

KVALITATĪVU BĒRZU IZAUDZĒŠANA FINIERKLUČU IEGUVEI LATVIJĀ ILGSTOŠA PĀRROBEŽU GAISA PIESĀRŅOJUMA APSTĀKĻOS E.Špalte, LVMI „Silava”

Kopsavilkums: Audzējot bērzus finierkluču ieguvei plantācijas tipa kultūrās, ir svarīgi noskaidrot cēloņus bērzu audžu defoliācijai, kas krasi pieaugusi 2000.gadā salīdzinājumā ar 1994.-1999.g.g., lai palielinātu šo audžu noturību pret vides piesārņojumu. Defoliācijas pieaugumu 1994.-1999.g.g. izraisīja Ca, Mg, Cl, NO₃, SO₄ un NH₄ daudzuma samazināšanās atmosfēras nokrišņos, bet 2000.-2005.g.g. bērzu defoliācija būtiski negatīvi korelēja tikai ar pH skaitli (-0,96), kas savukārt būtiski negatīvi korelēja ar SO₄ (-0,87).

Nozīmīgākie vārdi: finierkluči, defoliācija, atmosfēras nokrišņi, korelācija.

E.Špalte, LFRI „Silava”. **Cultivating Birch for Quality Veneer Logs under Conditions of Lasting Transboundary Pollution in Latvia.**

Abstract: Finding out the reasons for stand defoliation in birch plantations for veneer logs is essential to have pollution-resistant crops. Since the year 2000 the defoliation of birch has rapidly increased and over the past six years is substantially higher as compared to the period between 1994 and 1999. It is explained by the reduced amount of Ca, Mg, Cl, NO₃, SO₄ and NH₄ in atmospheric precipitation. In 2000 – 2005, the defoliation of birch showed a significant negative correlation with the pH number (0.96), resulting in a significant negative correlation with SO₄(0.87).

Keywords: defoliation, atmospheric precipitation, correlation.

Э.Шпалте, ЛГИЛН «Силава». **Выращивание качественного фанерного кряжа в Латвии в условиях влияния длительного загрязнения воздуха Европейского континента.**

Резюме: При выращивании фанерного кряжа в березовых культурах плантационного типа важно обеспечить их устойчивость против загрязнения среды. Поэтому необходимо изучить причины дефолиации березовых древостоев, которая резко повысилась в 2000 году и в течении последних шести лет существенно выше чем в 1994-1999 г.г. Повышение дефолиации в 1994-1999 г.г. вызвано понижением концентрации Ca, Mg, Cl, NO₃, SO₄ и NH₄ в атмосферных осадках. В период от 2000 г. до 2005 г. дефолиация березовых древостоев существенно отрицательно коррелировала только с числом pH (-0,96), которое в свою очередь существенно отрицательно коррелировало с SO₄ (-0,87).

Ключевые слова: фанерный кряж, дефолиация, атмосферные осадки, корреляция.

Ievads

Meža nozares ilgtspējīgas attīstības svarīgs priekšnoteikums ir kokapstrādes paplašināšana, kas savukārt nodrošinātu koksnes pievienotās vērtības strauju pieaugumu īsā laika periodā. Koksnes produkcijas realizācija veido apmēram trešo daļu no Latvijas valūtas

ieņēmumiem, tādēļ augstvērtīgu mežaudžu izaudzēšana un kokrūpniecības nodrošināšana ar samērā lētu vietējo koksni uzskatāma par mežsaimniecības pamatuzdevumu, kura īstenošana būtiski ietekmēs meža nozares un valsts ekonomikas tālāku izaugsmi.

Mežaudžu kvalitātes galvenais kritērijs ir resno, pirmās šķiras zāgbaļķu un bērza finierkluču krājas augsts īpatsvars audzes kopkrājā ciršanas vecumā. Šādu audžu izaudzēšanu Latvijā un citās valstīs aizvien vairāk apgrūtina pārrobežu gaisa piesārņojuma ilgstošā nelabvēlīgā ietekme uz mežu.

1. LITERATŪRA, PĒTĪJUMU METODIKA UN MATERIĀLS

Literatūras apskats

Pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados Eiropā, ASV un Kanādā sākās mežu pastiprināta kalšana, kas turpmākajos gados strauji progresēja un kļuva par starptautiska mēroga problēmu, kuras aktualitāte joprojām nav mazinājusies (Programmreport, 1990). Šis process vienlaicīgi ar vides piesārņojuma pieaugumu sevišķi strauji attīstījās Vācijā, kur jau piecdesmitajos gados palielinājās nitrātu (NO_3) koncentrācija atmosfērā, kas ievērojamās transportlīdzekļu kustības intensitātes dēļ 30 gadu laikā paaugstinājusies par 30%, bet sulfātu (SO_4) daudzums gaisā mainījies maz (Freiherr, 1984; Hamerek, 1985).

Jebkurā degšanas procesā, oksidējoties atmosfēras slāpeklim, lielā daudzumā rodas nitrāti, bet, sadegot sēram akmeņoglēs un benzīnā, veidojas sulfāti. Par ilgstošu un pastiprinātu nitrātu postošo ietekmi uz meža vitalitāti liecina iepriekš minētie novērojumi Vācijā. Sulfātu piesārņojuma nelabvēlīgo ietekmi uz priežu audžu vitalitāti Latvijā konstatējis raksta autors: to pierāda arī Mīlgrāvja superfosfāta rūpnīcas piesārņojuma kaitīgā iedarbība uz Rīgas Mežaparka priedēm, kuru nokalšanu novērsa minētās ražotnes slēgšana (Špalte, 2002).

Laikā no 1982.g. līdz 1990.g. Vācijā veikti apmēram 600 pētījumi par meža kalšanas cēloņiem (Programmreport..., 1990), kas pilnībā netika noskaidroti, toties konstatēts, ka astoņdesmito gadu sākumā daudzās dažāda vecuma egļu audzēs gandrīz vienlaicīgi krasi samazinājies koku gadskārtu platums, bet dažus gadus vēlāk sākusies arī priežu un lapu koku audžu kalšana. Pētījumu beigu posmā secināts, ka 52% koku ir bojāti, ievērojami samazinājies krājas

pieaugums, jūtami pavājinājusies koku noturība pret trupi un kaitēkļu uzbrukumiem; mežs slikti atjaunojas - pret vides piesārņojumu visjutīgākā koku suga ir egļe. Vācijā 1990. gada pavasarī egļu mežos plašus postījumus izraisīja vētra, kuras skartajās platībās izveidojās biezs zāļu sazēlums un krūmu saaugs, bet egļe vairs neatjaunojās, tādēļ apmežošanā tika izmantoti lapu koki (Süß, 2000; Kurzmeier, 2002). Tas liecina, ka vides piesārņojums Vācijā jau tagad apdraud egļu mežu saglabāšanos.

Mežu kalšanu Eiropā skaidro hipotēze, ka Rietumeiropas un Centrāleiropas lielajos rūpniecības centros ar dūmgāzēm, automobiļu dzinēju izpūtēju gāzēm, aerosoliem un putekļiem atmosfērā nonāk daudz nitrātu, sulfātu un citu tehnogēnu vielu, kuras valdošie rietumu vēji nes austrumu virzienā un kuras augsnē nonāk ar atmosfēras nokrišņiem, veidojot mežam kaitīgu vides piesārņojumu (Špalte, 1994).

Latvijā pagājušā gadsimta beigās, kā rāda toreizējās Valsts Hidrometeoroloģiskās pārvaldes Vides kvalitātes novērojumu nodaļas (VHP VKNN) uzsāktie pētījumi, augsnē nonākuši ar vēju no citām valstīm atnesti 93-95% nitrātu un 89% sulfātu (VHP VKNN, 1994, 1997). Tas nozīmē, ka mežaudžu vitalitāti Latvijā galvenokārt ietekmē atmosfēras piesārņojuma vielu pārrobežu pārnese, bet vietējo vides piesārņojuma avotu ietekme ir niecīga.

Vides piesārņojuma ietekme uz Latvijas mežu ekonomisko vērtību

Starptautiskajos pētījumos vides piesārņojuma ietekmi uz meža vitalitāti raksturo defoliācijas jeb lapu (skuju) zuduma procents, kuru Latvijā katru gadu nosaka Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos un pēc šiem datiem aprēķina gada un konkrētā laika perioda vidējo defoliāciju. Vidējās defoliācijas pieaugums laikā liecina par attiecīgās koku sugas audžu vitalitātes pazemināšanos.

Mūsu egļu un bērzu mežos vidējā defoliācija 1994.-1999.g.g periodā bijusi attiecīgi 17,2% un 16,9%, bet laikā no 2000.g. līdz 2005.g. - 21,0% un 19,9%. Šie skaitļi rāda, ka abām sugām koku vidējā defoliācija salīdzināmajos laika posmos ir līdzīga, bet pēdējo 6 gadu laikā tā ir augstāka nekā 1994.-1999.g.g periodā. Šī atšķirība pie $\alpha=0,05$ ir būtiska: tas nozīmē, ka abu sugu koku defoliācija pēdējo 6 gadu laikā ievērojami pieaugusi, izraisot audžu vitalitātes

būtisku pazemināšanos. Tomēr šī procesa ietekme uz egļu un bērzu mežu ekonomisko vērtību bijusi ļoti atšķirīga.

Egļu mežos kopš 2000.gada daudzās dažāda vecuma audzēs kokiem veidojas ļoti šauras gadskārtas, strauji izplatās sakņu trupe un pastiprināti savairojas mizgrauži. Tas liecina par ievērojamu krājas pieauguma samazināšanos un ļauj prognozēt pastiprinātu audžu nokalšanu vēl pirms cirtmeta vecuma (80 gadi) sasniegšanas. Piepes *Fomes annosum* (Fr.) izraisītā sakņu trupe bojā egļu stumbrus ass garenvirzienā līdz pat 8 m augstumam virs sakņu kakla (Svarāns, 1958). Tā rezultātā augstvērtīgo 1.šķiras zāgbaļķu sagatavošanai lietojamās egles stumbra daļas kvalitāte pazeminās līdz papīrmalkas vai pat malkas līmenim un līdz ar to samazinās tirgū pieprasīto resno apaļkoku ieguve galvenajā izmantošanā, radot ievērojamus zaudējumus tautsaimniecībai, kuri nākotnē var palielināties; turklāt pastiprināta papīrmalkas ieguve un eksports tos nekompensēs, jo minētā sortimenta pārstrādē iegūstamo pievienoto vērtību saņem papīra ražotāji ārvalstīs (Špalte, 2005).

Pētījumi rāda, ka egļu meži Latvijā, tāpat kā Vācijā, ir ļoti jutīgi pret vides piesārņojumu, kura ietekmē nākotnē var samazināties šo mežu ekonomiskā vērtība un aizņemtā platība.

Tomēr bērzu mežos, pēc to vitalitātes būtiskas pazemināšanās, pēdējo sešu gadu laikā strauja trupes izplatība un kaitēkļu pastiprināta savairošanās nav konstatēta, kas liecina par bērza noturīgumu un piemērotību audzēšanai ilgstoša vides piesārņojuma apstākļos.

Kvalitatīvu finierkluču ieguvei paredzētu bērzu izaudzēšanas tehnoloģijas zinātniskais pamatojums

Meža nozares ilgtspējīgai attīstībai svarīga ir finiera ražošanas paplašināšana, jo finieri izgatavo no Latvijā iegūtas bērzu koksnes un pēc tā ir liels pieprasījums arī starptautiskajā tirgū, kur finiera realizācija dod augstu pievienoto vērtību.

Bērzs ir ekonomiski ļoti vērtīga koku suga - ātraudzīga, labi atjaunojas un attīstās dažādos augšanas apstākļos, noturīga pret trupēm un meža kaitēkļiem arī pieaugoša vides piesārņojuma apstākļos. Kvalitatīvus bērza finierklučus iegūst cirtmeta vecumā (70 gadi) un to tirgus cena ir ievērojami augstāka nekā resnajiem skujkoku zāgbaļķiem, kuru izaudzēšana ir ilgstošāka - priecē 100, bet eglei 80 gadi -, turklāt to ieguvei arvien vairāk samazina koksnes

trupes straujā izplatība. Tas liecina, ka salīdzinājumā ar citu sugu kokiem, bērzu audzēšana ir izdevīgāka gan meža īpašniekiem, gan finiera ražotājiem, gan valsts ekonomikai kopumā.

Kvalitatīvu bērza finierkluču ieguvī nākotnē iespējams ievērojami palielināt, ierīkojot plantācijas tipa kultūras lauksaimnieciskai izmantošanai nepiemērotās zemēs, kuru kopplatība ir 363505 ha (Tomsone, 2006). Tajās atļauta augšes auglības potenciāla pilnvērtīgai izmantošanai nepieciešamo agrotehnisko pasākumu veikšana, kas ir svarīgs priekšnoteikums augstražīgu un kvalitatīvu bērzu audžu izveidošanai, veicot zinātniski pamatotu apmežojamo platību izvēli un kultūru kopšanu. Tādēļ izstrādājami kritēriji, lai novērtētu apmežojamo platību piemērotību bērzu vai citu sugu koku audzēšanai, prognozētu kultūru noturību pret vides piesārņojumu, izstrādātu un ieplānotu ekoloģiski pamatotus izveidoto kultūru apsaimniekošanas pasākumus.

Minēto kritēriju izstrādāšana un pielietošana sekmēs lauksaimniecības zemju apmežošana ar bērzu ieguldīto līdzekļu kompensāciju un palielinās nākotnē iegūstamo peļņu, kā arī nodrošinās finiera rūpniecību ar kvalitatīvu bērzu koksni.

Darba uzdevums un metodika

Veicamā darba uzdevums ir pētīt bērzu audžu vitalitāti saistībā ar vides piesārņojumu, kā arī ar augšes agroķīmiskajiem un fizikālajiem rādītājiem.

Latvijas vides kvalitāti raksturo Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras informācija par piesārņojuma vielu ieplūdi augsnē ar mitriem nosēdumiem laikā no 1994.gada līdz 2005.gadam, kas iegūta Alūksnes, Dobeles, Rucavas, Zīlānu un Zosēnu meteolaukumos: Ca^{2+} , CL^- , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+-N , NO_3^--N , Na^+ , SO_4^{2-} S kg/ha gadā, atmosfēras nokrišņu daudzums, mm gadā, un pH skaitlis. Analīzē izmantotas meteolaukumos veikto novērojumu vidējo lielumu laika rindas.

Bērzu audžu kvalitāti raksturo Reģionālā meža monitoringa parauglaukumu bērzu vidējās defoliācijas laika rinda 1994.-2005.g.g. periodā, kuras vidējie lielumi 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā, kā jau minēts, bija 16,9% un 19,9%, un tie atšķiras būtiski, jo $t=4,39 > t_{0,05;10}=2,23$. Tātad arī pārējo rādītāju analīze izdarāma, novērtējot to vidējo lielumu atšķirību būtiskumu šajos periodos ar *t*-kritēriju. Darbā izmantotas arī korelācijas un regresijas analīzes; ar

korelācijas koeficientu palīdzību novērtēts laika rindu trendu būtiskums.

Līdzās Reģionālā meža monitoringa parauglaukumiem izvēlēti pieci bērzi, uzmērīts to caurmērs un augstums, profilbedrē iegūti augsnes paraugi agroķīmiskās izpētes veikšanai. Augsnes paraugiem noteikts K_2O , P_2O_5 , Mg, Ca, B, Zn, Cu, Mn, S- SO_4 , N- NH_4 , N- NO_3 saturs kg/ha, organiskā viela (%), mitrums(%), pH, kā arī augsnes frakciju 0,01-0,05 mm un <0,005 īpatsvars.

Pētījuma materiāls

Pētījuma materiāls iegūts Valkas, Gulbenes, Krāslavas, Aizkraukles, Rīgas-Ogres un Zemgales virsmežniecībās 15 Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos, kas ierīkoti I-I^a bonitātes bērzu audzēs. Audžu vecums svārstās robežās no 47 līdz 87 gadiem, vidējais vecums - 64 gadi.

Parauglaukumu dalījums pa virsmežniecībām (skaits): Valkas – 2, Gulbenes – 1, Krāslavas – 3, Aizkraukles – 3, Rīgas-Ogres – 3, Zemgales – 3. Parauglaukumi pārstāv dažādus reģionus, atskaitot Kurzemi. Pa meža tipiem parauglaukumi grupējas šādi (skaits): damaksnī (Dm) *Hylocomiosa* – 6, vērī (Vr) *Oxalidosa* – 4, slapjajā vērī (Vrs) *Myrtilloso-polytrichosa* – 1, šaurlapju ārenī (As) *Myrtillosa mel.* – 2, platlapju ārenī (Ap) *Mercurialiosa mel.* – 1, slapjajā gāršā (Grs) *Dryopteriosa* – 1 (1. tab.).

Pētījuma materiāla analīzes veikšanai aprēķināta parauglaukumu vidējās defoliācijas attiecība - 2000.-2005.g.g./1994.-1999.g.g. periodu. Defoliācijas attiecība izmantota parauglaukumu iedalīšanai divās grupās, par robežvērtību pieņemot defoliācijas attiecību 1,1. Parauglaukumos ar vidēju defoliācijas attiecību, līdz 1,1, defoliācija 2000.-2005.g.g. periodā bijusi mazāka nekā laika posmā no 1994.gada līdz 1999.gadam vai arī tās pieaugums ir neliels un nepārsniedz 10% robežu, kas liecina, ka šīs grupas audžu defoliāciju pārrobežas gaisa piesārņojums jūtami nav pazeminājis, tātad to vitalitāte pēdējo sešu gadu laikā ievērojami nav mainījies. Secinājums - šīs grupas bērzu audzes ir noturīgas pret vides piesārņojumu.

Otrās grupas audzēm defoliācijas attiecība ir lielāka par 1,1: tātad defoliācijas pieaugums un attiecīgi audzes vitalitātes samazināšanās pēdējo sešu gadu laikā pārsniedz 10%, kas liecina par šo audžu pazeminātu noturību pret pārrobežas gaisa piesārņojumu.

1. tabula, Table 1

Parauglaukumu saraksts
List of sample plots

Nr. No	Virsmēž- niecība, Forest district	Mež- niecība, Forestry	Zemn. saim- ba, Farm	Kv. Cpt	No g., Sub cpt.	Meža tips, Forest type	Bo n. Site index	Audzis sastāvs Stand comp..	Vec Age	Def. att., Def index
155	Valka	Smiltene	Zekes	2	3	Dm	1	8B2E	84	0,82
195	Valka	Smiltene	-	61	19	Dm	1	6B2A1 E1P	87	0,65
224	Rīga- Ogre	Saulkrasti	-	15	27	As	1	8B2P	60	1,09
228	Rīga- Ogre	Inčukalns	Kraujas	70 3	4	Dm	1	9B1E	70	1,02
424	Gulbene	Jaungul- bene	-	22 2	3	Vrs	1 ^a	9B1A	54	1,28
453	Zemgale	Lielupe	-	51	3	Dm	1	8B1E1 P	62	1,78
562	Rīga- Ogre	Mārupe	-	20 8	2	As	1	8B1M 1E	52	0,95
628	Aizkrau- kle	Koknese	-	54 2	2	Grs	1	6B2M 1A1Os	80	2,32
723	Zemgale	Auce	-	45	5	Vr	1	7B3A	63	4,06
740	Aizkrau- kle	Jaunjel- gava	Staki	1	1	Vr	1	10B	67	1,03
782	Zemgale	Svir- lauka	-	17 9	12	Vr	1 ^a	6B2A1 P1E	47	2,76
846	Aizkrau- kle	Nereta	-	32 6	8	Ap	1	7B2M 1E	65	0,88
974	Krāslava	Dagda	-	17 6	9	Dm	1	6B3A1 E	61	1,82
988	Krāslava	Krāslava	-	20 6	12	Dm	1	7B3E	60	1,41
1019	Krāslava	Indra	-	66	2	Vr	1	7B1A2 Ba	53	1,92

Pēc defoliācijas attiecības skaitļa, izmantojot informāciju par parauglaukumu skaitu meža tipos ar defoliācijas attiecību mazāku par 1,1, iespējams novērtēt parauglaukumu ierīkošanai izvēlēto audžu noturību pret vides piesārņojumu saistībā ar meža tipu: As+Ap – 100%, Dm – 50%, Vr+Vrs – 20%, Grs – nav. Šie skaitļi liecina, ka pret vides piesārņojumu visnoturīgākās ir bērzu audzes šaurlapju un platlapju āreņos, bet vismazāk noturīgas - auglīgajos vēra un slapjās gāršas meža tipos. Zināma nenoteiktība izpaužas damaksnī augošo bērzu audžu vērtējumā, kur pret vides piesārņojumu noturīgo un nenoturīgo audžu skaits dalās uz pusēm – 50% un 50%. Tas liecina, ka, izraugoties platības plantāciju tipa bērzu kultūru ierīkošanai, lietderīgi izdarīt augsnes testēšanu.

2. PĒTĪJUMU MATERIĀLA ANALĪZE UN REZULTĀTI

Rakstā izklāstīti pētījumu rezultāti par Latvijas ekoloģiskās situācijas izmaiņām 1994.-2005.g.g. periodā un to ietekmi uz bērzu audžu vitalitāti.

Atmosfēras cirkulācija un vides kvalitāte

Rūpniecības centru radīto atmosfēras piesārņojumu ar tehnogēnajām vielām pārnēsā cikloni un anticikloni, kuru darbība aptver plašas teritorijas.

Ciklonos atmosfēras spiediens ir pazemināts un gaiss cirkulē pretēji pulksteņa rādītāja virzienam. Piesārņojuma vielas pārvieto negaisa mākoņi un augsnē tās nonāk ar atmosfēras nokrišņiem. Anticiklonos atmosfēras spiediens ir paaugstināts un gaiss pārvietojas pulksteņa rādītāja kustības virzienā: tā kā debess ir skaidra, piesārņojums augsnē nonāk ar putekļu nosēdumiem.

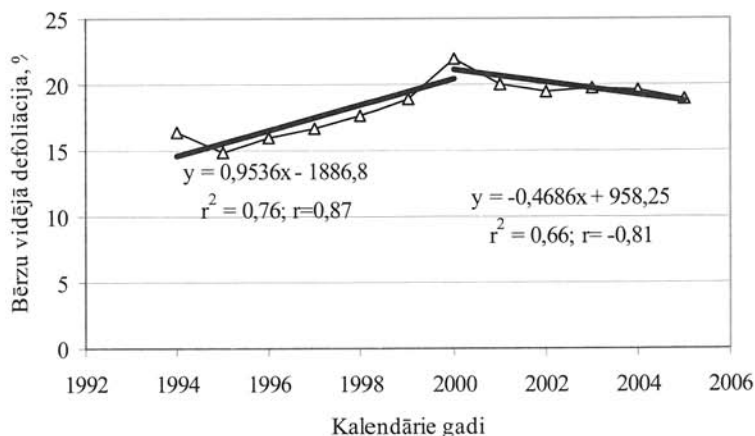
Piesārņojuma vielu pārnese Eiropā nosaka divi galvenie ciklonu kustības virzieni: 1) no Arktikas pāri Atlantijas okeānam uz Eiropu; 2) rietumu-austrumu virziens pa trajektoriju, kas bieži atrodas virs Atlantijas okeāna.

Pirmajā gadījumā gaiss ciklona priekšpusē virzās no rietumiem uz austrumiem, pastiprinot piesārņojuma vielu ieplūdi Austrumeiropā. Otrajā - ciklona trajektorijas ziemeļu pusē atrodas Atlantijas okeāns, bet dienvidu virzienā Eiropa, tādēļ ciklona priekšējā daļā piesārņotais gaiss no kontinenta tiek nests uz okeānu, bet aizmugurē samērā tīrais jūras gaiss ieplūst Eiropā. Cikloni aptver plašu teritoriju un to darbība sekmē Eiropas kontinenta attīrīšanos no piesārņojuma visā ciklona trajektorijas garumā. Pēdējās desmitgades laikā dominē otrais pieminētais atmosfēras cirkulācijas tips, un tādēļ veicamā darba uzdevums ir novērtēt tā ietekmi uz bērzu audžu barošanās režīmu un vitalitāti.

Bērza audžu vidējās defoliācijas procents 1994.-2005.g.g. periodā

Bērza audžu vidējās defoliācijas procents laikā no 1994.g. līdz 1999.g. palielinājies no 16,4% līdz 18,9%, sasniedzot kulmināciju 2000.g. - 22,0%, bet turpmākajos gados tas pakāpeniski pazeminājies līdz 18,9% 2005.gadā (1. att.). Defoliācijas procentu vidējās vērtības 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g periodā bija

16,9% un 19,9% un to atšķirība, kā jau minēts, ir būtiska, tādēļ defoliācijas un vides kvalitātes rādītāju analīzes veiktas katram periodam atsevišķi.



1.attēls. Bērzu vidējā defoliācija 1994.-2005.g.g. periodā.
Fig. 1. Average defoliation of birch in 1994 – 2005.

Bērzu audžu defoliācija novērtēta, veicot regresijas analīzi. Faktoriālā pazīme jeb regresors ir kalendāro gadu laika rinda, rezultējošā pazīme jeb regresents – bērzu audzes defoliācijas procents. Kalendāro gadu un rezultātīvo rādītāju korelāciju raksturo korelācijas koeficients, kura kritiskā vērtība 6 gadus ilgam pētījumu periodam pie būtiskuma līmeņa $\alpha=0,05$ ir $r_{0,05;6}=0,81$. Korelācijas koeficienta kvadrātu (r^2) sauc par determinācijas koeficientu un tas rāda, cik lielu rezultātīvās pazīmes daļu izskaidro tās lineārā sakarība ar faktoriālo rādītāju. Izlīdzināto regresijas līniju sauc par trenda līniju, bet regresijas likumsakarību - par trendu. Regresijas līnijas aprēķināšanai izmantots vienādojums $y=bx+b_0$. Koeficients b rāda, par cik vienībām gadā izmainās rezultējošās pazīmes vērtība, tādēļ tas nosaukts par regresijas koeficientu.

Bērzu audžu gadu vidējās defoliācijas procenta laika rindu korelācijas koeficients 1994.-1999.g.g un 2000.-2005.g.g periodā ir 0,84 un -0,81 un nav mazāks par iepriekš minēto kritisko vērtību 0,81, tādēļ bērzu audžu defoliācija abos laika posmos ir būtiska. Savukārt determinācijas koeficientu 0,76 un 0,66 procentuālā izteiksme rāda, ka ar laika faktora ietekmi abos periodos izskaidrojami attiecīgi 76% un 66% defoliācijas.

Determinācijas koeficients b un tā zīme liecina, ka pirmajā periodā defoliācija palielinājusies par 0,95% gadā, bet otrajā periodā - samazinājusies par 0,47% gadā.

Laika faktora ietekmi uz bērzu audžu vitalitāti nosaka vides kvalitātes rādītāju dinamika attiecīgajos periodos, kuras izpēte veikta ar korelācijas, regresijas un klāsteru analīzēm.

Turpmāk tekstā “bērzu audžu vidējās defoliācijas procents” nosaukts par “bērzu audžu vidējo defoliāciju”; pētījumu periodi 1994.-1999.g.g un 2000.-2005.g.g. nosaukti par pirmo un otro pētījumu periodu.

Latvijas ekoloģiskās situācijas transformēšanās 1994.-2005.g.g periodā un tās ietekme uz bērzu audžu vitalitāti

Ļoti nozīmīgs vides kvalitātes kritērijs ir augsnes skābuma rādītājs - pH skaitlis, kas raksturo augsnes šķīduma reakciju (skāba, neitrāla, bāziska), kurā notiek bioķīmiskie un ķīmiskie procesi. Palielinoties augsnes skābumam, samazinās kokiem pieejamo barības vielu daudzums, jo veidojas grūti šķīstoši savienojumi, kā arī palielinās indīgo vielu koncentrācija augsnes šķīdumā, kā rezultātā pavājinās sakņu augšana un pazeminās koku vitalitāte (Matzner, Ulrich, 1985).

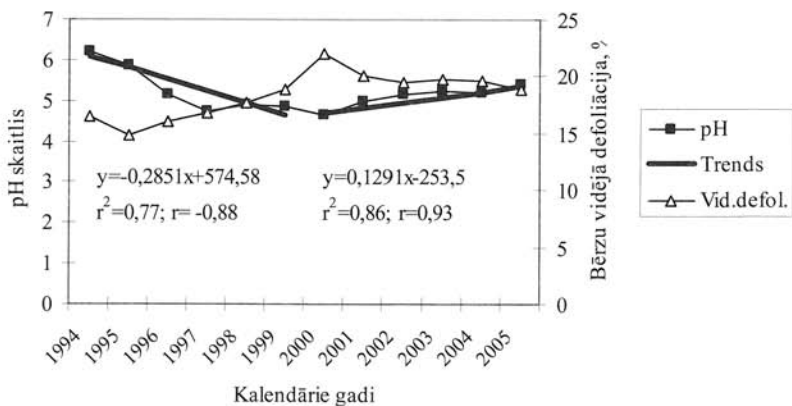
Augsnes skābumu jūtami ietekmē atmosfēras nokrišņi, kurus pēc pH skaitļa vērtības grupē sekojoši: skābi – pH līdz 3,99; vāji skābi – no 4,00 līdz 5,50; neitrāli – no 5,51 līdz 7,50; vāji sārmaini – no 7,51 līdz 8,80; sārmaini – 8,81 un lielāks. Augsnes skābums palielinās, samazinoties pH skaitlim. Šis skaitlis rāda brīvo, uz koloīdu virsmas nesaistīto ūdeņraža jonu koncentrāciju augsnes šķīdumā (cH), ko raksturo minētā rādītāja negatīvais logaritms: $pH = -\log cH$ (Mežals, 1980). Brīvie ūdeņraža joni veidojas, ūdenim disociējoties jonos ($H_2O \leftrightarrow H+OH$).

Par atmosfēras nokrišņu skābuma cēloni ilgstoši uzskatīja augstu sulfātu koncentrāciju lietūs un sniega ūdenī. Autora pētījumu rezultāti rāda, ka 1996.-1999.g.g. periodā atmosfēras nokrišņu skābuma svārstības vairs nav skaidrojamas ar SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ daudzumu lietūs un sniega ūdenī. Meteolaukumos veikto novērojumu rezultāti liecina, ka 2000.gadā dažādos Latvijas rajonos ievērojami atšķirīga bijusi bāzisko katjonu (Ca, K, Mg, Na) koncentrācija atmosfēras nokrišņos, kas jūtami ietekmējis ūdens skābuma neitralizāciju, izraisot lielas **pH** skaitļa atšķirības (Pārskats par vides ..., 2001). Šo pētījumu rezultāti ļauj secināt, ka kopš 1996.gada Latvijā notiek ekoloģiskā stāvokļa izmaiņas, kuru detalizēta izpēte ir konkrētā darba nozīmīgs uzdevums.

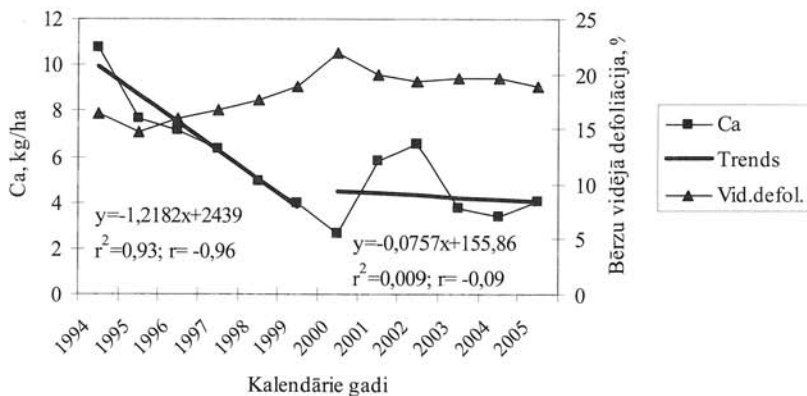
Bērzu audžu vidējās defoliācijas un vides kvalitātes rādītāju korelācija

Latvijas vides kvalitātes un bērzu audžu defoliācijas dinamika 1994.-2005.g.g. periodā raksturota ar korelācijas koeficientiem (2.tabula) un vides kvalitātes rādītāju grafiskiem attēliem (2.-13. att.). Vides kvalitāti raksturo mitro nosēduma vielu pieplūde ar lietūs un sniega ūdeni, atmosfēras nokrišņu daudzums un to skābuma rādītājs - **pH** skaitlis.

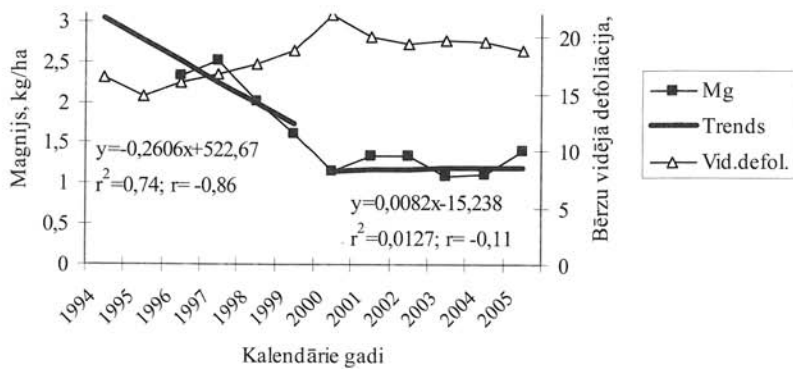
Korelācijas koeficienta kritiskā vērtība 12 gadu ilgam novērojumu periodam $r_{0,05;12} = 0,576$. Atbilstoši šim kritērijam bērzu audžu defoliācijas pieaugumu būtiski sekmējusi Ca, Mg, Cl, NO_3 , SO_4 , NH_4 mitro nosēdumu pieplūduma samazināšanās augsnē (2. tabula). Bērzu audžu defoliācija, kā jau minēts, palielinājusies no 1994.gada līdz 1999.gadam, bet samazinājusies 2000.-2005.g.g. periodā. Sešu gadu novērojumu laikā korelācijas koeficienta kritiskā vērtība $r_{0,05;6} = 0,81$.



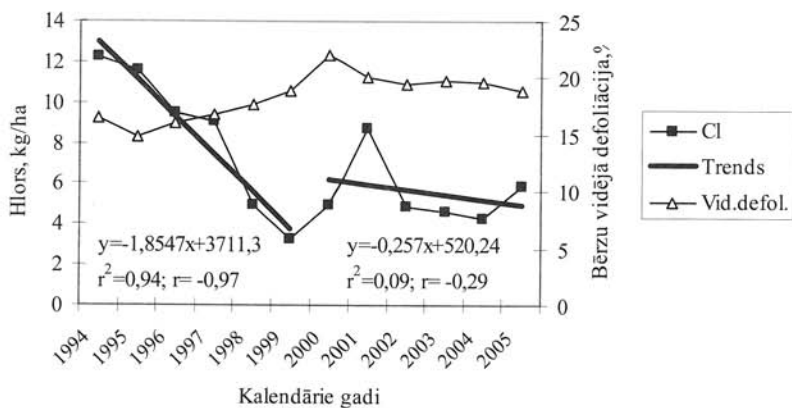
2. attēls. pH skaitlis un bērzu vidējā defoliācija.
Fig. 2. pH number and the average defoliation of birch.



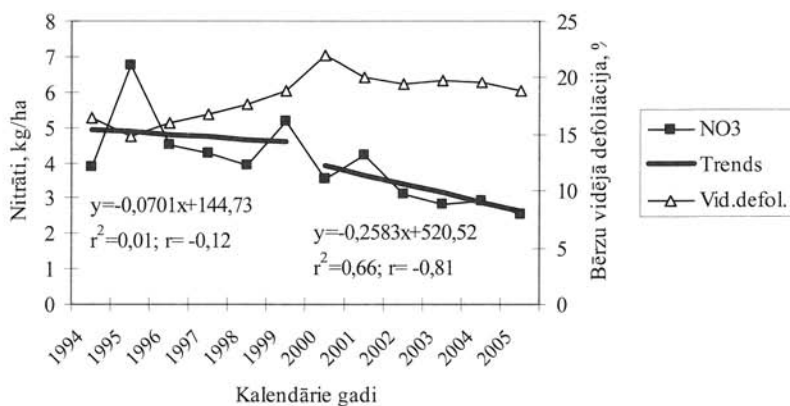
3. attēls. Kalcija (Ca) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
Fig. 3. Deposition of Ca and the average defoliation of birch.



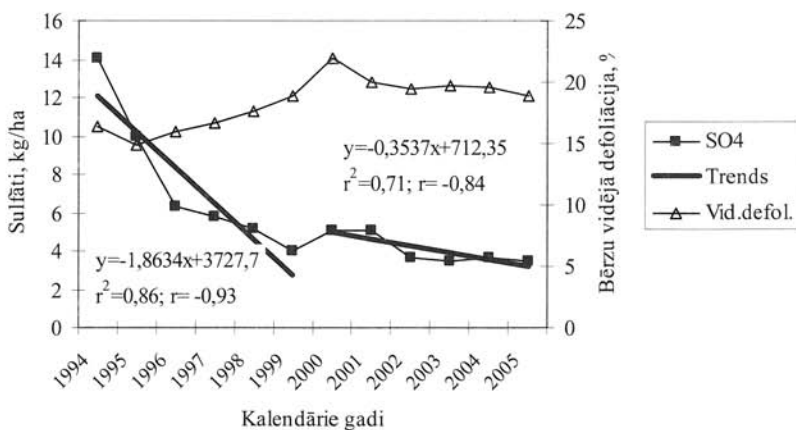
4. attēls. Magnija (Mg) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 4. Deposition of Mg and the average defoliation of birch.



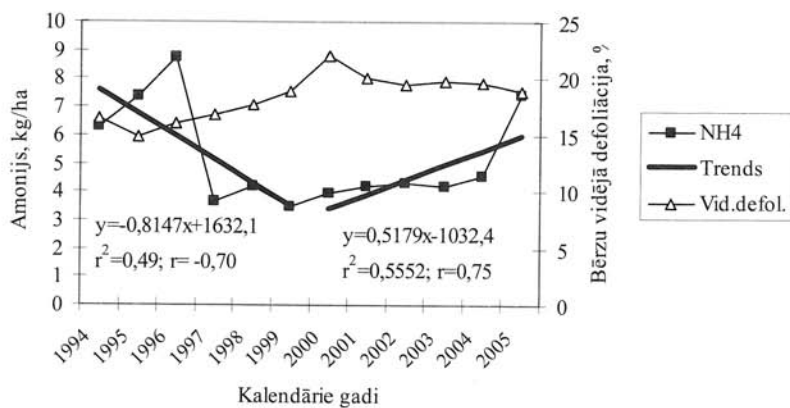
5. attēls. Hlora (Cl) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 5. Deposition of Cl and the average defoliation of birch.



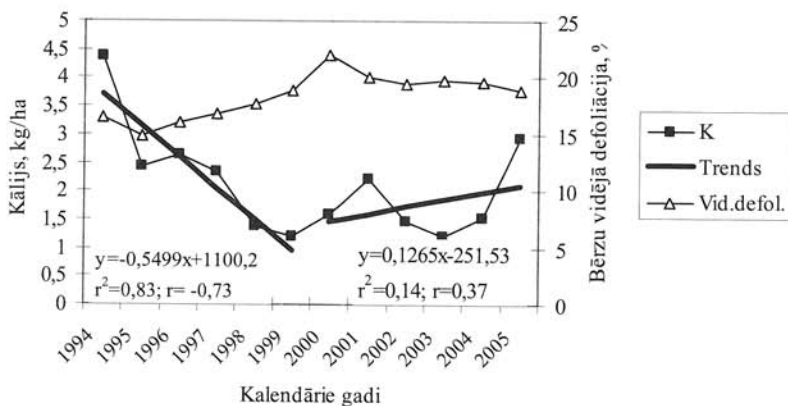
6. attēls. Nitrātu (NO_3) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 6. Deposition of NO_3 and the average defoliation of birch.



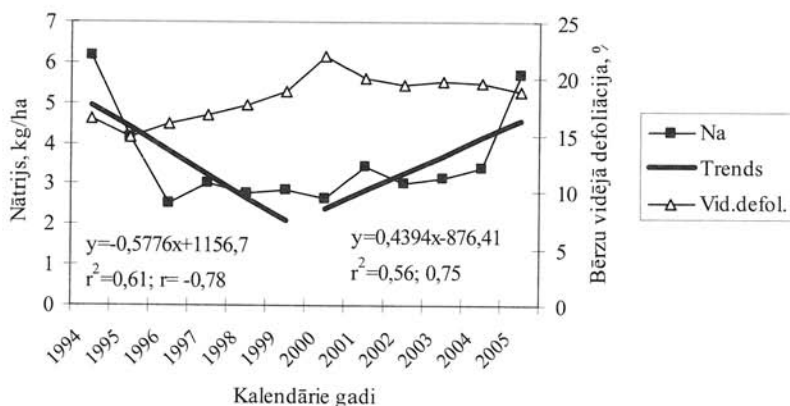
7.attēls. Sulfātu (SO_4) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 7. Deposition of SO_4 and the average defoliation of birch.



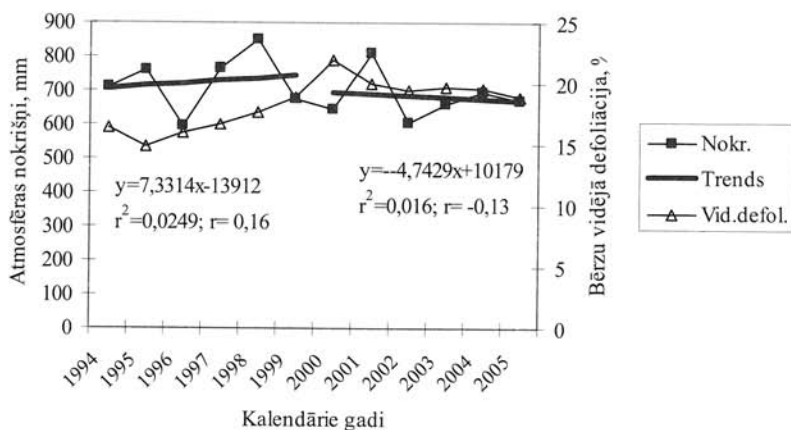
8. attēls. Amonija (NH₄) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 8. Deposition of NH₄ and the average defoliation of birch.



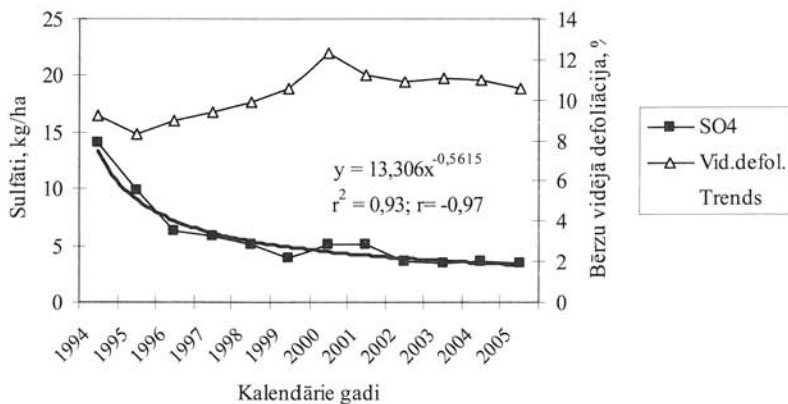
9. attēls. Kālija (K) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 9. Deposition of K and the average defoliation of birch.



10. attēls. Nātrija (Na) nosēdumi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 10. Deposition of Na and the average defoliation of birch.

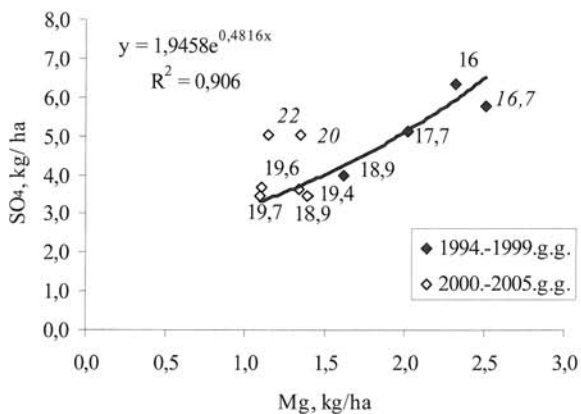


11.attēls. Atmosfēras nokrišņi un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.
 Fig. 11. Atmospheric precipitation and the average defoliation of birch



12. attēls. Sulfātu (SO₄) nosēdumu ilggadējā regresijas līkne un Latvijas bērzu vidējā defoliācija.

Fig. 12. Regression curve for the annual deposition of SO₄ and the average defoliation of birch.



13. attēls. Bērzu audžu vidējā defoliācija saistībā ar Mg un SO₄ atmosfēras nokrišņos.

Fig. 13. Average defoliation of birch vs Mg and SO₄ in atmospheric precipitation.

2. tabula, Table2

Bērzu audžu gada vidējās defoliācijas un atmosfēras mitro nosēdumu laika rindu korelācija 1994.-2005.g.g. periodā ($r_{0,05; 12} = 0,576$)

Correlation between the average annual defoliation of birch and the time series for wet atmospheric precipitation in 1994 – 2005 ($r_{0,05; 12} = 0,576$)

	Vid.defol. Latvijā Average defol.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Nokr., mm Precip., mm
Vid.defol. Latvijā Average defol.	1	-0,56	-0,75	-0,89	-0,73	-0,63	-0,64	-0,60	-0,53	-0,28	-0,22
pH	-0,56	1	0,71	-0,31	0,63	0,20	0,76	0,59	0,72	0,81	-0,01
Ca ²⁺	-0,75	0,71	1	0,68	0,86	0,40	0,85	0,46	0,78	0,48	0,11
Mg ²⁺	-0,89	-0,31	0,68	1	0,63	0,60	0,77	0,25	0,42	-0,27	0,24
Cl ⁻	-0,73	0,63	0,86	0,63	1	0,51	0,85	0,56	0,81	0,47	0,24
NO ₃ ⁻	-0,63	0,20	0,40	0,60	0,51	1	0,48	0,22	0,11	-0,11	0,31
SO ₄ ²⁻	-0,64	0,76	0,85	0,77	0,85	0,48	1	0,42	0,79	0,56	0,21
NH ₄ ⁺	-0,60	0,59	0,46	0,25	0,56	0,22	0,42	1	0,61	0,44	-0,27
K ⁺	-0,53	0,72	0,78	0,42	0,81	0,11	0,79	0,61	1	0,80	0,04
Na ⁺	-0,28	0,81	0,48	-0,27	0,47	-0,11	0,56	0,44	0,80	1	0,08
Nokr., mm Precip., mm	-0,22	-0,01	0,11	0,24	0,24	0,31	0,21	-0,27	0,04	0,08	1

Laika posmā 1994.-1999.g.g. bērzu defoliācijas laika rinda negatīvi korelējusi ar visām atmosfēras mitro nosēdumu vielām un **pH** skaitli, bet būtiski korelējusi ar Mg (-0,91), Cl (-0,88) (3. tabula). Tas liecina, ka pastiprinātu bērzu audžu defoliāciju izraisījusi šo vielu pieplūduma samazināšanās; **pH** skaitlis būtiski pozitīvi korelējis ar Ca (0,86), SO₄ (0,96), un Na (0,90) pieplūdumu augsnē, kura samazināšanās paaugstinājusi lietus un sniega ūdens skābumu, par ko liecina **pH** skaitļa vērtības pazemināšanās no 6,2 līdz 4,9 1994.-1999.g.g. periodā.

3. tabula, Table 3

Bērzu audžu gada vidējās defoliācijas un atmosfēras mitro nosēdumu laika rindu korelācija 1994.-1999.g.g. periodā ($r_{0,05;6} = 0,811$)

Correlation between the average annual defoliation of birch and the time series for wet atmospheric precipitation in 1994 – 1999 ($r_{0,05;6} = 0,811$)

	<i>Vid.def. Latvijā</i>	<i>pH</i>	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	<i>Nokr., mm</i>
<i>Vid.def. Latvijā</i>	1	-0,60	-0,66	-0,91	-0,89	-0,43	-0,60	-0,77	-0,55	-0,36	0,07
<i>pH</i>	-0,60	1	0,86	-0,03	0,76	0,25	0,96	0,55	0,79	0,90	-0,07
Ca^{2+}	-0,66	0,86	1	0,90	0,91	-0,09	0,95	0,57	0,98	0,86	-0,17
Mg^{2+}	-0,91	-0,03	0,90	1	0,95	-0,60	0,91	0,36	0,88	0,05	0,01
Cl^-	-0,89	0,76	0,91	0,95	1	0,16	0,84	0,66	0,86	0,68	-0,14
NO_3^-	-0,43	0,25	-0,09	-0,60	0,16	1	0,05	0,29	-0,21	-0,02	-0,07
SO_4^{2-}	-0,60	0,96	0,95	0,91	0,84	0,05	1	0,47	0,91	0,96	-0,02
NH_4^+	-0,77	0,55	0,57	0,36	0,66	0,29	0,47	1	0,50	0,21	-0,52
K^+	-0,55	0,79	0,98	0,88	0,86	-0,21	0,91	0,50	1	0,84	-0,25
Na^+	-0,36	0,90	0,86	0,05	0,68	-0,02	0,96	0,21	0,84	1	0,06
<i>Nokr., mm</i>	0,07	-0,07	-0,17	0,01	-0,14	-0,07	-0,02	-0,52	-0,25	0,06	1

Laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam bērzu audžu defoliācija būtiski negatīvi korelējusi vienīgi ar **pH** skaitli (-0,96) (4. tabula), bet tas savukārt negatīvi korelējis ar SO_4 (-0,87). Laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam atmosfēras nokrišņu **pH** skaitlis pieaudzis no 4,7 līdz 5,4. Tas nozīmē, ka atmosfēras nokrišņu bāziskuma palielināšanās sekmējusi bērzu audžu defoliācijas samazināšanos.

4. tabula, Table 4

Bērzu audžu gada vidējās defoliācijas un atmosfēras mitro nosēdumu laika rindu korelācija 2000.-2005.g.g. periodā ($r_{0,05;6} = 0,811$)

Correlation between the average annual defoliation of birch and the time series for wet atmospheric precipitation in 2000 – 2005 ($r_{0,05;6} = 0,811$)

	<i>Vid.def. Latvijā</i>	<i>pH</i>	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	<i>Nokr., mm</i>
<i>Vid.def. Latvijā</i>	1	-0,96	-0,49	-0,44	-0,04	0,52	0,77	-0,57	-0,35	-0,63	-0,03
<i>pH</i>	-0,96	1	0,24	0,30	-0,14	-0,71	-0,87	0,68	0,35	0,71	-0,10
Ca^{2+}	-0,49	0,24	1	0,69	0,48	0,30	-0,05	-0,06	0,13	0,01	0,15
Mg^{2+}	-0,44	0,30	0,69	1	0,61	0,12	0,03	0,55	0,77	0,59	0,18
Cl^-	-0,04	-0,14	0,48	0,61	1	0,72	0,58	0,05	0,55	0,19	0,83
NO_3^-	0,52	-0,71	0,30	0,12	0,72	1	0,90	-0,60	-0,05	-0,50	0,65
SO_4^{2-}	0,77	-0,87	-0,05	0,03	0,58	0,90	1	-0,46	0,05	-0,42	0,51
NH_4^+	-0,57	0,68	-0,06	0,55	0,05	-0,60	-0,46	1	0,83	0,98	-0,08
K^+	-0,35	0,35	0,13	0,77	0,55	-0,05	0,05	0,83	1	0,87	0,35
Na^+	-0,63	0,71	0,01	0,59	0,19	-0,50	-0,42	0,98	0,87	1	0,10
<i>Nokr., mm</i>	-0,03	-0,10	0,15	0,18	0,83	0,65	0,51	-0,08	0,35	0,10	1

Latvijas vides kvalitātes rādītāju trenda līnijas

Latvijas vides kvalitāti 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā raksturo 2.-13. attēls. Tajos redzamas bērzu audžu defoliācijas un vides kvalitātes rādītāju vērtības, trenda līnija, regresijas vienādojums, korelācijas un determinācijas koeficienti. Korelācijas koeficienta kritiskā vērtība 6 gadus ilgam pētījumu periodam ir $t_{0,05;6} = 0,81$.

Atmosfēras nokrišņu pH skaitlis pirmā un otrā pētījumu perioda sākumā un beigu gados attiecīgi ir 6,2; 4,9 un 4,7; 5,4 (2. att.). Tas nozīmē, ka laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam **pH** skaitlis samazinājies un nokrišņu skābums pieaudzis, bet pēdējo sešu gadu laikā pretēji – **pH** skaitlis ir palielinājies un nokrišņu skābums samazinājies. Korelācijas koeficientu vērtības abos periodos attiecīgi ir $r = -0,88$ un $0,93$, tātad lielākas par kritisko vērtību un līdz ar to korelācija ir būtiska. Determinācijas koeficienti $r^2 = 0,77$ un $0,86$

rāda, ka pētījumu periodos ar laika faktora lineāro ietekmi skaidrojami 77% un 86% nokrišņu skābuma.

Kalcija saturs atmosfēras nokrišņos abos periodos mainījies robežās 4,0-10,7 un 2,6-6,5 kg/ha gadā (3. att.). Kalcija pieplūduma minimums (2,6 kg/ha) un vienlaicīgi bērzu audžu defoliācijas maksimums (22%) bijis 2000.gadā; 2001.gadā un 2002.gadā kalcija pieplūdums ievērojami palielinājies, sasniedzot attiecīgi 5,8 un 5,6 kg/ha gadā, bet laikā no 2003.gada līdz 2005.gadam - svārstījies šaurās robežās no 3,4 līdz 4,1 kg/ha gadā. Regresijas koeficients rāda, ka kalcija pieplūdums samazinājies un pirmajā periodā bijis 1,22 kg/ha, bet otrajā - tikai 0,08 kg/ha gadā. 1994.-1999.g.g. perioda korelācijas koeficients $r=0,96$ pārsniedz kritisko vērtību un ir būtisks; savukārt determinācijas koeficients $r^2=0,74$ rāda, ka 74% kalcija pieplūduma skaidrojami ar laika faktora lineāro ietekmi. Laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam korelācijas koeficients $r=0,09$ nav būtisks, bet determinācijas koeficients $r^2=0,009$ rāda, ka šajā periodā laika faktora lineārā ietekme uz kalcija pieplūdumu bijusi niecīga - tikai 0,9%.

Kalcija vidējais pieplūdums 1994.-1999.g.g. periodā bijis $6,8 \pm 2,4$ kg/ha gadā, bet no 2000.gada. līdz 2005.gadam - tikai $4,4 \pm 1,5$ kg/ha gadā. Kalcija pieplūduma vidējo lielumu atšķirības apskatītajos periodos nav būtiskas, jo $t=2,12 < t_{0,05;10}=2,23$, tomēr bērzu audžu barošanās režīms krasi izmainījies, par ko liecina ļoti atšķirīgā kalcija korelācija ar bērzu audžu defoliācijas procentu un vides kvalitātes rādītājiem 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā. Šajā laikā kalcija un bērzu audžu defoliācijas procenta korelācijas koeficients attiecīgi bija $-0,66$ un $-0,49$, kas liecina, ka šo rādītāju sakarības ciešums pēdējo sešu gadu laikā ievērojami samazinājies, tātad pazeminājusies kalcija labvēlīgā ietekme uz bērzu audžu barošanās režīmu un vitalitāti (3., 4.tabula). Kā jau minēts, palielināta kalcija koncentrācija sekmē skābuma neitralizēšanos atmosfēras nokrišņos un uzlabo koku nodrošinājumu ar barības vielām. Kalcija un **pH** skaitļa korelācijas koeficientu vērtības 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā bija attiecīgi 0,86 un 0,24, kas rāda, ka pēdējo sešu gadu laikā korelācija starp kalcija daudzumu atmosfēras nokrišņos un to skābumu vairs nav būtiska un ir krasi samazinājusies. Ja zūd efektīva atmosfēras nokrišņu skābuma neitralizēšanās iespēja ar kalciju, reāls ir bērzu mežu apdraudējuma risks nākotnē, jo lietus un sniega ūdens skābuma palielināšanās

veicina bērzu audžu pastiprinātu defoliāciju. Tādēļ bērzu plantācijas finierkluču ieguvei ierīkojamas augsnēs ar pietiekami augstu kalcija saturu.

Pēdējo sešu gadu laikā ievērojami samazinājušies visi kalcija korelācijas koeficienti vides kvalitātes rādītājiem, vairs nesasniedzot būtiskuma novērtēšanas kritisko vērtību $t_{0,05;6} = 0,81$. Šie koeficienti 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā sevišķi atšķirīgi bijuši šādiem vides kvalitātes rādītājiem: SO_4 (0,95 un -0,05), K (0,98 un 0,13), Na (0,86 un 0,01), Mg (0,90 un 0,69), Cl (0,91 un 0,48) (3., 4. tabula). Savukārt Ca un NO_3 korelācijas koeficients palielinājies no -0,09 līdz 0,30.

Magnija daudzums atmosfēras nokrišnos noteikts kopš 1996.gada: tā pieplūdums abos pētījumu periodos mainījies robežās 1,6-2,5 un 1,1-1,4 kg/ha gadā (4. att.). Regresijas koeficients rāda, ka magnija pieplūdums laikā no 1996.gada līdz 1999.gadam samazinājies par 0,26 kg/ha gadā, bet pēdējos sešos gados - palielinājies par 0,008 kg/ha gadā. Korelācijas koeficienta kritiskā vērtība 1996.-1999.g.g. periodā bija $r_{0,05;4} = 0,95$. Korelācijas koeficienti abos periodos attiecīgi bija $r=0,86$ un 0,11. Tie ir mazāki par kritisko vērtību, kas liecina, ka magnija pieplūduma sakarības ciešums ar laika faktoru nav būtisks. Magnija vidējais pieplūdums 1996.-1999.g.g. periodā bijis $2,1 \pm 0,4$ kg/ha gadā, bet laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam - $1,2 \pm 0,1$ kg/ha gadā: šī atšķirība jau ir būtiska, jo $t=4,33 > t_{0,05;8} = 2,31$.

Hlora saturs atmosfēras nokrišnos abos pētījumu periodos mainījies robežās attiecīgi 4,1-15,3 un 4,3-8,7 kg/ha gadā (5. att.). Regresijas koeficientu vērtības rāda, ka hlora pieplūdums pirmajā periodā samazinājies par 1,85 kg/ha gadā, bet otrajā – par 0,26 kg/ha gadā. Korelācijas koeficienti attiecīgi -0,97 un -0,29. Tātad korelācija būtiska ir tikai 1996.-1999.g.g. periodā un determinācijas koeficients $r^2=0,94$ rāda, ka 94% hlora pieplūduma skaidrojami ar laika faktora ietekmi. Pēdējos sešos gados laika faktora ietekme uz hlora pieplūdumu nav būtiska.

Nitrātu pieplūdums 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā svārstījies attiecīgi 3,9-5,2 un 2,5-4,2 kg/ha gadā (6. att.). Atbilstoši regresijas koeficientu vērtībām, pirmajā un otrajā pētījumu perioda laikā nitrātu pieplūdums ir samazinājies un bijis attiecīgi 0,07 un 0,26 kg/ha gadā. Pētījumu periodu korelācijas koeficienti $r=0,12$ un 0,81, kas rāda, ka būtiska nitrātu pieplūduma samazināšanās sākusies

tikai 2000.-2005.g.g., savukārt determinācijas koeficients $r^2=0,66$ liecina, ka 66% nitrātu pieplūduma samazināšanos izraisījusi laika faktora lineārā ietekme.

Nitrātu pieplūduma samazināšanās pēdējos sešos gados norāda uz apkārtējās vides ekoloģiskā stāvokļa izmaiņām. Nitrātu vidējais pieplūdums augsnē ar mitriem nosēdumiem 1994.-1999.g.g. periodā bijis $4,8 \pm 1,1$ kg/ha gadā, bet laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam - samazinājies līdz $3,2 \pm 0,6$ kg/ha gadā. Šo vidējo lielumu atšķirība ir būtiska, jo $t=3,08 > t_{0,05;10}=2,23$.

Sulfātu gada pieplūdums laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam pakāpeniski samazinājies no 14,0 līdz 4,0 kg/ha gadā, bet 2000.-2005.g.g. periodā - izmainījies robežās no 3,4-5,0 kg/ha gadā (7. att.). Regresijas koeficientu vērtības $b=-1,86$ un $-0,35$ rāda, ka šajos laika posmos sulfātu ikgadējā pieplūduma samazināšanās bijusi attiecīgi 1,86 un 0,35 kg/ha gadā. Korelācijas koeficientu vērtības $r=-0,93$ un $-0,84$ pārsniedz kritisko līmeni, tātad sulfātu pieplūduma samazināšanās ir būtiska. Savukārt determinācijas koeficienti $r^2=0,86$ un $0,71$ liecina, ka 86% un 71% sulfātu pieplūduma samazināšanos attiecīgajos periodos izraisījusi laika faktora lineārā ietekme.

Sulfātu vidējais pieplūdums 1994.-1999.g.g periodā bijis $7,5 \pm 3,8$ kg/ha gadā, bet laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam - $4,0 \pm 0,8$ kg/ha gadā. Šī atšķirība ir būtiska, jo $t=2,22 = t_{0,05;10}=2,22$.

Amonija pieplūdums 1994.-1999.g.g samazinājies no 6,3 kg/ha līdz 3,5 kg/ha gadā, bet periodā 2000.-2005.g.g. - palielinājies no 4,0 kg/ha gadā līdz 7,4 kg/ha gadā (8.att.). Regresijas koeficienti $b=-0,82$ un $0,52$ rāda, ka pirmajā pētījumu periodā amonija pieplūdums samazinājies par 0,82 kg/ha, bet otrajā - palielinājies par 0,52 kg/ha gadā. Korelācijas koeficienti $r=-0,70$ un $0,75$ ir mazāki par kritisko vērtību, tādēļ laika faktora lineārā ietekme uz amonija pieplūdumu nav būtiska.

Kālija pieplūdums 1994.-1999.g.g. pakāpeniski samazinājies no 4,4 līdz 1,2 kg/ha gadā, bet no 2000.gada līdz 2005.gadam - svārstījies robežās 1,2-2,9 kg/ha gadā (9. att.). Regresijas koeficienti $b=-0,55$ un $0,13$ liecina, ka laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam kālija pieplūdums samazinājies par 0,55 kg/ha gadā, bet 2000.-2005.g.g. - palielinājies par 0,13 kg/ha gadā. Korelācijas koeficienti $r=-0,73$ un $0,37$ ir mazāki par kritisko vērtību, tātad kālija pieplūduma svārstības nav būtiskas.

Nātrija pieplūdums laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam ir samazinājies, svārstoties robežās 2,5-6,1 kg/ha gadā, bet turpmākajos 6 gados palielinājies no 2,6 līdz 5,7 kg/ha gadā (10.att.). Regresijas koeficienti $b = -0,58$ un $0,44$ liecina, ka pētījumu periodā 1994.-1999.g.g. nātrija ikgadējais pieplūdums samazinājies par 0,58 kg/ha gadā, bet turpmākajos sešos gados - palielinājies par 0,58 kg/ha gadā. Korelācijas koeficienti $r = -0,78$ un $0,75$ ir mazāki par kritisko vērtību, tādēļ nātrija ikgadējā pieplūduma izmaiņas nav būtiskas.

Atmosfēras nokrišņu daudzums laikā no 1994.g. līdz 1999.g. pakāpeniski palielinājies un svārstījies no 595 mm līdz 850 mm gadā (11.att.); 2000.-2005.g.g. periodā atmosfēras nokrišņu daudzums samazinājies un mainījies robežās 604-809 mm gadā. Attiecīgie regresijas koeficienti $b = 7,33$ un $-4,74$ rāda, ka pirmajā pētījumu posmā nokrišņu daudzums palielinājies par 7,33 mm, bet otrajā – samazinājies par 4,74 mm gadā.

Korelācijas koeficienti $r = 0,16$ un $-0,13$ ir mazāki par kritisko vērtību, līdz ar to laika faktora ietekme uz nokrišņu daudzumu gadā nav būtiska.

Atmosfēras nokrišņu vidējais daudzums 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. periodā attiecīgi bijis 726 ± 87 un 681 ± 70 mm gadā: atšķirība nav būtiska, jo $t = 0,97 < t_{0,05;10} = 2,23$. Veiktā analīze ļauj secināt, ka mitro nosēdumu vielu pieplūdumu abos pētījumu periodos nav noteicis atmosfēras nokrišņu daudzums, bet to koncentrācija lietus un sniega ūdeņos.

Laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam bērzu audžu vidējās defoliācijas, atmosfēras nokrišņu **pH** skaitļa un mitro nosēduma vielu korelācija ar atmosfēras nokrišņu daudzumu mainījusies nelielās robežās no 0,07 līdz $-0,25$ (3. tab.). Izņēmums ir NH_4 nosēdumi, kuru korelācijas koeficients $-0,52$. Kopējais korelācijas koeficientu skaits 10, no tiem 7 ir negatīvi. Laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam negatīvi bijuši tikai 3 korelācijas koeficienti, kuru vērtības mainījušās plašās robežās - no $-0,10$ līdz $0,83$. Vides kvalitātes izmaiņas abos pētījumu periodos labi raksturo attiecīgo korelācijas koeficientu atšķirības, no kurām visizteiktākās ir: Cl ($-0,14$ un $0,83$), NO_3 ($-0,07$ un $0,65$), SO_4 ($-0,02$ un $0,51$) (3., 4. tab.). Pozitīvo korelācijas koeficientu skaita un to vērtības ievērojama palielināšanās pēdējo sešu gadu laikā liecina, ka atmosfēras piesārņojuma vielu koncentrācija Eiropas kontinentā izlīdzinās un

līdz ar to palielinās šo vielu pieplūduma korelācijas ciešums ar atmosfēras nokrišņu daudzumu. Šo procesu sekmē mitro nosēduma vielu pieplūdes ievērojama samazināšanās 1994.-1999.g.g. periodā, ko rāda trenda līnijas (2.-10.att.), kā arī aktīvā atmosfēras cirkulācija. Mežaudžu barošanās režīma izmaiņu dinamiku uzskatāmi atspoguļo sulfātu pieplūduma trenda līkne (12.att.). Tās vienādojuma korelācijas koeficients $r=0,97$ liecina par sēra pieplūduma ciešo saistību ar laika faktoru, bet determinācijas koeficients $r^2=0,93$ rāda, ka 93% no SO_4 pieplūduma skaidrojami ar laika faktora lineāro ietekmi.

Ekoloģiskā situācija Eiropā un Latvijas bērzu mežu vitalitāte

Zinātniskā pamatojuma izstrādāšanai bērzu plantācijas tipa kultūru ierīkošanai lauksaimniecībai nepiemērotās platībās nepieciešami pētījumi par pārrobežas atmosfēras piesārņojuma un edafisko faktoru ietekmi uz bērzu audžu vitalitāti.

Pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados Eiropā, ASV un Kanādā sākās mežu masveida kalšana, kas strauji progresēja turpmākajos gadu desmitos un ko skaidroja ar tehnogēno vielu koncentrācijas pieaugumu atmosfērā lielajos rūpniecības centros, kā arī ar automobiļu kustības intensitātes straujo palielināšanos, kas Vācijā 30 gadu laikā izraisīja nitrātu koncentrācijas palielināšanos gaisā par 30%.

Latvijā 2000.gadā tika novērota krasa bērzu audžu defoliācijas palielināšanās. Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos tās vidējais lielums, kā jau minēts, 1994.-1999.g.g. un 2000.-2005.g.g. bija attiecīgi 16,9% un 19,9% un atšķirība pie $\alpha=0,05$ ir būtiska. Korelācijas analīze liecina, ka laikā no 1994.gada līdz 2005.gadam (12 gadi) bērzu audžu defoliāciju būtiski pastiprinājis Ca, Mg, Cl, NO_3 , SO_4 , NH_4 un Na mitro nosēdumu samazināts pieplūdums augsnē (2. tab.).

Korelācijas analīzes rezultāti ļauj secināt, ka Eiropā un Latvijā būtiski mainījusies ekoloģiskā situācija. Pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados mežu pastiprinātu kalšanu globālā mērogā izraisīja tehnogēno vielu palielināts pieplūdums augsnē; savukārt bērzu audžu vitalitāti tagad nelabvēlīgi ietekmē mitro nosēduma vielu samazināšanās atmosfēras nokrišņos, kas rada šo vielu deficītu augsnē.

Pagājušā gadsimta astoņdesmitajos gados un deviņdesmito gadu sākumā bērzu audzēm nepieciešamo barības vielu līdzsvaru acīmredzot izmainīja palielināts SO_4 pieplūdums ar atmosfēras nokrišņiem, kas sekmēja barības vielu izskalošanos no sakņu aktīvās darbības zonas un sevišķi nelabvēlīgi ietekmēja priežu audžu vitalitāti. Reģionālā meža monitoringa parauglaukumos konstatēts, ka priedes vidējā defoliācija 1990., 1991., 1992. un 1993.g.g. bijusi attiecīgi 30,0, 31,4, 33,2, un 29,9%. Turpmākajos gados priežu audžu defoliācijas procents samazinājies. Autora pētījumu un aprēķinu dati liecina, ka defoliācijas procenta un sulfātu pieplūduma korelācijas koeficients $r=0,98$ un determinācijas koeficients $r^2=0,9617$ rāda, ka 96,17% priežu vidējās defoliācijas skaidrojami ar sulfātu pieplūduma ietekmi, ja defoliācijas procents svārstās robežās no 33,2% līdz 22,9% (1999.gadā) (Špalte, 2002).

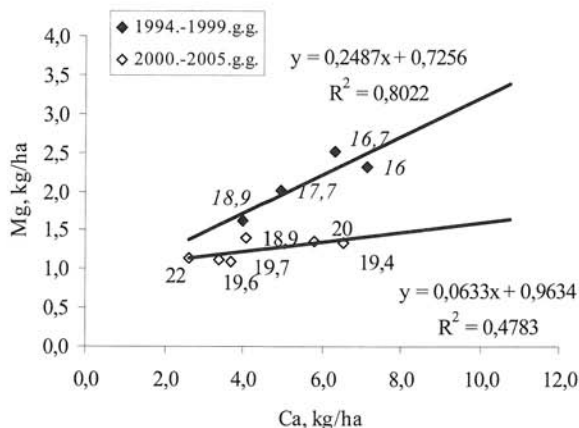
Sulfātu pieplūduma dinamiku laikā no 1994.gada līdz 2005.gadam rāda regresijas līkne (12.att.). Tās korelācijas koeficients $r=-0,97$; determinācijas koeficients $r^2=0,93$, kas liecina, ka 12 gadus ilgajā pētījumu periodā 93% sulfātu daudzuma atmosfēras nokrišņos skaidrojami ar laika faktora, bet atlikušie 7% - ar fona ietekmi. Spontāns un ievērojams SO_4 pieplūduma samazinājums 1991.g. un 1992.g. - no 33,2% uz 29,9% - un pastāvīgs tā kritums līdz pētījumu perioda beigām (2005.g.) skaidrojams vienīgi ar atmosfēras cirkulācijas izmaiņām. Tādēļ var secināt, ka 1992.gadā beigusies ciklonu virzība no Arktikas uz Eiropu un sākusies to pārvietošanās rietumu-austrumu virzienā pa trajektoriju, kas bieži atrodas virs Atlantijas okeāna. Šis process Eiropā, kā jau minēts, sekmē kontinentālā un jūras gaisa apmaiņu, pazeminot piesārņojuma vielu koncentrāciju atmosfērā un to pieplūdumu augsnē, kā ietekmē pazeminās katjonu (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH^+ , Na^+) spēja neitralizēt atmosfēras nokrišņu skābumu, kas laika gaitā turpina pazemināties. Tā rezultātā pasliktinās koku barošanās režīms un audžu vitalitāte, kā arī pastiprinās audžu defoliācija. Pirmā pētījumu perioda laikā **pH** skaitlis samazinājies no 6,2 līdz 4,9, savukārt defoliācija palielinājusies no 16,4% līdz 18,9%.

Trenda līnijas 2000.-2005.g.g. pētījumu periodā rāda, ka **pH** skaitļa vērtības palielinājušās, Ca, Mg un Cl pieplūdums mainījies maz, bet būtiski samazinājies SO_4 un NO_3 pieplūdums, toties atmosfēras nokrišņos palielinājies NH_4 , K un Na daudzums. No tā varam secināt, ka ilgstoša mitro nosēduma vielu pieplūduma

samazināšanās atšķirīgi ietekmē dažādu vides kvalitātes rādītāju dinamiku, un tādēļ pastiprināti mainās koku barošanās režīms. Tā rezultātā bērzu audžu defoliācija būtiski negatīvi korelē vienīgi ar pH skaitli (-0,96), kas savukārt būtiski negatīvi korelē ar SO_4 (-0,87).

Ca korelācija ar **pH** skaitli 1994.-1999.g.g. un 2002.-2005.g.g. periodos bija attiecīgi 0,86 un 0,24, kas liecina, ka kalcija spēja neitralizēt atmosfēras nokrišņu skābumu vairs nav būtiska, un, palielinoties SO_4 daudzumam atmosfēras nokrišņos, rada ievērojamu bērzu audžu defoliācijas strauja pieauguma risku. To uzskatāmi apliecina arī empīriskā materiāla analīze, veicot bērzu audžu vidējās defoliācijas izvērtēšanu saistībā ar SO_4 un Mg nosēdumu daudzumu atmosfēras nokrišņos (13.att.). Multiplās regresijas koeficients r^2 rāda, ka 90,6% bērzu vidējās defoliācijas izkliedes skaidrojami ar SO_4 un Mg multiplo lineāro izkliedi, bet pārējie 9,4% - atbilst fona ietekmei. No līknes uz augšu attālinās defoliācijas procenta maksimālās vērtības, attiecīgi 22% un 20%. Redzams, ka bērzu audžu vidējā defoliācija jūtami palielinājusies gados, kad SO_4 mitro nosēdumu daudzums bijis ievērojami lielāks par regresijas līknes vērtību pie attiecīga Mg mitro nosēdumu daudzuma.

Kalcija spēju pazemināt bērzu audžu defoliāciju pēdējo sešu gadu laikā pavājinājusi magnija daudzuma būtiska samazināšanās atmosfēras nokrišņos (14.att.).



14.attēls. Bērzu audžu vidējā defoliācija saistībā ar Ca un Mg atmosfēras nokrišņos.

Fig. 14. Average defoliation of birch vs Ca and Mg in atmospheric precipitation.

Attēlos redzamās regresijas līnijas un bērzu audžu vidējās defoliācijas dati rāda, ka pie vienāda kalcija daudzuma atmosfēras nokrišņos bērzu vidējā defoliācija 2000.-2001.g.g. periodā bijusi augstāka nekā laikā no 1994.gada līdz 1999.gadam.

Kalcija pieplūduma un bērzu audžu defoliācijas svārstības vairumā gadījumu ir asinhronas, jo pastiprināts kalcija pieplūdums defoliāciju samazina, bet tā samazināšanās defoliāciju pastiprina. Tāda pati likumsakarība izpaužas, izvērtējot bērzu audžu defoliāciju saistībā ar atmosfēras nokrišņu skābumu. Bērzu audžu augstais jutīgums pret kalcija pieplūduma un atmosfēras nokrišņu skābuma svārstībām ļauj secināt, ka daudzviet šo audžu augsnes nesatur pietiekamā daudzumā kalciju.

Trešais attēls (3.att.) rāda, ka 2000.gadā vienlaicīgi bijis kalcija pieplūduma minimums un bērzu defoliācijas maksimums (22%). Turklāt šajā gadā arī atmosfēras nokrišņu skābums sasniedzis maksimumu, jo **pH** skaitļa vērtība bijusi minimāla – 4,7 (2. att.), kuru kalcija niecīgais saturs lietūs un sniega ūdenī nav spējis neutralizēt. Varam secināt, ka bērzu audžu defoliācijas krasu palielināšanos 1999.gada un 2000.gada laikā - no 18,9% uz 22% - izraisījušas nelabvēlīgās Ca, Mg un SO₄ daudzuma attiecības atmosfēras nokrišņos, taču nav izslēgta arī vēl citu faktoru negatīvā ietekme, piem., minētajā laikā bijis pazemināts Mg un NO₃ pieplūdums augsnē ar atmosfēras nokrišņiem (3., 6. att.).

Secinājumi

Latvijā egļu un bērzu audžu defoliācija 2000.gadā krasi palielinājusies un laikā no 2000.gada līdz 2005.gadam bijusi būtiski augstāka nekā 1994.-1999.g.g. periodā.

Korelācijas un regresijas analīzes rezultāti liecina, ka bērzu audžu pastiprinātu defoliāciju 1994.-2005.g.g. periodā izraisījusi kalcija, magnija, hlora, nitrātu un sulfātu daudzuma ievērojama samazināšanās atmosfēras nokrišņos un līdz ar to arī pieplūdums augsnē ar mitriem nosēdumiem, kā rezultātā pasliktinājies koku nodrošinājums ar minētajām barības vielām.

Laika posmā no 1994.gada līdz 1999.gadam bērzu audžu defoliācija negatīvi korelējusi ar visām iepriekšminētajām mitro nosēdumu vielām un augsnes skābuma **pH** skaitli, bet 2000.-

2005.g.g. periodā vairs tikai ar **pH** skaitli, kas savukārt negatīvi korelējis ar sulfātu daudzumu atmosfēras nokrišņos, kuri joprojām būtiski pazeminās.

Iepriekš minētais liecina par apkārtējās vides ekoloģiskā stāvokļa izmaiņām, kuras izraisījusi mitro nosēduma vielu un it sevišķi kalcija daudzuma ievērojama samazināšanās atmosfēras nokrišņos. Tā rezultātā kalcija daudzums atmosfēras nokrišņos vairs nenodrošina lietūs un sniega ūdens skābuma neitralizāciju, ko pēdējo sešu gadu laikā nosaka galvenokārt sulfātu daudzums, kas joprojām būtiski pazeminās.

Veiktā analīze ļauj izdarīt šādus secinājumus:

1. Bērzu audzēs pastāv barības vielu deficīts, kura novēršanā svarīga nozīme ir atmosfēras mitro nosēduma vielu pieplūdamam.

2. Pēdējo sešu gadu laikā atmosfēras mitro nosēduma vielu pieplūdums būtiski samazinājies, negatīvi ietekmējot koku barošanās režīmu; savukārt kalcija deficīts vairs nenodrošina lietūs un sniega ūdens skābuma neitralizēšanu.

3. Laika posmā 2000.-2005.g.g. atmosfēras nokrišņos būtiski samazinājies Mg daudzums, kā rezultātā Ca un SO₄ ietekmē pastiprinājusies bērzu audžu defoliācija, kas tagad ir augstāka nekā 1994.-1999.g.g.

4. 2000.-2005.g.g. periodā atmosfēras nokrišņu skābumu būtiski ietekmējis tikai sulfātu daudzums lietūs un sniega ūdenī, kas joprojām turpina samazināties.

5. Pašreizējais ekoloģiskais stāvoklis rada bērzu audžu defoliācijas ievērojama pieauguma risku, jo, palielinoties atmosfēras nokrišņu skābumam, sagaidāms šo audžu defoliācijas ievērojams pieaugums. To apliecina arī empīriskā materiāla analīze, kuras rezultātā konstatēts, ka sulfātu daudzuma ievērojams pieaugums un kalcija daudzuma minimums bijuši galvenie faktori, kas izraisījuši bērzu audžu defoliācijas krasu palielināšanos 2000. gadā.

Veiktā pētījuma rezultāti liecina, ka mežaudžu vitalitātes saglabāšanas pasākumu izstrādāšanai nepieciešama detālāka ekoloģiskā stāvokļa izmaiņu izpēte.

Pateicība

Raksta autors pateicas par sniegto informāciju Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras vadītājam A.Leitasam un VMD Vides aizsardzības daļas Meža monitoringa sektora vadītājam I.Zadeikai.

Literatūra

- Freiherr L. 1984. Schutz der Walden von Immisionschaden. Tätigkeit des Umweltbundesamtes "Forst und Holzw.", 39, Nr. 16: 379-382.
- Hamerak K. 1985. Rettet die Entschwefelung unsere Walder? Zielkonflikt zwischen Wachstum und Lebensqualität. Teil 3, "Techn. Heute", 38, Nr. 4: 46-50.
- Kurzmeier D. 2002. Lehrer aus den Windwürfen von 1990. "AFZ/ Wald", 57, Nr. 12: 600-601.
- Matzner E., Ulrich B. 1985. "Waldsterben": Our dying forests. Part. II. Implication of the chemical soil conditions for forest decline. "Experientia", 41, Nr.5: 578-584.
- Mežals G. Meža augšnes zinātne. Zvaigzne, Rīga. 1980, 169 lpp.
- Programmreport Walschadensforschung. Der Bundesminister für Forschung und Technologie. Bonn, Mai, 1990, 39S.
- Špalte E. 1994.Vides piesārņojums un Latvijas meži. "Mežzinātne", 4(37)'94.: 35-49.
- Špalte E. 2002. Latvijas vides kvalitāte un priežu audžu vitalitāte. LLU Raksti, Nr. 5(300): 25-33.
- Špalte E. 2005. Latvijas egļu mežu apsaimniekošanas stratēģija ilgstoša vides globālā piesārņojuma apstākļos. Baltijas koks, Nr. 4(60): 48-49.
- Süß M. 2000. Chacer für Berater, Waldbauer und Jäger. "Unser Wald", 52, Nr. 3: 24-25.
- Svarāns I. Zāģbaļķu un zāģmateriālu brāķēšana. LVI, Rīga, 1958, 118 lpp.
- Tomsone I. 2006. Lauksaimniecībā neizmantotā zeme – 363505 hektāri. Latvijas Avīze, 2. maijs,
- VHP VKNN. Pārskats par vides kvalitāti Latvijā 2000. gadā. Rīga, 2001., 80 lpp.
- VHP VKNN. Vides piesārņojuma stāvoklis Latvijas Republikā 1993. gadā. Rīga, 1994., 70 lpp.
- VHP VKNN. Vides piesārņojuma stāvoklis Latvijas Republikā 1996. gadā. Rīga, 1994., 68 lpp.