*, 1993; Bārdule *et al.*, 2009).

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) dati liecina, ka Latvijā apmežojušos lauksaimniecības zemju platība ir 314 tūkst. ha (parauglaukumi, kas atbilst 62. un 64. zemes izmantošanas kategorijai – mežs lauksaimniecības zemē ar biezumu >1000 koku ha^{-1} un aizaugusi lauksaimniecības zeme ar biezumu <1000 koku ha^{-1}), no kuriem 212 tūkst. ha noteikta arī valdošā suga. Platības novērtēšanas kļūdas robeža ir ±2,52%. Baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) audzes aizņem 41 tūkst. ha aizaugušo lauksaimniecības zemju ar kopējo stumbra krāju 831 tūkst. m^3. Kopējais virszemes un sakņu biomasā saistītais ogleklis baltalkšņu audzēs lauksaimniecības zemēs, aprēķiniem izmantojot Nacionālā SEG inventarizācijas ziņojumā lietotos koeficientus (1), ir 392 tūkst. t.

$$C_{org.} = V \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}32 \cdot 0{,}5, \text{ kur} \quad (1)$$

$C_{org.}$ – kokaugu biomasas piesaistītais ogleklis, t;

V – stumbra tilpums, m^3;

1,3 – koeficients pārrēķinam uz virszemes krāju;

0,5 – koeficients pārrēķinam uz virszemes biomasu;

1,32 – koeficients pārrēķinam uz kopējo virszemes un sakņu biomasu;

0,5 – koeficients pārrēķinam uz oglekļa daudzumu (Penman *et al.*, 2003).

Baltalksnis Latvijā ir otra izplatītākā lapu koku suga – atbilstoši MSI datiem, baltalkšņu mežaudzes aizņem 283 tūkst. ha vai 9% no kopējās mežu platības. Praktiski tās visas uzskatāmas par dabiskas izcelsmes audzēm, no kurām liela daļa veidojusies, aizaugot lauksaimniecības zemēm (Liepiņš, Liepiņš, 2009; Indriksons, 2006). Baltalksnis ir ātraudzīga lapu koku suga, kam raksturīga intensīva fotosintēze un CO_2 piesaiste kokaugu biomasai un augsnei. Baltalkšņa lomu meža ekosistēmās nosaka tā spēja uzlabot augsnes īpašības (Liepa, Gaitnieks, 2002). Labvēlīgos augšanas apstākļos baltalkšņu mežaudzes aktīvi piesaista atmosfēras slāpekli, jo augsnes virskārtā uz koku saknēm veidojas

gumiņi ar slāpekli saistošām baktērijām (Johansson, 1999; Indriksons, 2006). Baltalkšņu sakņu mikoriza ne tikai apgādā ar slāpekli augošos kokus, bet arī bagātina augsni ar slāpekļa savienojumiem, kas būs izmantojami nākamajos meža apsaimniekošanas ciklos, kad baltalkšņa aizstāšana notiks dabiskās sukcesijas ceļā vai veicot mākslīgo meža atjaunošanu. Jāatzīmē, ka lapu nobiras un atmirušās saknes baltalkšņu audzēs veido papildus organisko vielu krājumus nedzīvajā zemsegā un augsnē (Johansson, 1999).

Materiāli un metodes

Pētījuma ietvaros noteiktas $C_{org.}$ un $N_{kop.}$ satura izmaiņas augsnē 4 gadu ilgā periodā (2005.-2009. g.g.) apmežojušās lauksaimniecības zemēs 24 dažāda vecuma baltalkšņu audzēs Tukuma un Bauskas rajonā. Ierīkoto parauglaukumu raksturojums dots 1. tabulā. Lai izslēgtu saimnieciskās darbības ietekmes efektu, rezultātu analīzē nav iekļautas mežaudzes, kur pētījumu periodā veikta mežizstrāde.

1. tabula, *Table 1*

Baltalkšņu mežaudžu raksturojums
Characteristic of grey alder stands

Objekta ģeogrāfiskās koordinātes *Geographic coordinates of object*	Gads / *Year*							
	2005				2009			
	$D_{1,3}$, cm *DBH, cm*	H, m *Height, m*	Šķērslaukums, m^2 *Basal area, m^2*	Krāja, m^3 *Stock, m^3*	$D_{1,3}$, cm *DBH, cm*	H, m *Height, m*	Šķērslaukums, m^2 *Basal area, m^2*	Krāja, m^3 *Stock, m^3*
Z 56.808833 A 23.177417	10,3	13,7	36,6	253	10,9	15,6	39,2	298
Z 56.808000 A 23.171583	11,3	14,1	18,8	130	12,0	15,3	21,3	155
Z 56.822250 A 22.910217	12,1	13,5	24,0	166	13,1	15,2	26,4	193
Z 56.781267 A 22.862450	10,5	12,7	27,9	182	11,8	14,2	31,0	215
Z 56.780983 A 22.862233	10,8	12,7	23,9	156	12,4	14,9	26,6	194
Z 56.775817 A 22.866517	6,4	8,8	13,6	69	7,6	9,9	19,4	105
Z 56.737267 A 22.910083	9,4	12,0	28,8	177	10,3	13,4	32,3	211
Z 56.790017 A 22.933067	7,8	12,6	31,8	207	8,7	13,8	35,8	248
Z 56.725467 A 22.900733	9,5	12,9	32,1	209	9,7	14,0	33,1	229
Z 56.720567 A 22.882800	18,2	19,5	33,9	304	19,5	21,3	34,6	325

1. tabula (nobeigums), *Table 10 (conclusion)*

Objekta ģeogrāfiskās koordinātes *Geographic coordinates of object*	Gads / *Year*							
	2005				2009			
	$D_{1.3}$, cm *DBH, cm*	H, m *Height, m*	Šķērslaukums, m^2 *Basal area, m^2*	Krāja, m^3 *Stock, m^3*	$D_{1.3}$, cm *DBH, cm*	H, m *Height, m*	Šķērslaukums, m^2 *Basal area, m^2*	Krāja, m^3 *Stock, m^3*
Z 56.721067 A 22.883067	9,3	11,4	29,5	169	9,8	12,6	32,4	211
Z 56.835750 A 23.160583	15,2	18,5	33,5	293	16,8	20,0	36,3	326
Z 56.826967 A 22.755717	4,8	7,9	28,6	129	5,9	10,2	37,7	204
Z 57.082783 A 22.735900	10,1	13,7	28,0	194	11,5	15,5	32,3	246
Z 57.002833 A 22.788200	9,4	12,9	30,6	200	9,8	13,8	35,4	245
Z 56.842250 A 22.772567	6,6	9,8	29,0	157	8,6	11,6	36,0	221
Z 56.460250 A 24.140167	12,4	17,3	26,7	213	13,4	18,2	31,0	260
Z 56.296600 A 24.249017	2,8	4,0	7,9	24	5,9	6,6	33,8	137
Z 56.299017 A 24.125950	6,2	9,5	26,8	145	7,3	11,4	31,6	181
Z 56.368517 A 24.052633	10,2	11,8	12,8	79	11,3	12,9	14,4	94
Z 56.401417 A 24.506400	7,8	11,8	20,2	124	9,1	14,1	24,1	167
Z 56.402400 A 24.503333	2,8	3,7	6,9	20	6,1	6,5	30,4	121
Z 56.402950 A 24.502300	9,2	11,6	14,8	91	11,1	13,4	21,1	138
Z 56.469000 A 24.627800	20,9	23,0	28,9	293	22,1	25,4	31,4	342
Vidēji *Average*	9,5	12,3	24,6	163	11,0	14,2	30,3	211

Augsnes paraugi ņemti no raksturīgākajiem minerālaugšņu ģenētiskajiem horizontiem 0...100 cm dziļumā, izrokot 1 m dziļu profilbedri. Augsnes profilbedru rakšanai 2005. gadā izraudzītas vietas uz Z no parauglaukuma centra – ārpus teritorijas, kur veikta koku uzmērīšana –, lai novērstu augsnes paraugu ievākšanas ietekmi uz koku augšanas gaitu. 2009. gadā profilbedres ierīkotas 15...20 m attālumā no pirmās bedres A virzienā. Profilbedru atrašanās vietas precizētas atbilstoši mikroreljefam: profilbedres ierīkotas platībās ar līdzenu mikroreljefu, atstatu no lielākajiem kokiem un izteiktiem reljefa pazemājumiem un paaugstinājumiem. Paraugu ņemšanai sagatavota profilbedres siena, kas vērsta uz parauglaukuma centru.

Vispirms profilbedrē 4 atkārtojumos ar 100 cm^3 cilindriem ņemti paraugi blīvuma noteikšanai, pēc tam no katra ģenētiskā augsnes horizonta ņemti atbilstoši 0,5 kg dabiski mitras augsnes paraugi ķīmiskajām analīzēm. Paraugi ievākti visa ģenētiskā horizonta biezumā, uz zīmītes norādot precīzas parauga ņemšanas dziļuma robežas, kā arī parauglaukuma numuru un parauga ņemšanas datumu. Augsnes paraugi 2005. un 2009. g.g. ievākti no maija sākuma līdz jūlija sākumam – 2 mēnešu laikā.

Augsnes paraugi sagatavoti fizikāli ķīmiskajām analīzēm atbilstoši LVS ISO 11464 standartam LVMI "Silava" Meža vides laboratorijā. Paraugu piesārņošanas novēršanai augsnes materiālu priekšapstrāde veikta atsevišķā telpā. Paraugi vienmērīgā slānī izklāti uz papīra paplātēm un žāvēti istabas temperatūrā. Pēc sveškermeņu (stikla gabali, akmeņi, koku saknes) atdalīšanas ķīmiskajām analīzēm atsijātas augsnes daļiņas, kam diametrs mazāks par 2 mm (LVS ISO 11464, 2005).

Augsnes blīvums noteikts atbilstoši ISO 11272 standartam. Augsnes blīvums ir attiecība starp absolūti sausas augsnes masu un svaigi ievākta parauga, ar nesajauktu struktūru, tilpumu; attiecīgi, blīvuma noteikšanai ar cilindriem ievāktie paraugi izžāvēti līdz absolūti sausam stāvoklim 105 °C temperatūrā un nosvērti. Aprēķinos izmantots vidējais rādītājs (LVS ISO 11272: 1998, 1999).

Kopējā oglekļa ($C_{kop.}$) daudzuma noteikšanai izmantots oglekļa elementanalizators LECO CR-12 (LECO, 1987; ICP Forests Manual IIIa, 2006). $C_{org.}$ daudzuma aprēķināšanai ar *Eijkelkamp* kalcimetru noteikts arī karbonātu ($C_{karb.}$) saturs augsnē, paraugiem pievienojot 20% sālsskābi (HCl), atbilstoši LVS ISO 10693 standartam (LVS ISO 10693, 1999). $C_{org.}$ daudzums aprēķināts, no $C_{kop.}$ atskaitot karbonātu sastāvā esošo oglekli (ICP Forests Manual IIIa, 2006).

$N_{kop.}$ daudzums augsnē noteikts, izmantojot modificētu Kjeldāla metodi, atbilstoši standartam LVS ISO 11261 (LVS ISO 11261, 2002). Augsnes ķīmiskās analīzes veiktas LVMI "Silava" Meža vides laboratorijā.

Konkrētais C un $N_{kop.}$ daudzums katrā augsnes horizontā aprēķināts, izmantojot formulu (2), kur ietverta attiecīgā elementa koncentrācija, augsnes horizonta biezums un blīvums (Penman *et al.*, 2003). $N_{kop.}$ piesaiste aprēķināta augsnes virskārtā – minerālajā trūdvielu akumulācijas horizontā 0...10 cm

biezā slānī un dziļākajā augsnes slānī 80...100 cm dziļumā. Ķīmisko elementu satura aprēķinu formulas vispārīgais pieraksts:

$A = B \cdot C \cdot D \cdot 0{,}01$, kur (2)

A – oglekļa vai kopējā slāpekļa daudzums 1 ha platībā attiecīgajā augsnes horizontā, t ha^{-1};

B – 1 m^2 augsnes horizonta tilpums, L;

C – attiecīgā horizonta augsnes blīvums, kg L^{-1};

D – oglekļa vai kopējā slāpekļa koncentrācija attiecīgajā augsnes slānī, g kg^{-1};

0,01 – mērvienību pārrēķina koeficients.

Augsnes horizonta tilpums B (L m^{-2}) aprēķināts, izmantojot horizonta biezuma mērījuma datus (3):

$B = E \cdot 10$, kur (3)

E – augsnes horizonta biezums, cm;

10 – mērvienību pārrēķina koeficients.

Tādā veidā aprēķināts $N_{kop.}$, $C_{org.}$, $C_{kop.}$ un $C_{karb.}$ daudzums dažādos augsnes horizontos. Pēc tam konkrētā oglekļa daudzums visos augsnes slāņos summēts, iegūstot kopējo $C_{kop.}$, $C_{karb.}$ un $C_{org.}$ daudzumu 0...100 cm biezā augsnes slānī. Veicot datu statistisko apstrādi, novērtēts $C_{kop.}$, $C_{karb.}$ un $C_{org.}$ (visā slāņa biezumā), kā arī $N_{kop.}$ (atsevišķi minerālajā trūdvielu akumulācijas slānī 0...10 cm un 80...100 cm dziļumā) daudzuma izmaiņu būtiskums abās (2005. un 2009. g.g. ievāktajās) paraugu sērijās.

Novērtējot oglekļa un slāpekļa piesaisti (izmaiņas, kas notikušas 4 gadu pētījumu periodā), aprēķinā izmantoti tikai tie analīžu rezultāti, kas ietilpst 3 standartnoviržu intervālā: attiecīgi, ja kādā augsnes horizontā $C_{kop.}$, $C_{karb.}$, $C_{org.}$ vai $N_{kop.}$ daudzums vai tā izmaiņas pārsniedza 3 standartnoviržu intervālu, šie dati turpmākajā rezultātu analīzē netika izmantoti.

Rezultāti un diskusija

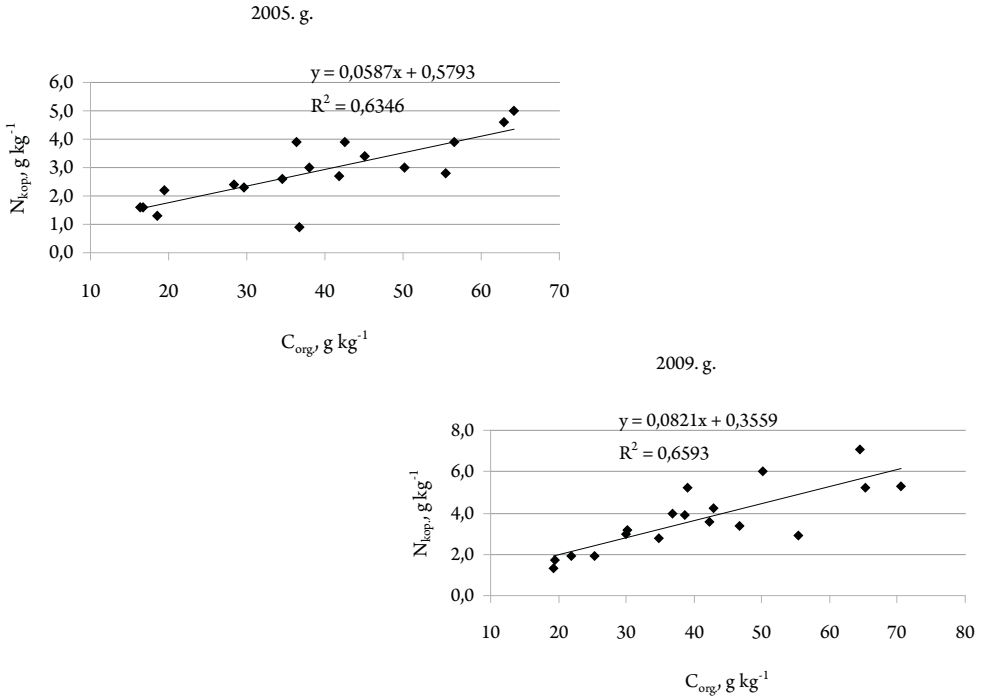
Igaunijā veiktajos pētījumos noskaidrots, ka jau pirmo piecu gadu laikā pēc baltalkšņu plantācijas ierīkošanas lauksaimniecības augsnē mainās makroelementu, tai skaitā $N_{kop.}$, saturs augsnes virsējā slānī. $N_{kop.}$ daudzums 0...20 cm augsnes slānī baltalkšņu jaunaudzēs 4 gadu periodā palielinās par 0,1 g kg^{-1} (Uri *et al.*, 2002). ASV veiktā pētījumā baltalkšņu audzēs mitrzemēs konstatēta apmēram 6 reizes intensīvāka $N_{kop.}$ akumulēšanās augsnē nekā mitrzemēs, kur dominē citas koku sugas. Salīdzinot dažādas ar kokaugiem apaugušas mitrzemes, arī gruntsūdenī konstatētā $N_{kop.}$ koncentrācija ir 3...4 reizes lielāka vietās, kur aug baltalkšņu audzes (Kiernan *et al.*, 2003).

Latvijā veiktajā pētījumā konstatēts būtisks kopējā slāpekļa daudzuma pieaugums ($p = 0{,}03$) tikai minerālajā trūdvielu akumulācijas (A) horizontā. Vidējais $N_{kop.}$ daudzums pētījumu perioda sākumā (2005. g.) A horizontā baltalkšņu audzēs bija 3,1 ±0,4 g N kg^{-1} jeb 3,5 ±0,4 t N ha^{-1} 0...10 cm biezā augsnes slānī. Pētījumu perioda beigās (2009. g.) vidējais $N_{kop.}$ daudzums A horizontā bija 4,0 ±0,6 g N kg^{-1} jeb 4,4 ±0,5 t N ha^{-1} 0...10 cm biezā augsnes slānī. Tātad 4 gadu laikā A horizontā $N_{kop.}$ daudzums palielinājies par 0,9 ±0,5 g N kg^{-1} jeb 0,9 ±0,4 t N ha^{-1} 0...10 cm biezā augsnes slānī, t.i., baltalkšņu audzēs A horizontā gadā uzkrājas vidēji 0,2 g N kg^{-1} jeb 0,2 t N ha^{-1} 0...10 cm biezā augsnes slānī. Demonstrācijas projekta *BioSoil* ietvaros noteiktais vidējais $N_{kop.}$

daudzums Latvijas mežu minerālaugsnēs 0...10 cm dziļumā ir 2,7 ±0,6 g N kg^{-1}, kas ir nedaudz mazāk nekā vidēji dažāda vecuma baltalkšņu audzēs A horizontā (Bārdule *et al.*, 2009). Saskaņā ar pētījumu rezultātiem $N_{kop.}$ daudzumu un tā akumulēšanās intensitāti augsnē lielā mērā nosaka baltalkšņu biezība (Kiernan *et al.*, 2003). Pētījuma ietvaros, salīdzinot baltalkšņa šķērslaukumu un tā izmaiņas ar $N_{kop.}$ daudzuma izmaiņām, būtiska korelācija netika konstatēta, tomēr jāņem vērā, ka parauglaukumu skaits dažādas biezības audžu reprezentēšanai pētījumā bija nepietiekams.

Igaunijā veiktajos pētījumos noteikts, ka jaunaudzēs ar baltalkšņu nobirām augsnē nonāk ap 145 kg N ha^{-1} (Uri *et al.*, 2002). ASV veiktajos pētījumos konstatēts, ka baltalkšņu nobiras nodrošina slāpekļa daudzuma pieaugumu augsnē par 0...30 kg ha^{-1} gadā, atkarībā no audzes biezuma un augšanas apstākļiem (Kiernan *et al.*, 2003).

Mūsu pētījumā konstatēts, ka $N_{kop.}$ daudzums minerālaugsnēs variē kā funkcija no $C_{org.}$ satura. Sakarība starp $C_{org.}$ un $N_{kop.}$ daudzumu dažāda vecuma baltalkšņu audžu A horizontā 2005. un 2009. gadā parādīta 1. attēlā; attiecīgie determinācijas koeficienti ir $R^2 = 0,63$ un $R^2 = 0,66$.

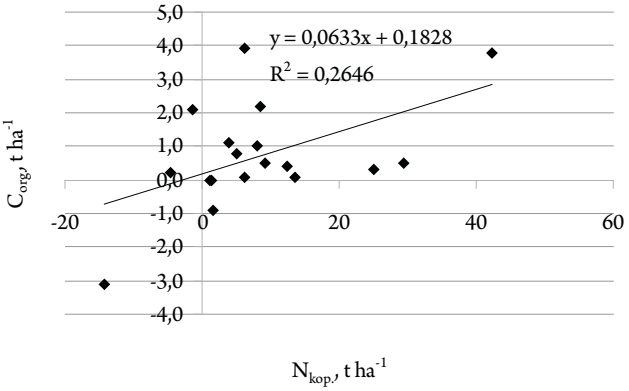


1. attēls. Sakarība starp kopējā slāpekļa un organiskā oglekļa daudzumu minerālaugšņu A horizontā dažāda vecuma baltalkšņa audzēs.

Figure 1. Relationship between the total nitrogen and organic carbon content in mineral soil A horizon in the different age grey alder stands.

Pētījuma ietvaros aprēķinātā C/N attiecība A horizontā 2005. gadā bijusi 15, savukārt 2009. g. – 12. C/N attiecības samazināšanās saistīta ar atmosfēras N_2 asimilāciju baltalkšņu rizosfērā. Šāda parādība konstatēta arī citu autoru darbos (Šourkova *et al.*, 2005). Sakarība starp $C_{org.}$ un $N_{kop.}$ daudzuma izmaiņām 4 gadu periodā dažāda vecuma baltalkšņu audzēs A horizontā parādīta 2. attēlā; korelācijas koeficients r = 0,51.

Vidējais $C_{kop.}$, $C_{karb.}$ un $C_{org.}$ saturs augsnē un tā izmaiņas pētījumu periodā parādītas 2. tabulā. Novērtējot dažādu oglekļa formu satura izmaiņas, konstatēts, ka būtiski atšķirīga ir $C_{kop.}$ un $C_{org.}$ koncentrācija 2005. un 2009. gadā (p = 0,00), savukārt $C_{karb.}$ daudzuma izmaiņas augsnē 4 gadu laikā nav bijušas būtiskas (p > 0,05). $C_{kop.}$ daudzums augsnē vidēji 0...100 cm dziļumā 4 gadu laikā vidēji pieaudzis par 1,7 ±0,5 g C kg^{-1}, $C_{org.}$ – par 0,9 ±0,3 g C kg^{-1}. Tātad $C_{kop.}$ daudzuma izmaiņas galvenokārt skaidrojamas ar $C_{org.}$ daudzuma izmaiņām augsnē.



2. attēls. Sakarība starp kopējā slāpekļa un organiskā oglekļa daudzuma izmaiņām minerālaugšņu A horizontā 4 gadu pētījumu periodā dažāda vecuma baltalkšņu audzēs.
Figure 2. Relationship between the variations in total nitrogen and organic carbon content in 4 years research period in mineral soil A horizon in the different age grey alder stands.

2. tabula, *Table 2*

$C_{kop.}$, $C_{karb.}$ un $C_{org.}$ saturs augsnēs pētījumu perioda sākumā un beigās
Content of $C_{tot.}$, $C_{carb.}$ and $C_{org.}$ in soils in the beginning and end of the research period

Gads *Year*	C, g kg^{-1}					
	Augsnes virskārta (A horizonts) *Soil surface (A horizon)*			Augsnes dziļākie horizonti (60...100 cm) *Deeper soil horizons (60...100 cm)*		
	$C_{kop.}$	$C_{karb.}$	$C_{org.}$	$C_{kop.}$	$C_{karb.}$	$C_{org.}$
2005.	43,6 ± 5,2	0,7 ± 0,7	42,9 ± 5,4	17,6 ± 1,9	12,9 ± 1,7	4,8 ± 0,6
2009.	45,1 ± 5,2	0,7 ± 0,7	44,4 ± 5,4	19,4 ± 1,9	14,3 ± 1,9	5,1 ± 0,5

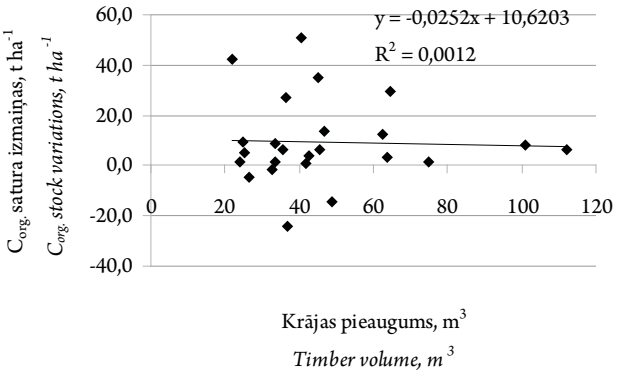
Pārrēķinot oglekļa daudzumu uz platības vienību, konstatēts, ka 2005. gadā 0...100 cm augsnes slānī $C_{kop.}$ vidēji bijis 350 ±39 t C ha^{-1}, tajā skaitā $C_{karb.}$ – 141 ±24 t C ha^{-1} un $C_{org.}$ – 208 ±28 t C ha^{-1}. 2009. gadā 0...100 cm augsnes slānī $C_{kop.}$ vidēji bijis 377 ±40 t C ha^{-1}, tajā skaitā $C_{karb.}$ – 155 ±25 un $C_{org.}$ – 221 ±25 t C ha^{-1}. Četros gados $C_{org.}$ daudzums augsnē palielinājies vidēji par 10,1 ±3,4 t C ha^{-1}. Iegūtie dati ir ar lielu vidējo aritmētisko standartkļūdu, kas liecina par ievērojamu datu izkliedi, tādēļ galīgie secinājumi par oglekļa piesaisti augsnei būs izdarāmi tikai pēc trešā vai ceturtā uzmērīšanas cikla.

Demonstrācijas projekta *BioSoil* ietvaros noteiktais vidējais $C_{org.}$ daudzums Latvijas mežu minerālaugsnēs 0...80 cm dziļumā ir 195 t C ha^{-1} (Lazdiņš, 2008; Bārdule *et al.*, 2009). Meža augšņu inventarizācijas pētījumos Norvēģijā konstatētais vidējais $C_{org.}$ daudzums minerālaugsnēs 0...100 cm dziļumā ir 140 t C ha^{-1} (De Wit *et al.*, 2006). Tas liecina, ka $C_{org.}$ daudzums baltalkšņu audzēs būtiski neatšķiras no meža zemju vidējiem rādītājiem.

Salīdzinot organiskā oglekļa piesaisti augsnei un stumbra koksnes krājas izmaiņas baltalkšņu audzēs, kopsakarības nav konstatētas; lineārās regresijas determinācijas koeficients R^2 ir 0,001 (3. attēls).

Pētījuma periodā konstatētās organiskā oglekļa daudzuma izmaiņas augsnē pielīdzināmas 10 ±3,4 m^3 koksnes biomasas pieaugumam gadā, kas ir augsts rādītājs, salīdzinot ar Latvijas mežu vidējiem krājas pieauguma datiem. Tajā pašā laikā stumbra koksnes krājas pieaugums bijis vidēji 47 ±5 m^3 vai 11,8 m^3 gadā. Izmantojot stumbra koksnes krājas pieauguma datus un SEG inventarizācijas pārskata pārrēķinu koeficientus, secināts, ka pētījuma periodā biomasa akumulējusi attiecīgi 20 t C jeb 5 t C ha^{-1} gadā.

Oglekļa piesaistes augsnei dinamikas monitoringa metodi, veicot regulārus



3. attēls. Augsnes organiskā oglekļa daudzuma un koksnes krājas izmaiņu salīdzinājums baltalkšņu audzēs 4 gadu pētījuma periodā.

Figure 3. Relationship between the variations in soil organic carbon stock and the increment of timber volume in grey alder stands in 4 year research period.

augsnes kvalitātes mērījumus noteiktos dziļumos MSI parauglaukumos, pielieto vairākās Eiropas valstīs, piemēram, Somijā un Zviedrijā (Pipatti, 2009; SEPA, 2009). Arī tur iegūtie rezultāti liecina par augstu datu izkliedi – izmaiņu vidējā aritmētiskā standartkļūda ir līdz 90%, tomēr metode parāda kopējo tendenci – vai oglekļa daudzums augsnē pieaug vai samazinās. Kioto protokola kontekstā svarīgākais ir nodemonstrēt, ka oglekļa daudzums augsnē nesamazinās, t.i., meža augsnes nav oglekļa emisiju avots, kas šajā darbā arī pierādīts. Faktiskās oglekļa piesaistes augsnei novērtēšanai nepieciešams ilgāks laiks, un augšņu monitorings izdarāms, ievācot augsnes paraugus noteiktos dziļumos, kā tas MSI parauglaukumos notiek Zviedrijā, Somijā un citās Eiropas valstīs.

Secinājumi

1. Baltalkšņu (*Alnus incana* (L.) Moench) audzes aizaugušajās lauksaimniecības zemēs ir oglekli un slāpekli akumulējošas ekosistēmas. Pētījumu rezultātā konstatēts, ka augsne baltalkšņu audzēs šajās platībās nav oglekļa emisiju avots, bet gan nodrošina tā piesaisti.
2. Četru gadu pētījumu periodā konstatēts būtisks $N_{kop.}$ daudzuma pieaugums minerālaugšņu A horizontā ($p = 0,03$). Vidējais $N_{kop.}$ daudzums A horizontā pētījumu perioda sākumā bija 3,1 ±0,4 g N kg^{-1} jeb 3,5 ±0,4 t N ha^{-1}, bet perioda beigās – 4,0 ±0,6 g N kg^{-1} jeb 4,4 ±0,5 t N ha^{-1}, kas ir ievērojami vairāk nekā Latvijas meža augsnēs *BioSoil* projekta ietvaros konstatētais 0...10 cm dziļumā (2,7 ±0,6 g N kg^{-1}). Pētījumu periodā A horizontā novērota kopējā slāpekļa daudzuma palielināšanās par 0,9 ±0,5 g N kg^{-1} jeb 0,9 ±0,4 t N ha^{-1}.
3. Pētījumā konstatēts būtisks $C_{org.}$ daudzuma pieaugums 0...100 cm dziļā augsnes slānī baltalkšņu audzēs ($p = 0,00$). Četru gadu laikā augsnē akumulētais ogleklis atbilst 10,1 ±3,4 t C ha^{-1}, tomēr korektāku datu ieguvei nepieciešams vismaz vēl viens uzmērījumu cikls.

Literatūra

Bārdule, A., Bāders, E., Stola, J., Lazdiņš, A. (2009). Latvijas meža augšņu īpašību raksturojums demonstrācijas projekta *BioSoil* rezultātu skatījumā. Mežzinātne 20 (53): 105-124.

Pipatti, R. (Ed.) (2009). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2007 National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, p. 412.

Swedish Environmental Protection Agency (SEPA) (2009). Greenhouse gas emissions in Sweden 1990-2007 National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, p. 388.

Daugaviete, M. (2009). Dabiski ieaugušo lapu koku audžu kvalitatīvie rādītāji neizmantotās lauksaimniecības zemēs. Lapu koku audzēšanas un racionālas

izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas. LVKĶI, 23.-26. lpp.

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.

De Wit, H. A., Palosuo, T., Hylen, 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: 15-26.

Eiropas Kopiena. JRC. (2009). Ilgtspējīga lauksaimniecība un augsnes saglabāšana. Augšņu degradācijas procesi. Datu lapa Nr. 3, 4 lpp.

ICP Forests Expert Panel on Soil (2006). Sampling and Analysis of Soil. ICP Forests, p. 161.

Indriksons, A. (2006). Baltalkšņa loma meža ekosistēmās. Baltalksnis Latvijā. 20.-27. lpp.

Johansson, T. (1999). Site index curves for common alder and grey alder growing on different types of forest soil in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 14: 441-453.

Kiernan, B.D., Hurd, T.M., Raynal, D.J. (2003). Abundance of *Alnus incana ssp. rugosa* in Adirondack Mountain shrub wetlands and its influence on inorganic nitrogen. Environmental Pollution, 123: 347-354.

Laiviņš, M., Sīpols, M., Riekstiņa, D. (1993). Reģionālais meža monitorings Latvijā. Latvijas Vides aizsardzības komiteja, Pētījumu centrs. 149 lpp.

Lazdiņš, A. (2008). Meža monitoringa valsts programmas 2008. gadam uzdevumu izpilde. Pārskats par Meža attīstības fonda atbalstīto pētījumu. 66 lpp.

LECO (1987). Instrumental manual Carbon System CR-12. LECO corporation, p. 151.

Liepa, I., Gaitnieks, T. (2002). Afforestation of abandoned agricultural land and *Alnus incana* L. (Moench.). Scientific aspects of organic farming. Proceedings of conference held in Jelgava, Latvia, 21-22 March, 2002, p. 58-62.

Liepiņš, K., Liepiņš, J. (2009). Baltalkšņa stādījumi lauksaimniecības augsnēs – pielietojamais stādmateriāls un agrīnā augšanas gaita. Lapu koku audzēšanas un racionālas izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas. LVKĶI, 32.-34. lpp.

LR Vides ministrija (2010). Globālo klimata pārmaiņu novēršana. [www dokuments]. – http://www.vidm.gov.lv/lat/darbibas_veidi/Klimata_parmainas/ [apmeklēts 2010. gada 15. februārī].

Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (eds) (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.

Starptautiskā standartizācijas komiteja (1999). Augsnes kvalitāte. Karbonāta satura noteikšana. Tilpuma metode (LVS ISO 10693), Latvijas standarts, 7 lpp.

Starptautiskā standartizācijas komiteja (1999). Augsnes kvalitāte. Sausa augsnes parauga blīvuma noteikšana (LVS ISO 11272:1998), Latvijas standarts, 10 lpp.

Starptautiskā standartizācijas komiteja (2002). Augsnes kvalitāte. Kopējā slāpekļa noteikšana. Modificēta Kjeldāla metode (LVS ISO 11261), Latvijas standarts, 8 lpp.

Starptautiskā standartizācijas komiteja (2005). Augsnes kvalitāte. Parauga sagatavošana fizikāli - ķīmiskām analīzēm (LVS ISO 11464), Latvijas standarts, 14 lpp.

Šourkova, M., Frouz, J., Šantručkova, H. (2005). Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). Geoderma, 123: 203-214.

Uri, V., Tullus, H., Lohmus, K. (2002). Biomass production and nutrient acumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. Forest Ecology and Management, 161: 169-179.

Vanmechelen, L., Groenemans, R., Van Ranst, E. (1997). Forest soil condition in Europe. Forest Soil Co-ordinating Centre, p. 100.