Meža nobiru frakcijas un to ķīmiskais sastāvs priežu (*Pinus sylvestris* L.) audzē 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā Fractions and Chemical Content of Forest Litterfall in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stand in Level II Forest Monitoring Plot

Arta Bārdule*, Andis Lazdiņš, Andis Bārdulis, Dagnija Lazdiņa, Jeļena Stola

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”
Latvian State Forest Research institute “Silava”

Abstract. Forest monitoring is dated back to early 1980s, when a severe decline in tree crown condition and forest health occurred across large part of Europe. Foresters and scientists all over the Europe started to monitor indicators of forest health, including litterfall, in order to objectively describe changes in forest health. Since 1985, forest condition in Europe has been monitored within the scope of two-level system of ICP-Forests (*International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*). General information on forest health is annually recorded on Level I monitoring sites, but more intensive investigations, including quantitative and qualitative characteristics of litterfall, are carried out in Level II sites. In Latvia, one Level II monitoring plot was established in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand in Valgunde parish of the Jelgava municipality in 2004. Canopy litterfall is a significant pathway for return of nutrients to soil in a forest ecosystem and may provide important information as a phenological indicator of climate change effects on forests. The main objective of this study was to determine preliminary characteristics of nutrient return with litterfall. The quality and quantity of litterfall fractions in a Level II forest monitoring plot were investigated in 2009. The chemical elements involved into the study were nitrogen (N), calcium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg), phosphorus (P), sulphur (S), and carbon (C).

Key words: forest monitoring, *Pinus sylvestris*, litterfall, carbon.

Ievads

Meža monitoringa nepieciešamību nosaka Eiropas Savienības regulas – Eiropas Parlamenta un Padomes regula (EK) Nr. 2152/2003 par mežu un vides mijiedarbības monitoringu Kopienā (*Forest Focus*), virkne ES Komisijas regulu (Nr. 1696/87, Nr. 1091/94, Nr. 2278/99 u.c.), kā arī Latvijas starptautiskās saistības Ženēvas Konvencijas par gaisa piesārņojuma pārrobežu pārneši lielos attālumos (1979. gads.), ANO Konvencijas par klimata pārmaiņām un bioloģisko daudzveidību ietvaros (1992. gads), kā arī Strasbūras (1990. gads), Helsinku (1993. gads) un Lisabonas (1998. gads) Eiropas ministru konferenču par meža aizsardzību vadlīnijas (Lazdiņš, 2010).

Meža monitoringa programmas mērķis ir nodrošināt valstī pastāvīgas novērojumu sistēmas funkcionēšanu un attīstību, lai sniegtu informāciju par meža veselības stāvokli un meža un vides faktoru mijiedarbību, kā arī nodrošināt informācijas iegūvi

par oglekļa dioksīda (CO₂) emisiju un piesaisti zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā, noskaidrojot likumsakarības starp gaisa piesārņojumu, antropogēniem un dabiskiem stresa faktoriem un meža ekosistēmu stāvokli.

Otrā līmeņa meža monitorings ir Eiropas meža monitoringa ICP-Forests sistēmas sastāvdaļa. Otrā līmeņa meža monitorings Eiropā ieviests 1994. gadā ar mērķi veikt padziļinātu atmosfēras nokrišņu, kā arī citu stresa faktoru ietekmes uz meža ekosistēmām izpēti. Pašreiz monitoringa programma, kuras ietvaros vērtē dažādus bioloģiskus un ķīmiskus vides parametrus, izvirzījusi mērķi dot ieguldījumu arī tādās aktuālās jomās kā klimata pārmaiņas un bioloģiskā daudzveidība (Lībiete, Lazdiņš et al., 2010; ICP-Forests, 2011). Latvijā otrā līmeņa meža monitoringa parauglaukums ierīkots 2004. gadā toreizējā Jelgavas rajona Valgundes pagastā. Meža nobiru frakciju biomasas un ķīmiskā sastāva noteikšana Latvijas

* Corresponding author's email:
arta.bardule@silava.lv

2. līmeņa meža monitoringa parauglukumā tiek veikta kopš 2009. gada.

Meža ekosistēmā piesārņojošās vielas un barības vielu elementi nonāk zemsegā, galvenokārt 3 ķīmisko vielu plūsmu rezultātā: ar meža nobirām, ar nokrišņiem, kas izgājuši caur koku vainagiem, un ar nokrišņiem, kas notecējuši gar stumbru (Hansen, Vesterdal et al., 2009). Meža nobiras ir atmirušas organismu daļas (lapas, skuja, zari, augļi, saknes, dzīvnieku ķermeņu fragmenti u.c.). Nobiras uzkrājas gan augsnes virspusē, gan tās virsējā slānī un ir organisko vielu avots un sākumpunkts barības vielu aprītei (Kārklīņš, Gemste et al., 2009). Uzskata, ka nobiras ir otrs lielākais barības elementu avots zemes virskārtā, taču barības elementi no organiskajām vielām mineralizācijas procesā noārdās lēni; turpretī barības vielas, kas nonākušas augsnē ar vainaga caurteces ūdeņiem, parasti ir viegli šķīstošu savienojumu veidā un līdz ar to ir augiem viegli un ātri uzņemamas (Tērauda, 2008; Pajuste, 2004).

Meža nobiru dinamiku nosaka koku suga, mežaudžu vecums un vainagu īpašības. Nobiru dinamika, ķīmiskās (lignīna un N, C un N attiecība) un fizikālās īpašības, kā arī temperatūras un mitruma apstākļi tieši ietekmē barības vielu apriti, kam ir īpaši liela nozīme nabadzīgajos boreālajos skuju koku mežos organisko vielu akumulēšanās augsnē procesos (Hansen, Vesterdal et al., 2009; Prescott, 1996, 2002). Meža nobiras kā fenoloģisks indikators sniedz nozīmīgu informāciju par klimata izmaiņu ietekmi uz meža ekosistēmām (Hansen, Vesterdal et al., 2009).

Meža nobiru ķīmisko sastāvu ietekmē dažādi faktori, no kuriem galvenie ir mežaudzes koku sugu sastāvs un augsnes īpašības (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008; Helmisaari, 1992). Barības elementu saturu meža nobirās var būtiski ietekmēt arī klimatiskie apstākļi (Saarsalmi, Starr et al., 2007), piemēram, vētras un sausuma periodi, kas izraisa priekšlaicīgu skuju nobiršanu un līdz ar to lielāku „kustīgo” elementu (N, P un K) un mazāku „nekustīgo” elementu (Ca un Mn) saturu nobirās (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008). Barības elementu koncentrācija variē dažādās virszemes koka frakcijās (skuja, miza, zari) atkarībā no barības vielu uzņemšanas intensitātes, veģetācijas perioda un koka vecuma (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008; Helmisaari, 1992).

Materiāls un metodes

Parauglūkuma raksturojums

Otrā līmeņa meža monitoringa parauglūkums ierīkots 2004. gadā bijušā Jelgavas rajona Valgundes

pagastā Meža pētīšanas stacijas Jelgavas novada 1. kvartāla 10. nogabalā. Parauglūkums ierīkots taisnstūra formas veidā (40×60 m) ar kopējo platību 2400 m². Ap parauglūkumu izveidota nenorobežota 10 m plata buferzona. Kokaudzi raksturojošie parametri: krāja – 289 m³ ha⁻¹, biezība – 0.9, bonitāte – II, vecums – 81 gads. Oglekļa (C) uzkrājums dzīvajā kokaugu biomasā atbilstoši ZIZIMM sektorā aprēķinos izmantotajai metodikai ir 124 tonnas C ha⁻¹.

Otrā līmeņa meža monitoringa parauglūkumā kokaudzes pirmo stāvu veido parastā priede (*Pinus sylvestris* L.), otro – parastā egle (*Picea abies* (L.) Karst.). Sūnu stāvā dominē spīdīgā stāvaine (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.) un Šrēbera rūšaine (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), lakstaugu stāvā – melleņu (*Vaccinium myrtillus* L.) (Hill, Bell et al., 2006). Otrā līmeņa meža monitoringa parauglūkums ierīkots lāna (*Myrtillosa*) meža tipā.

Augsnes tips atbilstoši Latvijas augsnes klasifikācijai parauglūkuma reljefa paaugstinājumos ir tipiskais podzols, bet reljefa pazeminājumos – trūdainā podzolētā glejaugsne. Atbilstoši FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) klasifikācijas sistēmai lielākajā daļā parauglūkuma augsne atbilst *Haplic Arenosols* augsnes tipam. Tā ir rupja granulometriskā sastāva vāji attīstīta augsne.

Meža nobiru paraugu ņemšana

2009. gadā 2. līmeņa monitoringa parauglūkumā zem koku vainagiem uzstādīja 10 nobiru savācējkonteinerus, katru ar virsmas uztveres laukumu 0.25 m². Kontainers izgatavots no polimēru tīkla ar acs izmēru 0.2 mm. Šāds polietilēna tīkla kontainers lietus laikā aizvada ūdeni, bet nelaiž cauri nobiras. Savācējkonteineru dziļums ir 0.5 m, kas pasargā nobiru materiāla izpūšanu no konteina vājainā laikā. Nobiru paraugus savāca katra mēneša pēdējā datumā un nogādāja LVMI „Silava” Meža vides laboratorijā. Nobiru paraugus sadalīja šādās frakcijās:

- zari (Ø<2 cm) un mizas;
- dominējošās koku sugas skuja;
- dominējošās koku sugas augļi (čiekuri, sēklas);
- cita biomas (insekta, fekālijas u.c.).

Pēc sašķirošanas nobiru frakcijas žāvēja ne mazāk kā 48 h 80 °C temperatūrā līdz nemainīgai masai un nosvēra ar precizitāti ±0.0001 g atbilstoši *ICP-Forests* metodikai (Pitman, Bastrup-Birk et al., 2010).

Meža nobiru frakciju biomasa priežu audzē 2009. gadā
Biomass of fractions of forest litterfall in a Scots pine stand in 2009

Nobiru frakcija / Fraction of litterfall	Sausa biomasa / Dry biomass, kg ha ⁻¹
Zari (Ø<2 cm) un mizas / Twigs (Ø<2 cm) and bark	1580±5
Dominējošās koku sugas skuļas / Needles of main tree species	1827±6
Augļi (čiekuri, sēklas) / Fruits (cones, seeds)	618±2
Cita biomasa (insekti, fekālijas u.c.) / Other biomass (insects, faeces, etc.)	24±1
Kopējā biomasa / Total biomass	4048±13

Ķīmiskās analīzes

Meža nobiru frakciju paraugiem noteica C, sēra (S), slāpekļa (N), kālija (K), fosfora (P), kalcija (Ca) un magnija (Mg) saturu, izmantojot *ICP-Forests* rekomendēto metodiku (Pitman, Bastrup-Birk et al., 2010).

C saturu nobiru frakciju paraugos noteica, izmantojot elementanalizatoru *LECO CR-12*, S saturu – izmantojot elementanalizatoru *ELTRA CS 530*, bet N saturu – ar modificēto Kjeldāla metodi. Savukārt K, Ca un Mg saturu noteica ar atomabsorbcijas spektrometru *Perkin Elmer AAnalyst 200* slāpekļskābes ekstraktā, ko pagatavoja ar mikroviļņu mineralizācijas metodi, bet P saturu slāpekļskābes ekstraktā noteica ar spektrofotometrijas metodi (Pitman, Bastrup-Birk et al., 2010).

Rezultāti un diskusija

Meža nobiru frakciju biomasa 2009. gadā 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā parādīta 1. tabulā. Kopējā nobiru biomasa priežu audzē 2009. gadā bija 4048±13 kg ha⁻¹. Vidējā nobiru biomasa Rucavas integrālā monitoringa stacijā priežu audzē pētījumu periodā no 1997. līdz 2006. gadam bija 3621±462 kg ha⁻¹ gadā, bet Taurenas integrālā monitoringa stacijā priežu audzē – 2869±388 kg ha⁻¹ gadā (Tērauda, 2008). Somijā veiktajos pētījumos priežu audzēs dažādos pētījumos konstatētas atšķirīgas vidējās nobiru biomasas – no 1100 kg ha⁻¹ gadā (Starr, Saarsalmi et al., 2005) līdz 1995 kg ha⁻¹ gadā (Finer, 1996) un 2225 kg ha⁻¹ gadā (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008). Zviedrijā veiktajos pētījumos konstatētas meža nobiru biomasas priežu audzēs variē no 590 līdz 4200 kg ha⁻¹ gadā (Breymer, Berg et al., 1996; Ukonmaanaho, Merila et al., 2008). Atšķirības

skaidrotas ar pētīto parauglaukumu ģeogrāfisko novietojumu, jo nobiru daudzums meža ekosistēmās nelineāri samazinās, pieaugot vietas atrašanās ģeogrāfiskajam platumam (Vuceticha, Reeda et al., 2000) un augiem nepieciešamo barības vielu satura atšķirībām augsnē. Jāatzīmē, ka nobiru kopējā biomasa mainās ik gadu atkarībā no meteoroloģiskiem apstākļiem un veģetācijas perioda ilguma (Martinez-Alonso, Valladares et al., 2007).

Lielāko daļu meža nobiru, kas nonāk uz augsnes virskārtas, veido koku vainaga daļas (Tērauda, 2008). Otrā līmeņa meža monitoringa parauglaukumā nobiras galvenokārt veido dominējošās koku sugas (priedes) skuļas (1827±6 kg ha⁻¹ gadā, t.i., 45% no gada kopējās nobiru biomasas), kā arī zari un mizas (39% no gada kopējās nobiru biomasas). Uzskata, ka vidējā skuju nobiru biomasa priežu audzēs Ziemeļeiropā ir 1760 kg ha⁻¹ gadā (Pausas, 1997). Zviedrijā priežu audzēs konstatētā vidējā skuju nobiru biomasa ir 1600 kg ha⁻¹ gadā (Pausas, 1997), Spānijā – 1971±459 kg ha⁻¹ gadā (Martinez-Alonso, Valladares et al., 2007). Līdzīgi rezultāti konstatēti Somijā veiktajos pētījumos priežu audzēs, kur skuļas veido no 47 līdz 75% no kopējās nobiru biomasas (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008; Starr, Saarsalmi et al., 2005; Finer, 1996). Spānijā ilgtermiņa pētījumos priežu audzēs konstatēts, ka skuļas vidēji ir 50% no kopējās nobiru biomasas (Martinez-Alonso, Valladares et al., 2007). Vislielākais skuju biomasas īpatsvars nobirās priežu audzēs ir briestaudžu vecumā, kas sakrīt ar koku maksimālo fotosintēzes intensitāti (Martinez-Alonso, Valladares et al., 2007). Mizu, zaru un augļu īpatsvars nobirās priežu audzēs palielinās līdz ar audzes vecuma palielināšanos (Finer, 1996).

2. tabula / Table 2

Ķīmisko elementu saturs meža nobiru frakcijās priežu audzē
Content of chemical elements in fractions of forest litterfall in a Scots pine stand

Nobiru frakcija / Fraction of litterfall	C, g 100 g ⁻¹	N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹
Dominējošās koku sugas skujas / Needles of main tree species	53.1±1.7	5.1±0.7	0.54±0.03	0.35±0.03	6.95±0.14	1.39±0.13	1.42±0.10
Augļi (čiekuri, sēklas) / Fruits (cones, seeds)	53.0±1.0	11.8±0.9	1.38±0.06	1.27±0.09	2.38±0.10	1.09±0.02	1.37±0.12
Zari (Ø<2 cm) un mizas / Twigs (Ø<2 cm) and bark	52.5±1.5	6.2±0.6	0.74±0.04	0.32±0.03	6.38±0.14	0.85±0.08	0.59±0.09
Cita biomasa (insekti, fekālijas u.c.) / Other biomass (insects, faeces, etc.)	53.1±0.3	16.1±0.9	1.04±0.05	1.59±0.08	6.53±0.12	2.67±0.14	2.63±0.15

3. tabula / Table 3

Ķīmisko elementu ienese uz augsnes ar meža nobirām priežu audzē
Chemical element inputs by fractions of forest litterfall to the soil in a Scots pine stand

Nobiru frakcija / Fraction of litterfall	C, kg ha ⁻¹	N, kg ha ⁻¹	S, kg ha ⁻¹	P, kg ha ⁻¹	Ca, kg ha ⁻¹	Mg, kg ha ⁻¹	K, kg ha ⁻¹
Dominējošās koku sugas skujas / Needles of main tree species	970±31	9.3±1.3	0.99±0.06	0.64±0.05	12.7±0.3	2.54±0.24	2.59±0.18
Augļi (čiekuri, sēklas) / Fruits (cones, seeds)	328±6	7.3±0.6	0.85±0.04	0.78±0.06	1.47±0.06	0.67±0.01	0.85±0.07
Zari (Ø<2 cm) un mizas / Twigs (Ø<2 cm) and bark	830±24	9.8±1.0	1.17±0.06	0.51±0.05	10.1±0.2	1.34±0.13	0.93±0.14
Cita biomasa (insekti, fekālijas u.c.) / Other biomass (insects, faeces, etc.)	12.7±0.1	0.39±0.02	0.02±0.01	0.04±0.01	0.16±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01
Kopā / Total	2141±102	26.8±5.0	3.0±0.3	2.0±0.3	24.4±1.0	4.6±0.7	4.4±0.9

Ķīmisko elementu saturs meža nobiru frakcijās sniedz nozīmīgu informāciju par elementu apriti meža ekosistēmā. Skujas un zari priežu vainagā ir galvenie barības vielu uzkrājēji, kas nodrošina šo vielu saglabāšanos ekosistēmā. Kaut arī zari un vainags ietver tikai mazu daļu no kopējās koku biomasas, to audi ir barības vielām relatīvi bagāti un var saturēt vairāk nekā pusi no N, P, Mg, K un Ca, kas akumulējušies koka biomasā (Tērauda, 2008).

Vidējais pētāmo elementu saturs meža nobiru frakcijās 2009. gadā parādīts 2. tabulā, savukārt vidējā elementu ienese uz augsnes ar meža nobirām priežu ekosistēmā 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā 2009. gadā parādīta 3. tabulā. Kopējais C daudzums, kas tika ienests uz augsnes ar meža nobirām, bija 2141±102 kg ha⁻¹ gadā (1.7% no kopējā C uzkrājuma dzīvajā kokaugu biomasā), tajā skaitā 45% no kopējā C daudzuma

tika ienesti ar priežu skuļām. Savukārt N un S uz augsnes nonāca galvenokārt ar zariem un mizām (attiecīgi 37 un 39% no kopējā ienestā elementa daudzuma), bet P – galvenokārt ar augļiem (40% no kopējā ienestā P daudzuma). Ca, Mg un K nonāca uz augsnes lielākoties ar priežu skuļām (attiecīgi 52, 55 un 58% no kopējā ienestā elementa daudzuma).

Kopējais N daudzums, kas nonāca uz augsnes ar meža nobirām 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā, bija $26.8 \pm 5.0 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā. Līdzīgi dati iegūti Somijā veiktos pētījumos, kur noteikts, ka ar meža nobirām priežu audzēs uz augsnes nonāk 26 kg N ha^{-1} gadā (Helmisaari, 1992). Kopējais K daudzums, kas nonāca uz augsnes ar meža nobirām 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā, bija $4.4 \pm 0.9 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā, bet Ca – $24.4 \pm 1.0 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā, kas ir vairāk nekā Somijā veiktajos pētījumos, kur ar meža nobirām priežu audzēs vidēji ienes 9 kg Ca ha^{-1} un 3 kg K ha^{-1} gadā (Ukonmaanaho, Merila et al., 2008). Savukārt Igaunijā 6 gadus ilgā pētījumā konstatēts, ka ar meža nobirām priežu audzēs vidēji ienes $4.6 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ un 9.6 kg K ha^{-1} gadā (Frey, Frey, Pajuste, 2004). Latvijā Integrālā monitoringa Rucavas stacijā priežu audzē vidējā K ienese uz augsnes ar nobirām ir $3.7 \pm 0.8 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā, bet Taurenes stacijā – $2.6 \pm 0.1 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā, savukārt vidējā Ca ienese uz augsnes ar nobirām ir $4.7 \pm 0.9 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā Rucavas stacijā un $4.9 \pm 2.1 \text{ kg ha}^{-1}$ gadā Taurenes stacijā (Tērauda, 2008).

Secinājumi

1. Kopējā nobiru biomasa Latvijā ierīkotajos 2. līmeņa meža monitoringa un integrālā monitoringa parauglaukumos ir līdz 4 reizēm lielāka nekā Somijā un atbilst Zviedrijas dienvidu daļai raksturīgajiem rādītājiem. Iegūtie dati liecina par labiem augšanas apstākļiem (nodrošinājumu ar barības vielām).
2. Pētījums apstiprina citās valstīs konstatēto likumsakarību, ka aptuveni puse nobiru priežu audzēs ir valdošās koku sugas skuļas. Skuju nobiru biomasa nobirās atbilst Zviedrijā iegūtiem datiem.
3. Galvenais C, Ca, Mg un K avots augsnē priežu audzēs ir skuju frakcija nobirās, savukārt galvenais N un S avots ir priežu zari un mizas, kas ir 2. lielākā nobiru frakcija. Elementu kopējā ienese augsnē ar dažādām nobiru frakcijām 2. līmeņa meža monitoringa parauglaukumā atbilst citās valstīs un integrālā monitoringa

parauglaukumos iegūtajiem datiem. Izņēmums ir Ca, kura ienese augsnē ar nobirām būtiski pārsniedz citos pētījumos iegūtos rezultātus. Pētījuma ietvaros nav izdevies noskaidrot iemeslus lielajām Ca koncentrācijām nobiru zaru, mizu un skuju frakcijās.

Literatūra

1. Breymeyer, A. I., Berg, B., Gowers, T., & Johnson, D. (1996). Carbon budget: temperate coniferous forests. In A. I. Breymeyer, D. O. Hall, J. M. Melillo, & G. L. Ågren (Eds.), *SCOPE 56 – Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands* (pp. 1-26). Chennai: John Wiley & Sons.
2. Finer, L. (1996). Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L. stand growing on a bog. *Forest Ecology and Management*, 80, 1-11.
3. Frey, J., Frey, T., & Pajuste, K. (2004). Input–output analysis of macroelements in ICP-IM catchment area, Estonia. *Landscape and Urban Planning*, 67, 217-223.
4. Hansen, K., Vesterdal, L., Schmidt, K. I., Gundersen, P., Sevel, L., Bastrup-Birk, ... Bille-Hansen, J. (2009). Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*, 257, 2133-2144.
5. Helmisaari, H.-S. (1992). Nutrient retranslocation in three *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*, 51, 347-367.
6. Hill, M. O., Bell, N., Bruggeman-Nannenga, M. A., Brugues, M., Cano, M. J., Enroth, J., ... Soderstrom, L. (2006). Bryological monograph. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia. *Journal of Bryology*, 28, 198-267.
7. ICP-Forests. (2011). *Programme*. Retrieved from <http://www.icp-forests.org/Programme.htm>
8. Kārkliņš, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemus, O., & Skujāns, R. (2009). *Latvijas augšņu noteicējs*. Jelgava: LLU.
9. Lazdiņš, A. (2010). *Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu "Valsts starptautisko saistību izpilde Eiropas meža monitoringa sistēmas attīstības projekta "Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System" (FutMon) ieviešanā"*. Salaspils: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava".

10. Lībiete, Z., Lazdiņš, A., Lazdiņa, D., Bārdulis, A., & Bārdule, A. (2010). Importance of forest monitoring and progress of FutMon (Further development and implementation of an EU-level forest monitoring system) project in Latvia. In *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference of Vidzeme University of Applied Sciences and Nature Conservation Agency North Vidzeme Biosphere Reserve "Solutions on Harmonizing Sustainability and Nature Protection with Socio-Economic Stability"*, Valmiera, Latvia, August 19-20 (pp. 109-115). Valmiera: Vidzeme University of Applied Sciences.
11. Martinez-Alonso, C., Valladares, F., Camarero, J. J., Arias, M. Z., Serrano, M., & Rodriguez, J. A. (2007). The uncoupling of secondary growth, cone and litter production by intradecadal climatic variability in a mediterranean scots pine forest. *Forest Ecology and Management*, 253, 19-29.
12. Pajuste, K. (2004). *Deposition and transformation of air pollutants in coniferous forests*. Dissertation, University of Tartu, Estonia.
13. Pausas, J. G. (1997). Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *Journal of Vegetation Science*, 8, 643-650.
14. Pitman, R., Bastrup-Birk, A., Breda, N., & Rautio, P. (2010). Sampling and analysis of litterfall. In *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (pp. 1-16). Retrieved from http://www.icp-forests.org/pdf/FINAL_Litter.pdf
15. Prescott, C. E. (1996). Influence of forest floor type on rates of litter decomposition in microcosms. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(10/11), 1319-1325.
16. Prescott, C. E. (2002). The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology*, 22, 1193-1200.
17. Saarsalmi, A., Starr, M., Hokkanen, T., Ukonmaanaho, L., Kukkola, M., Nojd, P., & Sievanen, R. (2007). Predicting annual canopy litterfall production for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 242, 578-586.
18. Starr, M., Saarsalmi, A., Hokkanen, T., Merila, P., & Helmisaari, H. S. (2005). Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors. *Forest Ecology and Management*, 205, 215-225.
19. Tērauda, E. (2008). *Ķīmisko vielu plūsmas Latvijas priežu mežu ekosistēmās*. Promocijas darbs, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes nodaļa, Rīga.
20. Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P., & Nieminen, T. M. (2008). Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal environment research*, 13 (suppl. B), 67-91.
21. Vuceticha, J. A., Reeda, D. D., Breymeyer, A., Degorski, M., Mroza, G. D., Solonc, J., ... Noble, R. (2000). Carbon pools and ecosystem properties along a latitudinal gradient in northern Scots pine (*Pinus sylvestris*) forests. *Forest Ecology and Management*, 136, 135-145.