

Meža resursu ilgtspējīgas apsaimniekošanas plānošanas lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēma

Aktivitāte

1. Mežsaimniecības risku vadības sistēmas programmas prototipa izstrāde

Apakšaktivitāte

1.1. Klimata globālo izmaiņu ietekmes fakta konstatēšana uz mežaudžu produktivitāti

Jelgava 2013

Ievads

ANO Starpvaldību klimata izmaiņu paneļa (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) Piektā ziņojuma materiālos, kas publicēti 2013. gada oktobrī, atkārtoti uzsvērts, ka, sākot ar pagājušā gadsimta piecdesmitajiem gadiem, notiek klimatisko faktoru būtiskas izmaiņas¹. Ar augstu varbūtību paredzams, ka tām ir stabils trends un vismaz tuvāko gadu desmitu laikā šis process turpināsies. Klimata arhīvu datu, visu planētu aptverošu novērojumu rezultātu, teorētisku pētījumu un klimata globālās un reģionālās dinamikas simulācijas modeļu analīze ar augstu varbūtību liecina par labu hipotēzei, atbilstoši kurai nākotnē turpināsies siltumnīcas efektu izraisošo gāzu koncentrācijas palielināšanās atmosfērā, globālās temperatūras paaugstināšanās, nokrišņu daudzuma un sadalījuma u.c. globāla un lokāla mēroga procesu izmaiņas. Piektajā ziņojumā kā īpaši nozīmīga uzsvērtā antropogēnās ietekmes dominējošā loma klimata izmaiņu izraisīšanā. Līdzīgas atziņas kā IPCC pauž daudzas citas starptautiskas organizācijas. Kā nozīmīgāko minēsim Eiropas Vides aģentūru (European Environmental Agency – EEA)². Tāpēc ar lielu ticamību ir jārēķinās ar to, ka jau vairākus gadu desmitus notiek un arī tuvākajā un tālākajā nākotnē turpināsies trendāli procesi planetārajā klimata sistēmā, kas būtiski ietekmē visas biosfēras ekosistēmas. Svarīgākais ir tas, ka klimatisko faktoru dinamikas ietekme uz dažādam ekosistēmām un atšķirīgos ģeogrāfiskos reģionos izpaužas specifiski, tādējādi nosakot lokālu pētījumu nepieciešamību.

Visreljefāk sacītais attiecas uz mežu ekosistēmām, kas, no vienas puses, ir planētas ekoloģiskā nodrošinājuma un stabilitātes pamats un, no otras puses, - svarīgas tautsaimniecības nozares objekts. Kā, pieņemot Eiropas Savienības jauno Mežu stratēģiju (EU Forest Strategy, 20.09.2013), norādījis ES Lauksaimniecības un lauku attīstības komisārs Daciāns Ciolos (Dacian Cioloș), „meži ir galvenās ekosistēmas, kā arī avots bagātības un darbavietu radīšanai lauku apvidos, ja tie tiek pārvaldīti atbilstošā veidā. Ilgtspējīga meža apsaimniekošana, nodrošinot mežu aizsardzību, ir galvenais pīlārs lauku attīstībai, un tas ir viens no jaunās Meža stratēģijas principiem”³.

Uz mūsu planētas meži aizņem 3,95 miljardi ha jeb apmēram 30% no kopējās sauszemes teritorijas⁴. Procentuāli ES šīs bagātības ir vairāk: meži vien sastāda 155 miljoni ha, krūmāji u.c. meža zemēm pielīdzinātas platības (woodland) – 21 miljonu ha, kas kopā sastāda 42%. Tās ir

¹ <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UoEWrPISjpU>

² [EEA.europa.eu](http://eea.europa.eu)

³ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-850_en.htm

⁴ (<http://www.fao.org/forestry/fra2005>)

ievērojami lielas teritorijas. Tāpēc to nozīme pārējo Zemes ekosistēmu pastāvēšanā ir noteicoša⁵. No tā kļūst saprotamas pasaules sabiedrības arvien pieaugošās rūpes par mežu pašreizējo stāvokli, to atsaucis reakcijas raksturu un lielumu klimata izmaiņām un šīs atsaucis regulēšanas iespējām, izmantojot meža apsaimniekošanas paņēmienus. Šeit ir runa par mežu dabiskās un antropogēnās adaptācijas procesa izpēti un tādu praktisko ieteikumu izstrādi, kas mazinātu klimatisko faktoru nelabvēlīgās ietekmes efektu⁶. Šajā jomā ES paredz attīstīt rindu visaptverošu pasākumu: prognozēt sagaidāmās klimata izmaiņas; paredzēt atsevišķu reģionu un sektoru šodienas un nākotnes ievainojamību; izstrādāt nacionālās un transnacionālo adaptācijas stratēģiju; veikt adaptācijas pētījumus, noskaidrojot adaptācijas nosacījumus un plānošanas atbalsta līdzekļus. Jāatzīmē, ka lielākā daļa šo pasākumu jau ir uzsākti kā dažādu ES fondu finansiālais atbalsts pētniecisko projektu īstenošanai. Iepriekšējās desmitgadēs iegūtas vispusīgas zināšanas, izstrādājot klimata izmaiņu simulācijas modeļus, uz kuru pamata sastādītas klimata attīstības scenāriju prognozes, kas vairumā gadījumu ir gan patiesi biedējošas, gan arī mazvarbūtīgas. Šobrīd valda uzskats, atbilstoši kuram Eiropas ziemeļu reģionos sagaidāma meža produktivitātes pakāpeniska paaugstināšanās, bet Eiropas dienvidu daļā – samazināšanās nepietiekamā mitruma dēļ⁷. Šo prognožu gaismā Latvijas teritorija atrodas labvēlīgo pārmaiņu zonā. Taču. Taču tas attiecas tikai uz mežu produktivitāti.

Produktivitāte nav vienīgais noteicošais meža ekosistēmas izdzīvošanas rādītājs. Nereti augstas produktivitātes mežaudzes nīkuļo vai pat aiziet bojā kaitēkļu, slimību, ugunsgrēku, vēja, pārmērīga mitruma vai tā trūkuma, nesaprātīgas apsaimniekošanas un dažādu citu, dažkārt pat negaidītu iedarbību dēļ. It īpaši tas sakāms par jaunaudzēm. Temperatūras un nokrišņu ekstrēmi būtiski modificē audžu normālo augšanas gaitu, krājas pieaugumu un atmirumu ieskaitot. Meža veselības stāvoklis vienmēr ir bijis un būs mežkopju uzmanības centrā kā iespēja paaugstināt ne tikai meža vērtību, bet arī tā noturību dažādām nelabvēlīgām ietekmēm, arī tām, kas varētu iestāties klimata trendālo izmaiņu rezultātā. Tāpēc mežsaimniecības risku un to vadības iespēju apzināšanā meža aizsardzības tematikai ierādīta nozīmīga vieta.

Kā audžu produktivitāte, tā meža veselība ir būtiski atkarīga no bioloģiskās daudzveidības, kas nodrošina biosfēras evolūcijas gaitā iedibināto kārtību mežā. Šis līdzsvars uzskatāms par labāko, kāds izveidojies meža biotas un abiotiskās vides attiecībās. Mainoties tik nozīmīgam abiotiskās vides komponentam kā klimatiskie apstākļi, nenovēršamām pārmaiņām jāseko arī dzīvo organisku attiecībās. Jau šodienas dati liecina par dienvidu reģionu sugu invāziju un iedzīvošanos ziemeļu virzienā. Kā uzskatāmu piemēru var minēt zirgkastaņas raibkodi (*Aesculus hippocastanum*), kas pirmo reizi konstatēta 1985. gadā Maķedonijā un kopš tā laika

⁵ <http://ec.europa.eu/agriculture/forest/>

⁶ <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

⁷ http://climate-adapt.eea.europa.eu/viewacitem?acitem_id=377

strauji izplatās visā Eiropā, 2004. gadā sasniedzot Latvijas teritoriju. Tagad šis tauriņš sastopama masveidā visā mūsu valsts teritorijā⁶.

Mežsaimniecības risku vadības iespēju izpēte ir komplekss uzdevums, kas prasa starpdisciplināru risinājumu ar plašu novērojumu materiāla analīzi. Tematiski tā attiecināma pat uz diviem no sešiem Latvijas zinātnes prioritārajiem virzieniem, ko LR MK 12.11.2013. apstiprinājis laika posmam no 2014. - 2017. gadam. Šie virzieni formulēti sekojoši: *Vide, klimats un enerģija un Vietējo resursu izpēte un ilgtspējīga izmantošana*^{9,10}.

Sakarā ar klimata izmaiņu pētniecības tematikas starpdisciplināro raksturu jāatzīmē, ka ERAF projektā nav iekļauta klimata sistēmas turpmākās dinamikas paredzēšana un analīze. Nākotnes klimata prognozes un to dažādo, dažkārt pat ļoti atšķirīgo attīstības scenāriju izstrāde un pamatojums ir meteorologu kompetencē. Mežkopju uzdevums ir noskaidrot, kāda būs meža atsaucē reakcija tāda vai cita klimata scenārija īstenošanās gadījumā. Šajā projektā atsaucē reakcija vērtēta trīs aspektos – kokaudžu produktivitātes, jaunaudžu veselības un dabisko meža biotopu bioloģiskās daudzveidības izmaiņu kontekstā.

1.1. Klimata globālo izmaiņu ietekmes fakta konstatēšana uz mežaudžu produktivitāti

Zinātniskajā literatūrā sastopami atšķirīgi viedokļi par audžu augšanas gaitas izmaiņām pēdējo desmitgadu laikā. Ir pētījumi, kas liecina par produktivitātes trendālu uzlabošanos. Šīs atziņas skaidrojums iespējams dažāds. Vieni to saista ar temperatūras paaugstināšanos, kas pakāpeniski kļūst labvēlīgākas koksnes veidošanās procesiem. Šāda interpretācija ir ļoti iespējama, it īpaši, ja ir runa par attiecīgās koku sugas atsaucē novērojumiem tās izplatības areāla ziemeļu robežas apgabalos. Attiecībā uz mūsu mežus veidojošām koku sugām – priedi, egli, kārpaino un pūkaino bērzu, apsi, melnalksni, baltalksni, ozolu un osi Latvijas teritorija šiem apgabaliem nepieder, jo atrodas tuvu optimuma zonai V. Šelforda ekoloģiskās tolerances likumā. Arī doma par to, ka produktivitātes paaugstināšanās pamatā ir oglekļa dioksīda koncentrācijas nemitīga un pieaugoša palielināšanās planētas atmosfērā, nav neapgāžami pierādīta. Mežsaimniecības prakses darbinieku vērojumi par koku augstuma un caurmēra pieauguma uzlabošanos nereti ir tieši saistīti ar vietas hidroloģiskā režīma izmaiņām platību nosusināšanas rezultātā. Līdzīgi secinājumi, kas iegūti augstajos purvos, arī var būt attālās nosusināšanas vai arī gaisa piesārņojumā esošo un vēja atnesto minerālās barošanās elementu ietekmes atspulgs. Pretēji sacītajam par meža pieauguma uzlabošanos publicētas atziņas par tā samazināšanos. Vispārzināma šī patiesība ir attiecībā uz osi. Arī ozols Latvijas austrumu reģionā

⁶ <http://www.dabasmuzejs.gov.lv/krajuma-popularizesana/zirgkasta-u-raibkode-cameraria-ohridella>

(uz austrumiem no līnijas Rīga – Bauska uzrāda panīkuma pazīmes (Matisons et al., 2013). Līdzīga situācija novērota arī Zviedrijā, Somijā un citviet Eiropā (Drobyshev et al., 2007). Daļa autoru uzskata, ka tā ir klimatisko faktoru un patogēno sēņu kompleksas iedarbības izpausme (Jung et al., 2000). Literatūras analīze pieļauj secinājumu, ka biosfērā notiek trendālas abiotiskās un biotiskās vides faktoru izmaiņas un ka tām seko vērienīga mežaudžu atsaucē reakcija, kas rakstura un intensitātes ziņā ir dažāda un ir atkarīga no koku sugas, augšanas vietas un audzes specifikas.

Kāda ir šī situācija Latvijas teritorijā? Audzes produktivitāte pētīta, pamatojoties uz dendroindikatīvo metodi. Par produktivitātes kritēriju izmantoti dinamiskie audžu taksācijas rādītāji – vidējais gadskārtas platums, krājas tekošais faktiskais pieaugums, krājas kumulatīvais un ikgadējais papildus pieaugums, kas katrs savā veidā atsedz vides komplekso izmaiņu ietekmi uz koksnes veidošanās intensitāti.

1.1.1. Pētījuma materiāli un lauka metodika

Pētījuma materiāls satur divas daļas – empīriskie dati, kas darba grupas dalībnieku pašrocīgi ievākti lauka mērījumos, un klimatiskā informācija, kas iegūta Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā (LVĢMC), ievērojot nosacījumu, ka meteoroloģiskie dati var nebūt adekvāti, ja audzes attālums līdz meteoroloģisko novērojumu punktam ir lielāks par 30 km. Parauglaukumi ierīkoti priežu un egļu audzēs Rietumu un Austrumu reģionu teritorijās. Kopskaitā novērtētas 48 parauglaukumu audzes, to skaita sadalījums: priede – 17 un egle – 31. Jāatzīmē, ka Vidzemes katrā parauglaukumā priedes un egles meža elementu uzskaites koki urbti vienā un tanī pašā platībā. Taču to skaits ir pietiekošs divu atsevišķu darba matricu sastādīšanai. Tāpēc faktiskais vērtēto uzskaites vienību (parauglaukumu) skaits ir lielāks par 1.1. un 1.2. tabulās uzrādīto. Tas darīts apzināti, lai tādējādi radītu iespēju abu sugu gadskārtu platuma dinamikas analīzi veikt kokiem, kas auguši vienos un tanīs pat augšanas nosacījumos. Pēc vecuma audzes attiecināmas uz plašu intervālu – sākot ar vidēja vecuma un beidzot ar pāraugušām audzēm. Meža tipoloģijas kontekstā pārstāvētas abas meža ekoloģiskās grupas un visas edafiskās rindas (1.1. un 1.2. tab.). Vēl kā parauglaukumu izvietojuma īpatnība jānorāda to koncentrācija Kurzemes reģionā. Šāda uzskaites vienību izvietojuma izvēle pamatota ar to, ka projekta izpildes gaitā izstrādātie metodiskie risinājumi izmantoti meža ekoloģijas teorētisko jautājumu padziļinātai pētīšanai, proti, vides izmaiņu ietekmes teritoriālai novērtēšanai visā Kurzemes reģionā (13000 km²). Uz šīs informācijas pamata izstrādāts LLU Mežkopības katedras doktoranta Oskara Zaļkalna promocijas darbs *Parastās egles (Picea abies (L.) Karst.) augšanas gaitas izmaiņu dendroindikatīvais vērtējums Kurzemē*, kas atskaites noformēšanas laikā atrodas promocijas procesā.

Lauka mērījumi veikti Kurzemē, Zemgalē, Vidzemē un Latgalē, ierīkojot un uzmērot īslaicīgos parauglaukumus. Darba apjomu un vispārējo raksturojumu atsedz 1.1. un 1.2. tabulas.

Parauglaukumu atrašanās vietas raksturojums

PL nr.	Reģions	Novads	Koordinātes		PL platība, ha
			X	Y	
PLK_1	Kurzeme	Skrundas	387002.8	6286165.2	0.1200
PLK_2	Kurzeme	Skrundas	381528.6	6283105.2	0.1020
PLK_3_kc	Kurzeme	Skrundas	381817.4	6278957.9	0.0111
PLK_4	Zemgale	Ķemeru	471516.0	6305693.0	0.0420
PLK_5	Zemgale	Ķemeru	471586.0	6305658.0	0.1120
PLK_6	Zemgale	Ķemeru	471985.0	6305376.0	0.0375
PLK_7	Zemgale	Tērvetes	464265.0	6260860.0	0.4580
PLK_8	Zemgale	Jelgavas	482159.0	6274154.0	0.1050
d1	Kurzeme	Saldus	402871.7	6254434.8	0.0400
d2	Kurzeme	Saldus	405980.3	6252579.3	0.0400
d3	Kurzeme	Saldus	406928.7	6256629.0	0.0400
d4	Kurzeme	Saldus	411000.6	6261893.3	0.0400
d5	Kurzeme	Saldus	414968.7	6269614.9	0.0600
d6	Kurzeme	Saldus	419676.1	6273231.2	0.0400
d7	Kurzeme	Tukuma	435795.9	6296334.6	0.0400
d8	Kurzeme	Brocēnu	422560.4	6278566.3	0.0400
d9	Kurzeme	Brocēnu	427622.5	6284872.0	0.0400
d10	Kurzeme	Jaunpils	432445.3	6291991.6	0.0400
d11	Kurzeme	Tukuma	439382.9	6302045.8	0.0400
d12	Kurzeme	Tukuma	444888.9	6308400.0	0.0400
d13	Kurzeme	Tukuma	447878.8	6312313.1	0.0400
d14	Kurzeme	Engures	452597.6	6319385.2	0.0400
d15	Kurzeme	Engures	455574	6324826.0	0.0400
PKL_9	Kurzeme	Rendas	392121	6330576	0.0125
PKL_10	Kurzeme	Rendas	392088	6330548	0.0125
PKL_11	Kurzeme	Rendas	390853	6331197	0.0498
PKL_12	Vidzeme	Jaunkalsnavas	618618	6284073	0.12
PKL_13	Vidzeme	Jaunkalsnavas	618545	6284006	0.12
PKL_14	Vidzeme	Jaunkalsnavas	615901	6284621	0.12
PKL_15	Vidzeme	Jaunkalsnavas	618618	6284073	0.12
PKL_16	Vidzeme	Jaunkalsnavas	618545	6284006	0.12
PKL_17	Vidzeme	Jaunkalsnavas	615901	6284621	0.12
z1	Kurzeme	Grobiņa	322072	6271046	0,0400
z2	Kurzeme	Grobiņa	322508	6273184	0,0520
z3	Kurzeme	Durbes	333583	6273184	0,0600
z4	Kurzeme	Aizputes	345338	6287421	0,0400
z5	Kurzeme	Aizputes	353290	6294716	0,0400

z6	Kurzeme	Kuldīgas	361340	6296742	0,0400
z7	Kurzeme	Kuldīgas	371555	6305869	0,0400
z8	Kurzeme	Kuldīgas	383114	6313678	0,0400
z9	Kurzeme	Kuldīgas	390880	6320507	0,0400
z10	Kurzeme	Kuldīgas	398413	6324200	0,0400
z11	Kurzeme	Talsu	409466	6331473	0,0400
z12	Kurzeme	Talsu	417861	6338228	0,0400
z13	Kurzeme	Talsu	427572	6343008	0,0450
z14	Kurzeme	Talsu	434752	6350748	0,0400
z15	Kurzeme	Mērsraga	444419	6357102	0,0500
K	Kurzeme	Talsu	437956.4	6323797.8	0,5000

1.2. tabula

Parauglaukumu audžu raksturojums

PL nr.	Kokaudzes				Urbto koku skaits
	sastāvs	MAAT	vecums, g	bonitātes klase	
PLK_1	10P	Nd	180	4	39
PLK_2	10P	Ln	77	1	27
PLK_3_kc	10P	Mr/Am	45	1	48
PLK_4	10P	Mr	90	2	36
PLK_5	10P	Nd	80	3	78
PLK_6	10P	Mr	90	2	14
PLK_7	10P	Dm	115	1	54
PLK_8	10E	As	55	1	25
d1	3E3P3B1A	Dm	90	1	20
d2	5E5P	Dm	101	1	20
d3	10E	Vr	73	1a	20
d4	8E2B	Vr	64	1	20
d5	5E4A1Ba	Vrs	64	1	20
d6	10E	Vr	46	1	20
d7	6E2B2P	Dm	105	1	20
d8	10E	Vr	46	1a	20
d9	4E3B2A1P	Vr	60	1	20
d10	5E4P1B	Dm	95	1	20
d11	9E1B	Kp	60	2	20
d12	7E3Ba	Vr	47	1	20
d13	7E3P	Dm	145	2	20
d14	7E1P2B	Dm	149	2	20
d15	3E3P3B1M	Ks	74	1	20
PKL_9	10P	PMr	50	III	20
PKL_10	10P	PMr	50	III	48

PKL_11	10P	PMr	70	III	22
PKL_12	10P/10E	PLn	80	II	25
PKL_13	9P1E/10E	PDm	80	I	22
PKL_14	5P5E	PAm	110	I	25
PKL_15	10P/10E	PLn	60	II	25
PKL_16	9P1E/10E	PDm	80	I	25
PKL_17	5P5E	EAm	110	I	25
z1	9E1Oz	EDm	51	I	20
z2	7E2B1P	EAs	61	I	20
z3	PE1A	EVr	121	III	20
z4	10E	EVr	51	Ia	20
z5	6E2B2P	EDm	71	I	25
z6	9E1A	EVr	40	I	20
z7	5E3P2E	EAs	89	I	20
z8	5E3B1A1P	EDms	69	I	20
z9	7E2P1B	EDm	88	I	20
z10	9E1Ba	EVrs	32	II	20
z11	10E	EAs	46	II	20
z12	10E	EVr	125	II	20
z13	8E2Os	EVr	46	I	20
z14	7E2B1A	EAs	99	I	20
z15	7P3E	PKs	119	II	20
K	10E	EVr	90	I	50

Vairāk nekā 1200 uzskaites koku urbumu serdenīšu gadskārtu platuma mērījumi veikti laboratorijas apstākļos, lietojot gadskārtu platuma mērīšanas ierīci LINTAB-4. Katram serdenītim ar precizitāti 0,01 mm izmērīts pēdējo 50 gadu gadskārtu platums. Kopējais mērījumu skaits pārsniedz – 60400 gadskārtas.

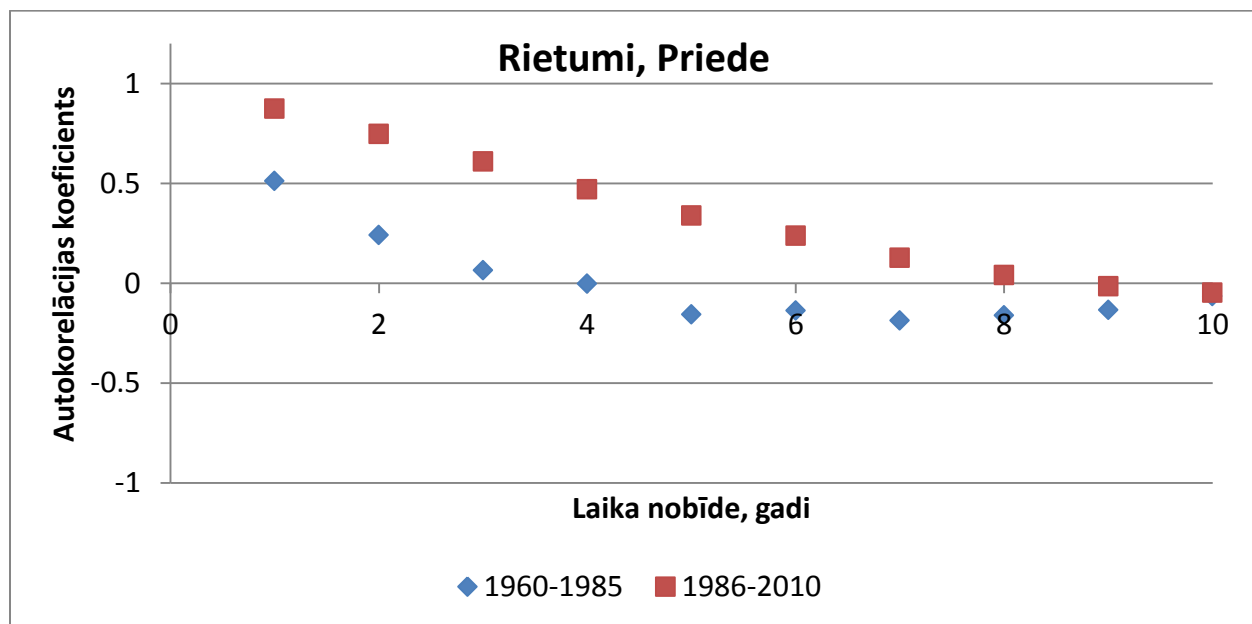
Klimatiskā informācija satur meteoroloģisko novērojumu datus, kas ievākti valsts sabiedrībā ar ierobežotu atbildību *Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs (LVĢMC)*, kas atrodas Maskavas ielā 165, Rīgā. Pamatā izmantoti Kurzemes meteoroloģisko staciju novērojumi. Meteoroloģiskie dati, kas izmantojami Jaunkalsnavas parauglaukumu apstrādei, ievākti par Zīlānu novērojumu staciju. Veikti aprēķini un sastādītas darba matricas laika posmam no 1966. līdz 2009. g. par gaisa vidējo, maksimālo un minimālo temperatūru, kā arī nokrišņu summu.

1.1.2. Koku reakcija attālos laika posmos

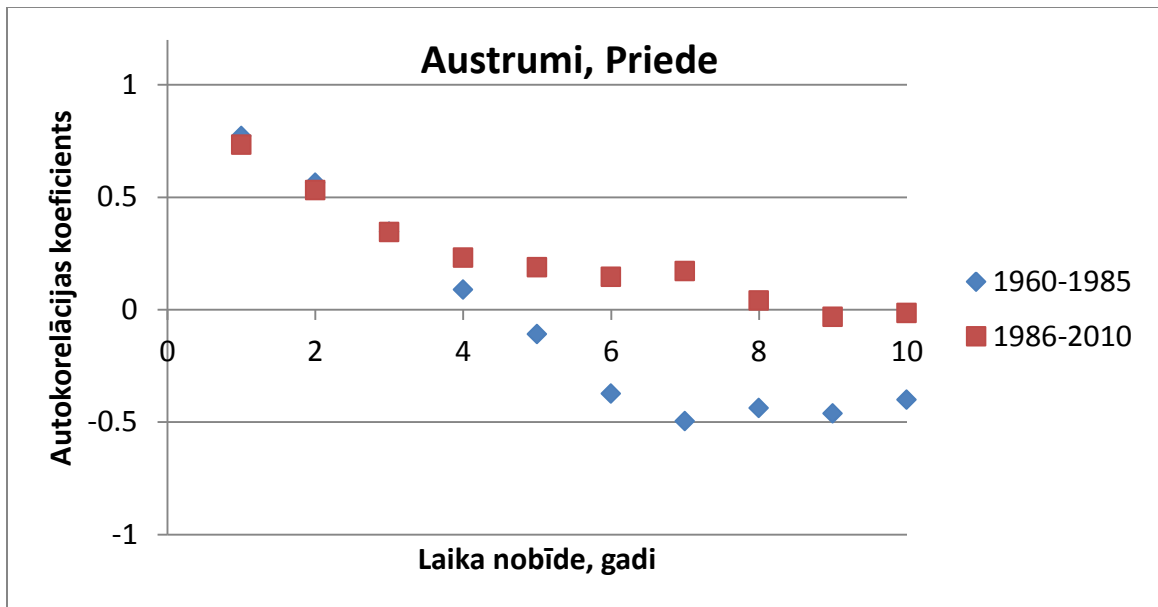
Audzū reakcijas atšķirību skaidrošanai izraudzīti divi laika posmi - pirmais no tiem t_1 attiecas uz laiku sākot no 1960. gada līdz 1985. gadam, otrs t_2 – no 1986. gada līdz 2010.

gadam. Ja pieņem, ka meteorologu pārstāvētā informācija par klimata trendālo dinamiku, proti, sagaidāmo temperatūras paaugstināšanos un nokrišņu sadalījuma izmaiņām, ir patiesa, ir jāpieņem, ka jaukto mežu (semiboreālajā) bioma teritorijā koku atsauces reakcija ir saistīta ar audžu produktivitātes pakāpenisku paaugstināšanos vai samazināšanos. Sevišķi tas attiecas uz audzēm, kas atrodas koku sugas izplatības areāla robežu tuvumā. Ja tas ir tā, salīdzinot audžu produktivitātes rādītājus divos attālos laika posmos, jaunāko desmitgadu laikā koku augšanas intensitātei vienāda vecuma un bonitātes audzēs salīdzinājumā ar iepriekšējo laika posmu būtu jābūt lielākai vai mazākai atkarībā no klimata izmaiņu ietekmes rakstura. Šīs tēzes apstiprināšanai vai noraidīšanai projekta ietvaros izmantoti vairāki risinājumi.

Autokorelācijas salīdzināšana. Tēzes pārbaudes pamatā ir atziņa, atbilstoši kurai autokorelācijas ciešuma palielināšanās liecina par trendālās ietekmes pastiprināšanos laika rindā. Tas nozīmē, ka otrajā laika posmā t_2 autokorelācijai jābūt izteiktākai nekā pirmajā posmā t_1 . Šajā pārbaudē katra laika rinda satur attiecīgās koku sugas un reģiona visu parauglaukumu un visu urbtu koku gadskārtu platuma vidējās aritmētiskās vērtības. Autokorelācijas koeficienta izmaiņas priedei rietumu reģionā izsaka 1.1.1. att. Redzams, ka izvirzītā hipotēze attaisnojas nepārprotami. Otrajā laika posmā t_2 autokorelācija ir ievērojami ciešāka, piemēram, abu laika posmu trešajā gadā autokorelācijas koeficienta starpība sasniedz 40,5%. Laika gaitā palielinājusies arī autokorelācijas noturība. Ja laika posmā t_1 tā izpaužas trīs gadus, tad posmā t_2 – jau septiņus gadus. Šie skaitļi neapšaubāmi liecina par trendālās ietekmes pastiprināšanos, kas šajā gadījumā ar augstu varbūtību ir saistāma ar pakāpeniskām klimata izmaiņām (Speer, 2010).

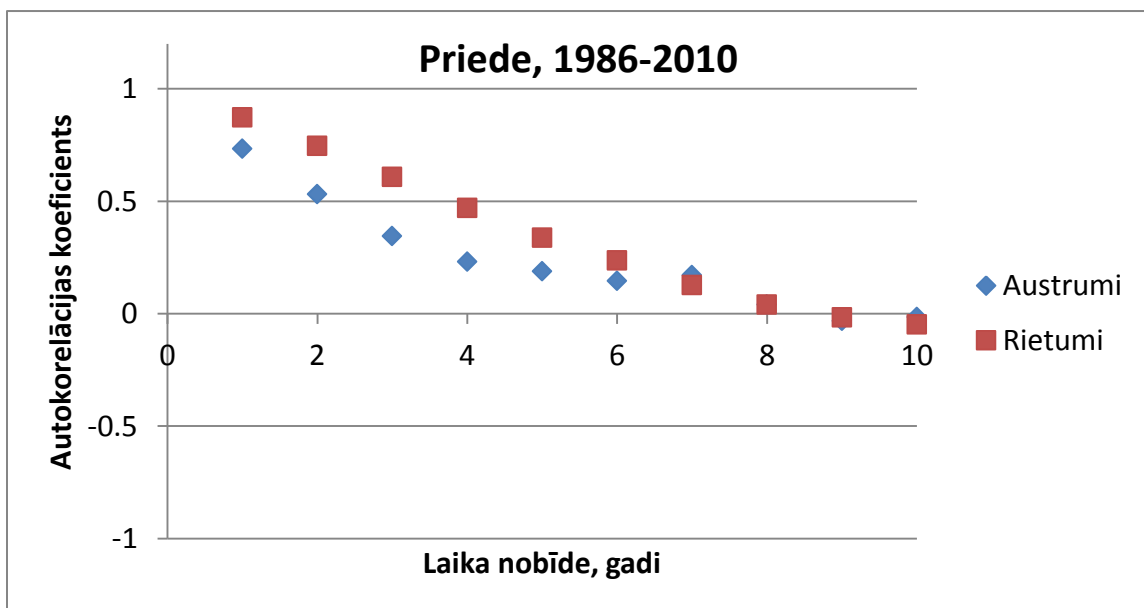


1.1.1. att. Priedes gadskārtu platuma rindas autokorelācijas dinamika t_1 un t_2 laika posmos rietumu reģionā



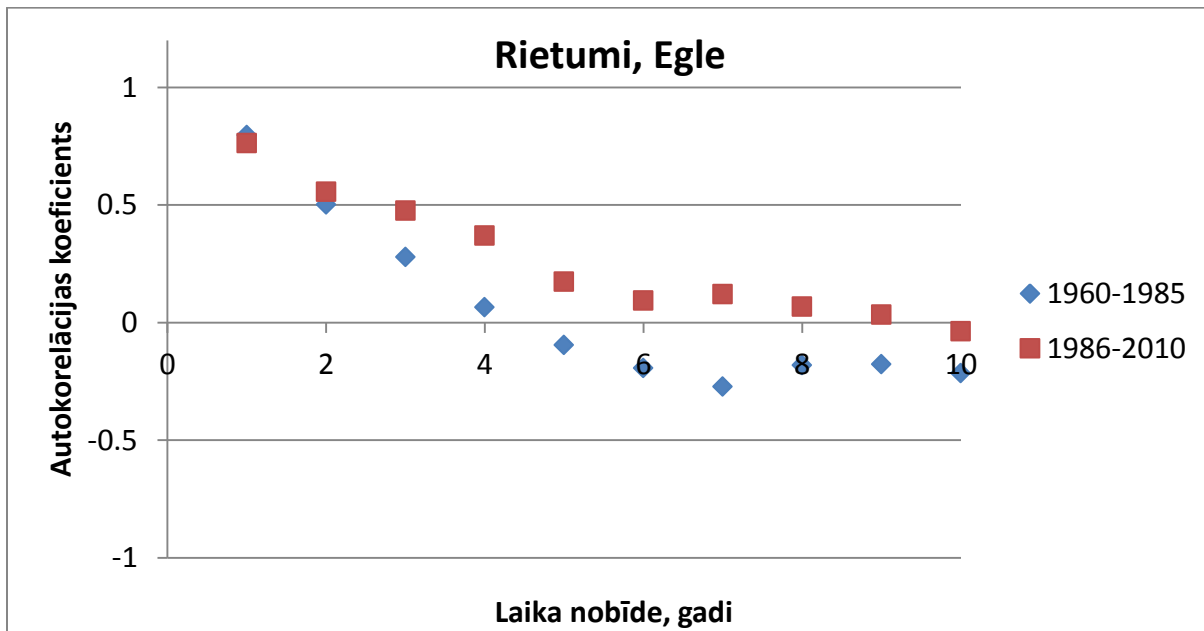
1.1.2. att. Priedes gadskārtu platuma rindas autokorelācijas dinamika t_1 un t_2 laika posmos austrumu reģionā

Autokorelācijas attēls austrumu reģionā ir atšķirīgs. Arī šeit abos laika posmos saglabājas augsts autokorelācijas ciešums. Jāatzīmē, ka pirmajos trīs gados tas abos reģionos ir līdzīgs, bet pēc atkal tam izpaužas t_2 posma dominance. Iespējams, ka šāda pirmo gadu autokorelācijas koeficienta sakrītība abos reģionos ir saistīta ar klimata kontinentalitāti, kas rietumu reģiona piejūras klimatā izraisa straujāku trendālas ietekmes pastiprināšanos. Reģionālā atkarība šajā



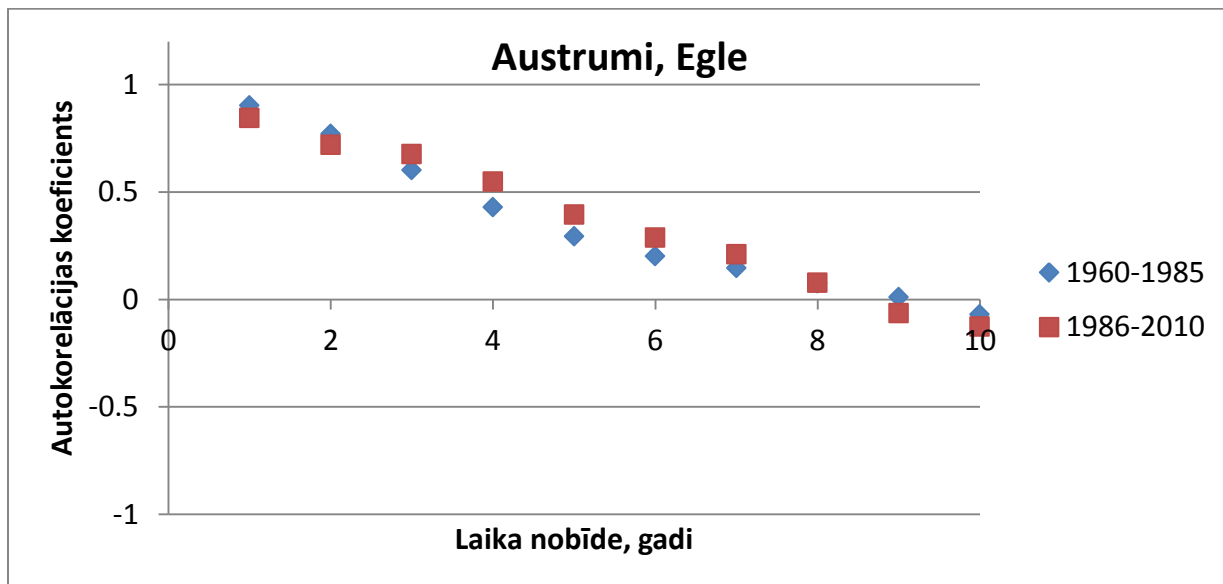
1.1.3. Priedes gadskārtu platuma rindas autokorelācijas reģionālā atkarība laika posmā t_2

jomā uzskatamāk redzama 1.1.3. attēlā, kur rietumu reģiona dominance ir skaidri izteikta.



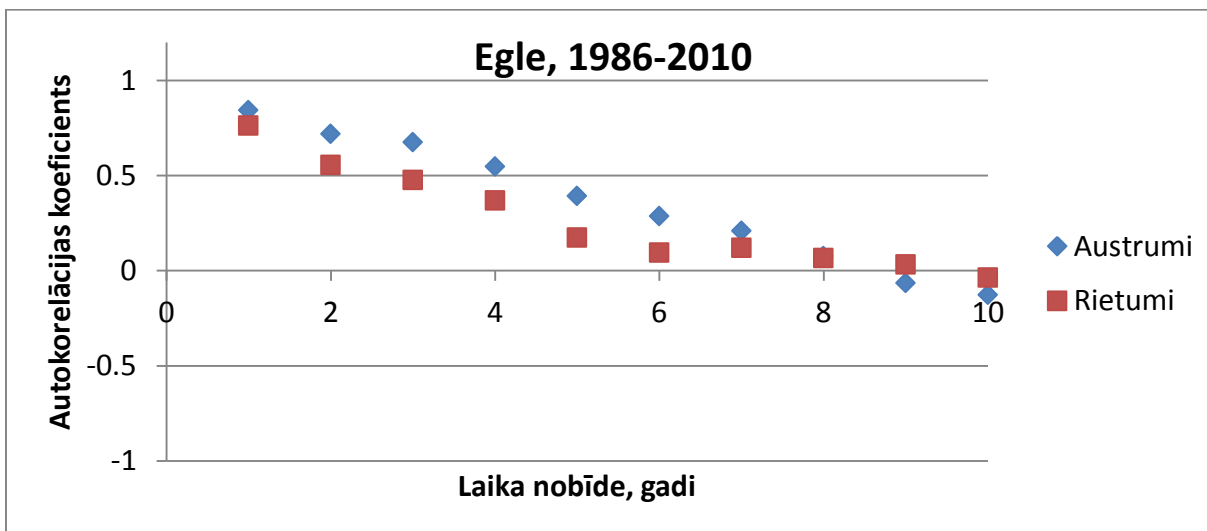
1.1.4. att. Egļes gadskārtu platuma rindas autokorelācijas dinamika t_1 un t_2 laika posmos rietumu reģionā

Salīdzinot egļes gadskārtu platuma rindas, abos laika posmos iegūstamas līdzīgas atziņas kā priedei, proti, autokorelācija rietumu reģionā ciešāka un ilgāka ir t_2 posmā. Izņēmums ir laika nobīdes pirmie divi gadi (1.1.4.att.). Salīdzinājumu reģionālā skatījumā izsaka 1.1.5. attēls, kurā



1.1.5. att. Egļes gadskārtu platuma rindas autokorelācijas dinamika t_1 un t_2 laika posmos austrumu reģionā

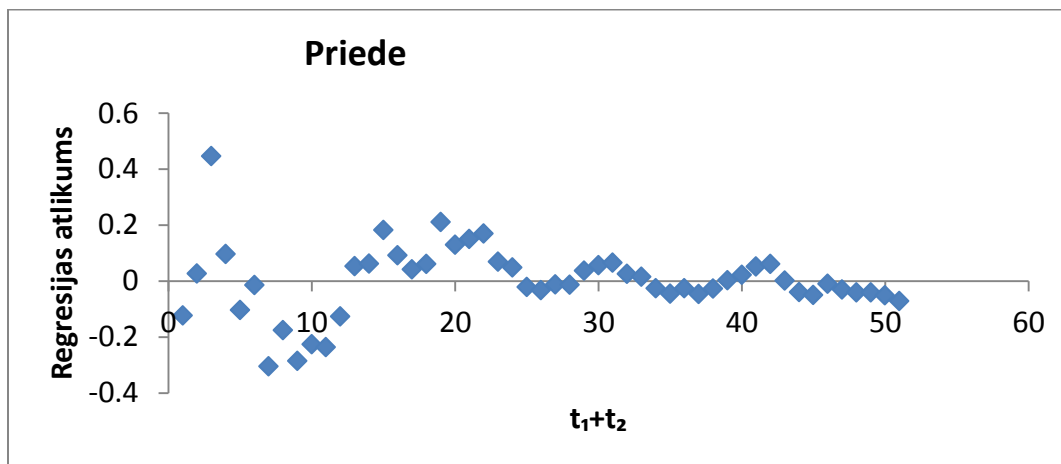
redzams, ka, salīdzinot ar priedi, pirmajos četros laika nobīdes gados būtisku atšķirību nav.



1.1.6. Egles gadskārtu platuma rindas autokorelācijas reģionālā atkarība laika posmā t_2

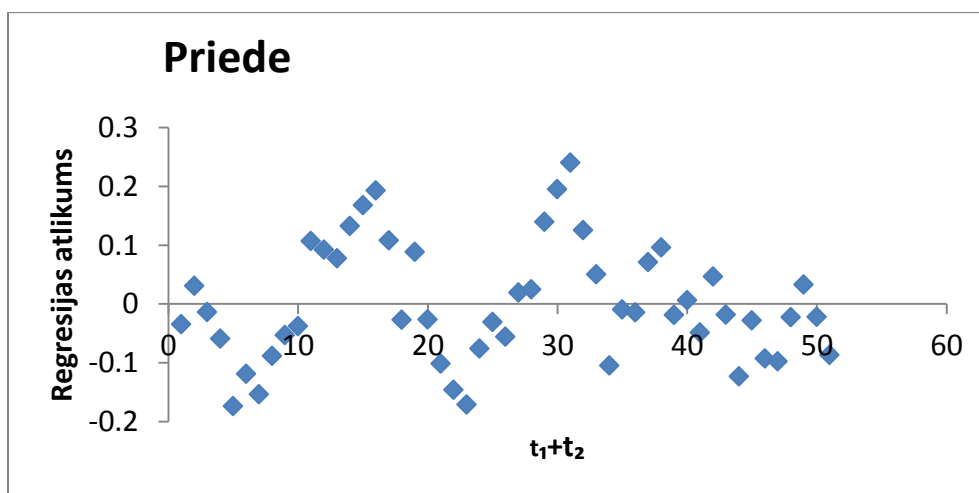
Eglei austrumu reģionā autokorelācija ir ciešāka nekā priedei (1.1.3. un 1.1.6. att.). Taču tas nav pretrunā ar hipotēzi par autokorelācijas esamību abām koku sugām un abos reģionos. Tādējādi apstiprinās pieņēmums par trendālās ietekmes temporālo pastiprināšanos, kas arī bija jāapstiprina projekta pētījuma 1.1. sadaļā. Pieņemot, ka ar vienu kritēriju ir par maz, lai apstiprinātu, ka klimata trendālās pārmaiņas izraisa audžu produktivitātes izmaiņas, izvirzītas vēl divas pārbaudes.

Regresijas atlikumu izkliedes salīdzināšana. Pamatojas uz pieņēmumu, ka, trendālās ietekmes īpatsvaram pieaugot, regresijas atlikumu izkliede sašaurinās, citiem vārdiem, regresijas atlikumu vērtības veido blīvāku punktu mākonī, kas ciešāk piekļaujas abscisu asij (Sokal, Rohlf, 1995; Zar, 2009).



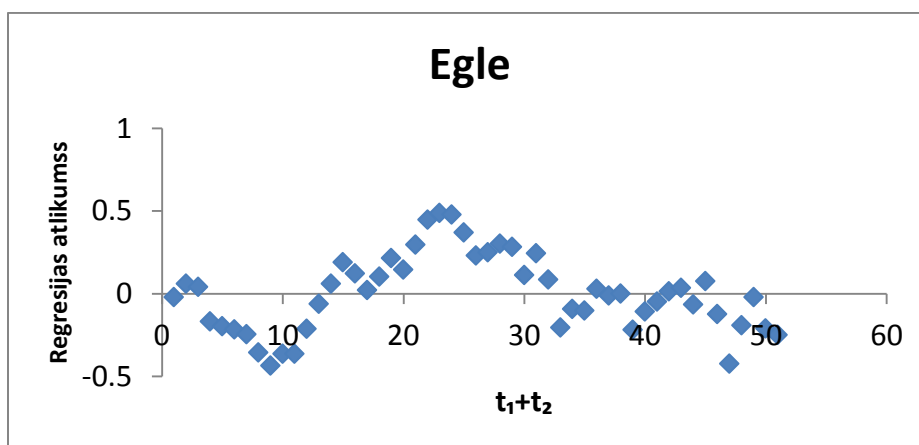
1.1.7. att. Regresijas atlikumu diagramma, rietumu reģions

Šajā pārbaudē katrai laika rindai piemērota lineārā regresija, un regresijas atlikumi, kas izsaka starpību starp attiecīgās laika rindas gadskārtu platuma vērtībām un regresijas vērtībām, orientēti uz abscisu asi, kas iet caur nulles punktu (1.1.7. att.). Redzams, ka laika posmā t_1 , kas diagrammā atbilst abscisu ass intervālam no 1. līdz 26. gadam, regresijas atlikumu izkļiede ir izteikti liela, bet otrajā posmā t_2 – izteikti maza. Turklāt visa intervāla t_1+t_2 garumā regresijas atlikumu vērtības izvietotas simetriski abscisu asij, kas liecina par izvēlēta regresijas veida atbilstību empīriskajiem datiem. Principā sacītais attiecas arī uz priedi austrumu reģionā. Abi



1.1.8. att. Regresijas atlikumu diagramma, austrumu reģions

reģioni atšķiras ar regresijas atlikumu datu izkļiedi, kas austrumu reģionā ir ievērojami lielāka abos laika posmos. Šobrīd nav citu skaidrojumu kā atšķirība rietumu un austrumu reģionu kontinentalitātē.



1.1.9. att. Regresijas atlikumu diagramma, rietumu reģions

Salīdzinot priedes un egles regresijas atlikumu dinamiku (1.1.9), var secināt, ka, piemēram, rietumu reģionā tā ir līdzīga. Abām sugām raksturīgi, ka t_2 posmā (no 27. gada un turpmāk) atlikumu vērtības atrodas blīvā zonā abscisu ass tuvumā, kamēr posmā t_1 tās veido redzamu, iespējams, pat periodiska rakstura izkliedi. Kopumā var secināt, ka arī regresijas atlikumu analīze pieļauj to pašu atziņu, kas jau iegūta, izvērtējot autokorelāciju, proti, otrajā laika posmā t_2 notiek trendālās ietekmes pastiprināšanās.

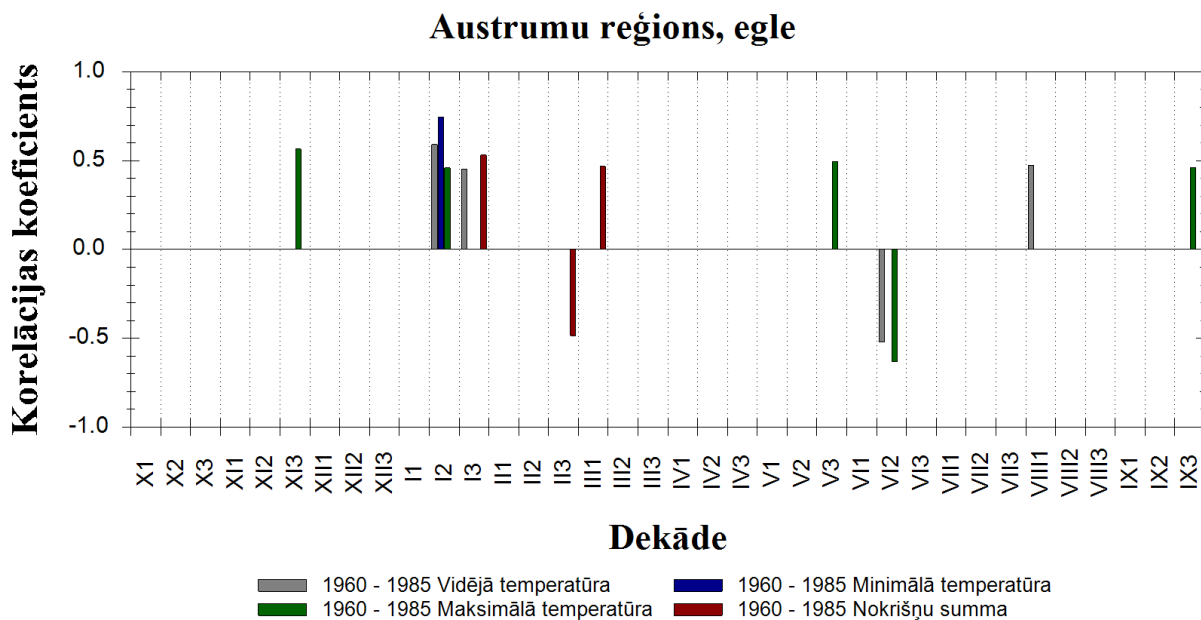
Aktīvo periodu salīdzināšana. Izvirzīta hipotēze, kas nosaka, ka trendālās ietekmes būtiskas izmaiņās gadījumā, mainās aktīvo periodu skaits un to izvietojums uz laika ass. Ar terminu *aktīvais periods* saprot to gada intervālu, kura laikā attiecīgais klimatiskais faktors būtiski ietekmē pieauguma (gadskārtas platuma) veidošanos. Iespējami dažāda garuma aktīvie periodi. Šajā pētījumā aktīvais periods pielīdzināts dekādei (10 vai 11 dienām). Būtiskā ietekme var izpausties kā pieauguma veidošanos veicinoši, tā bremsējoši. Pirmajā gadījumā klimatiskā faktora vērtību palielināšanās sekmē, otrā gadījumā – apgrūtina pieauguma veidošanos. Šo faktu saistot ar V. Šelforda tolerances diagrammu, var saprast, ka aktīvā perioda pozitīvā vērtība norāda uz šī faktora nepietiekamības zonu, kuras ietvaros audzes produktivitātes paaugstināšanās kontekstā visnotaļ vēlama faktora iedarbības pastiprināšanās vai pastiprināšana, ja faktors pakļaujas antropogēnai regulācijai. Protams, ka klimatisko faktoru gadījumā to regulācija mežaudžu līmenī nav iedomājama. Līdzīgi aktīvā perioda negatīva vērtība liecina par V. Šelforda diagrammas pārsātinātības zonu, kurā lielāka pieauguma sasniegšanai vēlama faktora iedarbības samazināšana. Savukārt, ja faktora ietekme aktīvā perioda laikā ir nebūtiska, tas nozīmē, ka tā nodrošinātība pieauguma veidošanai ir optimuma zonai atbilstoša un faktora izmaiņas šīs zonas robežās audzes produktivitāti būtiski ietekmēt nevar. Jāatzīmē, ka atbilstoši atziņai par to, ka gadskārtu platuma laika rindas satur būtisku autokorelāciju (no 1.1.1. att. līdz 1.1.6. att.), klimatiskie faktori aktīvos periodus var saturēt ne tikai kārtējā, bet arī vairāku iepriekšējo gadu laikā. Šajā periodā izmantoti aktīvo periodu skaits un to atbilstība konkrētām dekādēm pārbaudīta kārtējā un tam pieguļošā viena iepriekšējā gada garumā.

Aktīvo periodu noteikšanai iespējami divi risinājumi – eksperimentālais un arhivārais (Лиена, 1980). Pirmajā gadījumā gadskārtas platuma palielināšanos un klimatisko faktoru vērtības nepārtraukti fiksē visa veģetācijas sezonas laikā, uz šo datu pamata izdalot laika posmus, kuros notikusi aktīvāka radiālā pieauguma veidošanās. Šis šķietami vienkāršais risinājums satur vairākus trūkumus. Pirmkārt, aktīvo periodu izdalīšanai nepieciešams pietiekoši garš (vismaz 20 – 25 gadi) un vēlams nepārtraukts veģetācijas sezonu skaits. Otrkārt, neiespējami noteikt, kurš klimatiskais faktors ietekmējis vairāk un kurš mazāk izdalītā aktīvā perioda veidošanos, jo visi šie faktori iedarbojas kompleksi un vienlaicīgi. Treškārt, ne mazāk problemātiska, bet tādēļ ne mazāk nozīmīga ir ietekmes rakstura (labvēlīga vai bremsējoša) noskaidrošana.

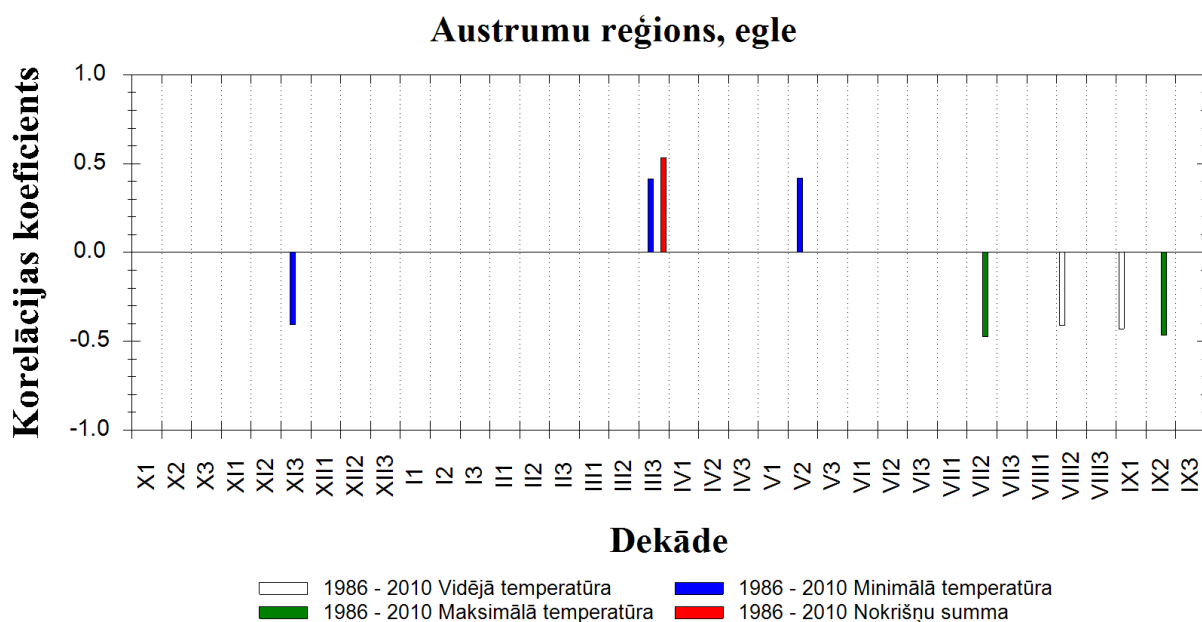
Arhivārais risinājums paredz divu arhīvu datu izmantošanu. Gadskārtu platuma dati neierobežotā apjomā atrodami Meža mātes arhīvā koku gadskārtu platuma sērijās par tādu vai citu novērojumu posmu. Katrs koks Mērenā klimata joslā pilda dabiskā monitoringa adaptera funkcijas, nepārtraukti un jutīgi vides iedarbību ierakstot gadskārtās. Gadskārtu platuma laika

rindu sastādīšana metodiskas grūtības nerada. Savukārt klimatiskos datus iegūst pēc tuvāko (ne tālāk par 30 km) meteoroloģisko novērojumu staciju mērījumiem, kas atrodami Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā (LVĢMC) (Luguza et. al., 2012).

Projekta pētījumā izmantots arhivārais risinājums. Aktīvo periodu izdalīšanai lietota korelācijas analīze, aprēķinot gadskārtu platuma un katras dekādes klimatisko faktoru (gaisa minimālā, maksimālā un vidējā temperatūra, nokrišņu summa) vērtību korelācijas koeficientus abiem novērojumu posmiem (Luguza et.al., 2012). Tās dekādes, kuru korelācijas koeficienti ir būtiski, turpmāk uzskatītas par aktīvajiem periodiem. Katra laika posma iepriekš uzskaitīto klimatisko faktoru aktīvo periodu skaitu un izvietojumu uz kopējas laika ass (hronoloģisko shēmu) izsaka (1.1.10., 1.1.11., 1.1.12. un 1.1.13. att.). Šajos attēlos redzami visu četru pētījumā iekļauto faktoru aktīvo periodu izvietojums, sākot no iepriekšējā gada oktobra pirmās dekādes X1, līdz tekošā gada septembra trešajai dekādei IX3. Salīdzinot austrumu reģiona egles aktīvo periodu skaitu abos laika posmos (1.1.10. att.), jāsecina, ka tas ir samazinājies no 13 uz 8 jeb 38,5%, kas liecina par klimatisko faktoru ietekmes mainīšanos laika gaitā. Mainījies arī to izvietojums uz laika ass un atsevišķo klimatisko faktoru iedarbības īpatsvars. Laika posmā t_2 divas reizes retāki kļuvuši vidējās temperatūras aktīvie periodi, mainoties arī to izvietojumam hronoloģiskajā shēmā (1.1.11. att.). Savukārt būtiski pieaugusi minimālās temperatūras loma, aktīvo periodu skaitam kļūstot lielākam un izkliedētākam uz laika ass. Zīmīgi, ka izzudusi ziemas mēnešu temperatūru ietekme. Laika posmā t_1 tā vēl ir saglabājusies un praktiski sakrīt ar agrāko pētījumu rezultātiem (Лиєпа, 1975). Līdzīgas izmaiņas atzīmētas publikācijās, kas veltītas priedei un ozolam (Elferts,..., Matisons et. al., 2013). Mūsaprāt šis apstiprinātais fakts ir skaidrojams ar to, ka, ziemām kļūstot siltākām, pat bargāko mēnešu temperatūras ir sasniegušas



1.1.10. att. Laika posma t_1 egles hronoloģiskā shēma austrumu reģionā



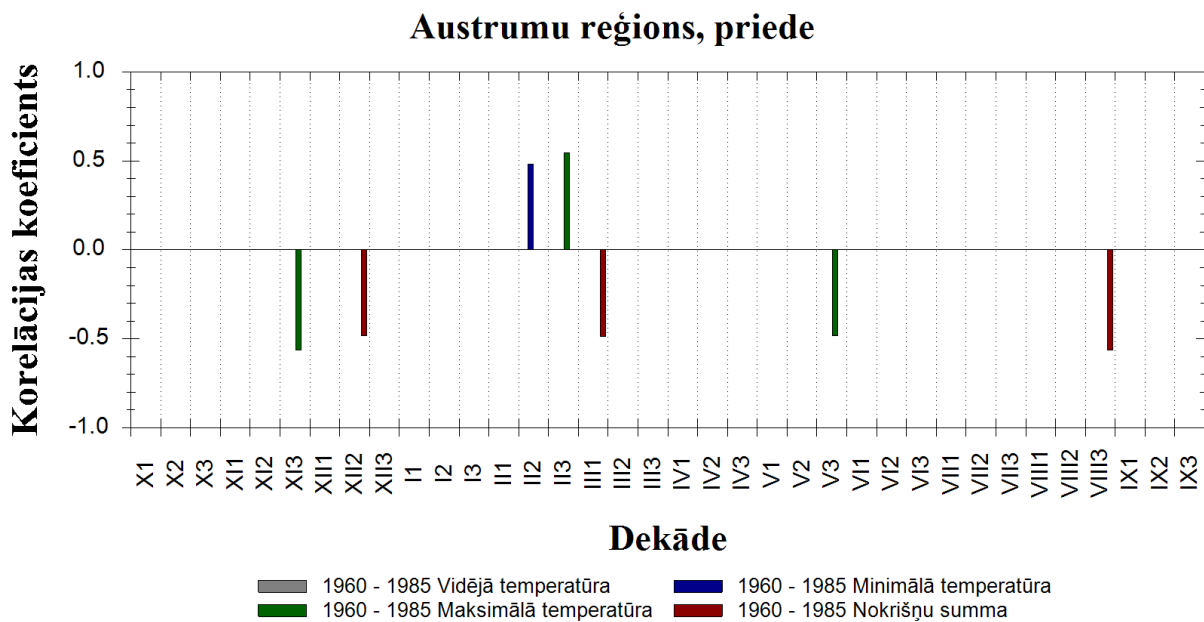
1.1.11. att. Laika posma t_2 egles hronoloģiskā shēma austrumu reģionā

V. Šelforda tolerances diagrammas optimuma zonu, un to paaugstināšanās kopumā vairs būtiski neietekmē gadskārtu platuma veidošanos. Laika posmā t_2 maksimālās temperatūras būtiskā ietekme lokalizējusies augusta otrajā un septembra otrajā dekādē, norādot uz to, ka, turpinoties vasaras temperatūras kāpumam, tā negatīvi ietekmēs audžu produktivitāti.

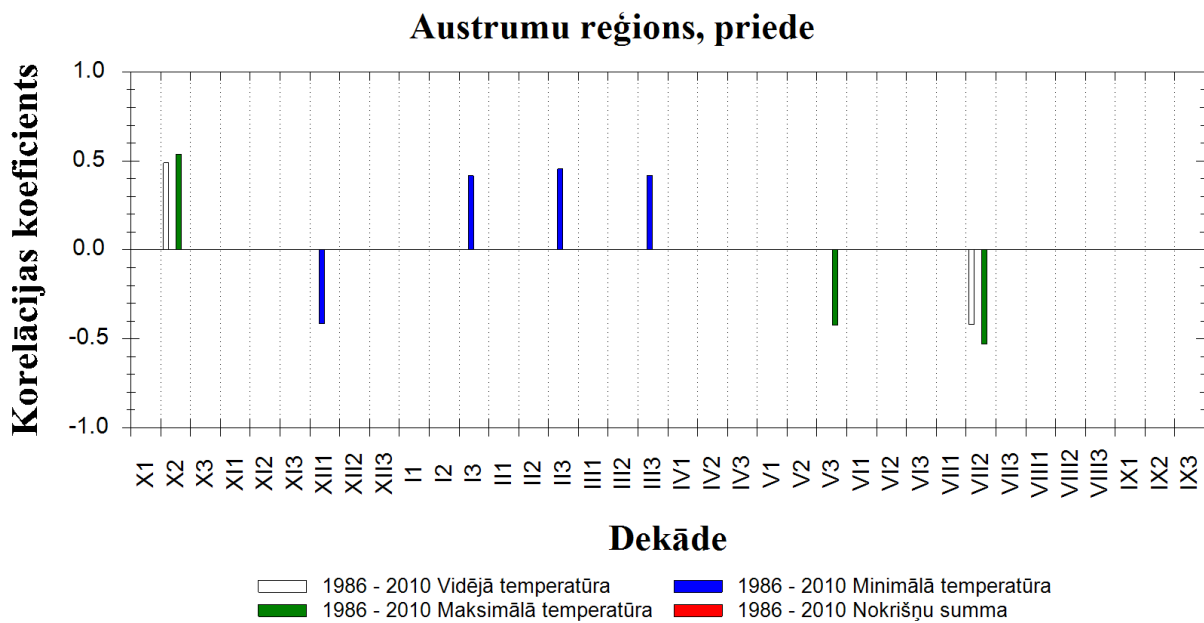
Nokrišņu summas ietekme laika posmā t_1 bijusi lielāka un ir attiecināma uz trim ziemas dekādēm – janvāra trešo, februāra trešo un marta pirmo dekādi. Laika posmā t_2 marta trešā dekāde ir vienīgā, kuras laikā vēlama mitruma rezervju palielināšanās.

Kopumā eglei austrumu reģionā nozīmīgi mainījies atsauces reakcija temperatūru un nokrišņu summu kontekstā, kas apstiprina tēzi par to, ka notiek ne tikai pašu klimatisko faktoru trendāla transformēšanās, bet, ka tā nosaka arī audžu produktivitātes izmaiņas. Līdzīgs secinājums izriet arī no priedes aktīvo periodu skaita un temporālā sakārtojuma izmaiņām abos laika posmos.

Nošēdžot atskaites sadaļu 1.1.2., var secināt, ka visu trīs pārbaudes kritēriju – gadskārtas platuma laika rindu autokorelācijas, regresijas atlikumu un klimatisko faktoru aktīvo hronoloģisko shēmu salīdzināšana noved pie vienas un tās pašas atziņas, kas apstiprina faktu, atbilstoši kuram kopsolī ar klimata mainīšanos būtiski mainās arī audžu produktivitāte. Šī atziņa pamato vēlmi noskaidrot, kā un kādā mērā notiek koku atsauces reakcija mainīgajos klimata apstākļos un kādas ir iespējas šīs reakcijas noteikšanai un prognozēšanai katrā konkrētajā klimatiskajā situācijā.



1.1.12. att. Laika posma t_1 priedes hronoloģiskā shēma austrumu reģionā



1.1.13. att. Laika posma t_2 priedes hronoloģiskā shēma austrumu reģionā

1.1.3. Klimata izmaiņu atsaucēs modelis

Pēc projekta atskaites 1.1. sadaļas tēzes apstiprināšanās par to, ka līdz ar vides (klimata) izmaiņām notiek mežaudžu adaptācija (produktivitātes paaugstināšanās vai pazemināšanās) seko nepieciešamība noskaidrot, kāds ir šo izmaiņu raksturs (meža pieaugumu sekmējošs vai bremsējošs) un cik liels tas ir. Šim nolūkam, izmantojot aktīvo periodu koncepciju, izstrādāts multiplās regresijas modelis, par kura argumentiem kalpo klimatisko faktoru aktīvo periodu vērtības, bet atkarīgā pazīme ir attiecīgās koku sugas un reģiona gadskārtas platums. Projekta ietvaros izmantots lineārais modelis ar četriem vai pieciem argumentiem. Statistiskā pārbaude rāda, ka lielāks argumentu skaits neuzlabo modeļa adekvātumu. Sacītais attiecas arī uz lineārā modeļa aizstāšanu ar kādu no nelineārajām versijām. Līdz ar to vienkāršākās – lineārās versijas izvēle ir loģiski pamatota.

Gadskārtas platums augstā līmenī reprezentē audzes produktivitāti un ir adekvāts rādītājs klimata izmaiņu efekta atsegšanai. Taču, ja nepieciešama šī efekta analīze tautsaimnieciskā kontekstā, to izsakot naudas izteiksmē, nav metodisku grūtību šīs prasības īstenošanai. Mūsu pētījumi liecina, ka katras sugas viena un tā paša reģiona hronoloģiskā shēma satur tik daudz aktīvo periodu, ka tie pietiek vairākām modeļa realizācijām. Tāpēc katrā konkrētā gadījumā tiek izskaitļotas vairākas dotās audzes atsaucēs vērtības, kas, protams, ir nedaudz atšķirīgas. Viena kopēja vērtība tiek iegūta kā svērtā vidējā, par svāriem izmantojot modeļa attiecīgo realizāciju determinācijas koeficientus. Mūsu piedāvājums dod iespēju aprēķināt audzes atsaucēs reakciju neatkarīgi no klimatisko faktoru izmaiņu virziena, piemēram, temperatūras paaugstināšanās vai krituma. Tas nozīmē, ka modelī jāievieto atbilstošo aktīvo periodu (dekāžu) doto klimatisko faktoru meteoroloģijas speciālistu prognozētās vērtības. Uzsveram, ka piedāvātais modelis neprognozē klimatisko faktoru izmaiņu raksturu un lielumu, bet aprēķina audzes atsaucēs reakciju tajos vai citos klimatiskajos nosacījumos. Modeļa plašākai lietošanai sastādīta datorprogramma. Klimata izmaiņu atsaucēs modeļa sastādīšana un modelēšana ir specifiska un atšķirīga, salīdzinot ar līdz šim lietotajiem risinājumiem.

1.1.4. Vides ietekmes novērtēšanas metode

Projekta ietvaros pieņemam, ka vide ir visu to ekoloģisko faktoru kopums, kas tieši un savstarpēji mijiedarbojoties ietekmē dzīvo organismu dzīvības norises. Vide nav tikai klimatiskie faktori. Edafiskie, orogrāfiskie, biotiskie un antropogēnie faktori nereti izvirzās priekšplānā, būtiski modificējot klimata labvēlīgo vai traucējošo iedarbību. Sevišķi tas sakāms par cilvēku saimniecisko darbību mežā, kas var pastiprināt vai mīkstināt klimata trendālo ietekmi uz meža produktivitāti. No sacītā izriet nepieciešamība noskaidrot, kādus mežsaimnieciskos pasākumus, kā un kādos nosacījumos mežaudzes uztver pozitīvi vai negatīvi, tādējādi dodot iespēju meža apsaimniekošanas kārtībā iespaidot audžu adaptāciju klimata sagaidāmajās izmaiņās. Atzīmēsim, ka ne vienmēr šāda informācija saistāma tikai ar klimata dinamiku. Mežsaimniecības ikdienā tā ir nepieciešama meža apsaimniekošanas plānošanā un ieviešanas pasākumu

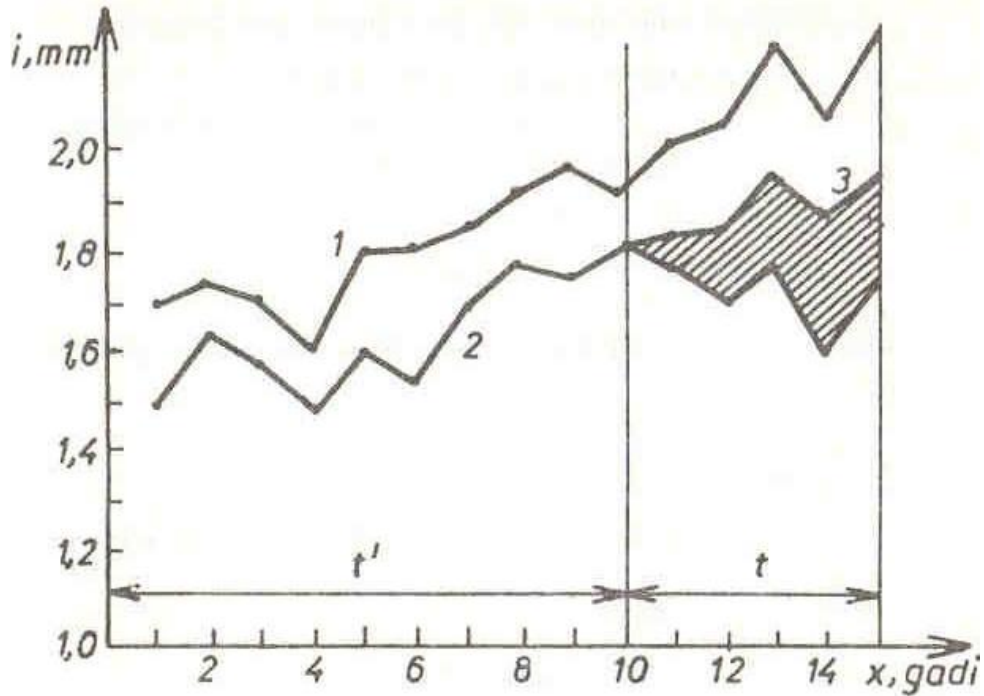
īstenošanas vai dabisko traucējumu seku analīzē. Šajā sakarā izstrādāta vides ietekmes dendroindikatīvās novērtēšanas metode, kas pamatojas uz audzes krājas papildus pieaugumu kā koku atsauces reakcijas kritēriju (Zaļkalns, Liepa, 2012).

Lai aprēķinātu vides ietekmes kritērija – krājas papildus pieauguma vērtības, tiek izmantoti paraugkoku urbumu gadskārtu platuma, augstuma un caurmēra mērījumu dati. Kāda faktora ietekmēta koka vai audzes pieaugums sastāv no diviem komponentiem – neiniciētā un iniciētā pieauguma. Pirmais no tiem būtu veidojies arī bez pētāmā faktora ietekmes īstenošanās, otrs ir tieši šīs ietekmes dēļ papildus veidojies pieaugums. Vienīgi papildus pieaugums patiesi atsedz pētāmās ietekmes raksturu un lielumu. Abu komponentu summa jeb integrālais pieaugums šo funkciju veic nepilnīgi, jo dabīgo fluktuāciju dēļ daļēji izlīdzina ietekmes efektu. Var izšķirt augstuma, caurmēra, šķērslaukuma, tilpuma vai krājas, biomasas; koksnes, mizas, stumbra, sakņu, zaru; periodisko, vidēji periodisko, ikgadējo u.c. papildus pieauguma veidus. Katrs no tiem atšķirīgi raksturo koku atsauces reakcijas dažādās nianšes. Ietekmes ekonomiskajai analīzei piemērotākais ir tilpuma (krājas) periodiskais (kumulatīvais) un ikgadējais (tekošais) papildus pieaugums. Kā viena, tā otra papildus pieauguma vērtība var būt pozitīva, negatīva vai vienāda ar nulli. Pirmā liecina par pētāmās ietekmes labvēlīgo, otrā – par augšanu bremsējošo un trešā – par fona ietekmi.

Vides ietekmes novērtēšanas pamatā ir I. Liepas krājas papildus pieauguma metodika (Liepa, 1996), tās principiālo shēmu paskaidro 1.1. 14. att.

Vēršam uzmanību uz to, ka kontrole darbā lietota netradicionāli, jo no lauksaimniecības pētījumiem pārņemtais risinājums meža ekoloģijā neattiecas. Agronomiskajos izmēģinājumos fitocenotiski viendabīgus sējumus raksturo rūpīgi sagatavota augsne un vienmērīgs augu izvietojums platībā, kas nodrošina iespēju parauglaukumus izvietot cieši blakus. Turpretī meža ekosistēmās ir pretēji.

Piemēram, gaisa piesārņojuma ietekmes skaidrošanai piesārņojuma neskartas (kontroles) audzes atrodas vairāku desmitu kilometru attālumā. Tāpēc iesakām kontroli izmantot vienīgi kā pētījuma fona izmaiņu koriģēšanas līdzekli. Šajā nolūkā pētāmās ietekmes neskartā teritorijā izvēlas references audzi (audzes), iespēju robežās ar līdzīgu meža augšanas apstākļu tipu, bonitātes klasi, vecumu un biežību. References audzē ievāc iespējami lielāku skaitu urbumu serdeņu ($m \geq 50$). Katra references koka piemērotību vērtējamās audzes adekvātai kontrolei pārbauda statistiski pēc gadskārtu platuma mērījumiem. Atbilstības kritērijs – references koka un vērtējamās audzes dendroindikācijas koku līdzīga augšanas gaita retrospekcijas intervālā. Adekvātajā kontrolē ieskaita tikai tos k references kokus, kuru Pīrsona korelācijas koeficienta vērtības ir pozitīvas un būtiskas. Tā kā ikvienā audzē koku augšanas gaita ir izteikti atšķirīga, $k \leq m$. Turpmākiem aprēķiniem izmanto divas skaitļu rindas – vērtējamās audzes visu dendroindikācijas koku un adekvātās kontroles koku gadskārtu platuma vidējo vērtību rindas.



1.1.14. att. Papildus pieauguma noteikšanas principiālā shēma

Principiālās shēmas īstenošanas algoritms ir sekojošs.

$$Z_V^{KP} = 12732.4\psi(GH^\alpha D^{\beta \lg H + \varphi - 2} - G_t H_t^\alpha D_t^{\beta \lg H + \varphi - 2}) \quad (1)$$

Z_V^{KP} - krājas kumulatīvais papildus pieaugums, $m^3 ha^{-1}$;

$\psi, \alpha, \beta, \varphi$ - no koku sugas atkarīgi empīriski koeficienti (parastajai eglei: $\psi = 2.3106 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.78193$, $\beta = 0.34175$, $\varphi = 1.18811$ pārējām koku sugām (Liepa, 1996));

t - vides ietekmes vērtēšanas intervāls ($1 \leq t \leq 20$), gadi;

G, G_t - audzes šķērslaukums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, $m^2 ha^{-1}$;

$$G_t = \frac{D_t^2 G}{D^2} \quad (2)$$

D, D_t - audzes vidējais caurmērs ar mizu un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, cm;

$$D_t = D - 0.1Z_D^{KP} \quad (3)$$

Z_D^{KP} - audzes vidējā caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, cm:

$$Z_D^{KP} = 2u \left(\sum_{t'+1}^t i_j - \sum_{t'+1}^t i_j' \right) \quad (4)$$

- u - mizas biezuma koeficients (parastajai eglei $u = 1.046$;
- i - vērtējamās audzes visu bioindikācijas paraugkoku gadskārtu platuma vidējās vērtības intervālā t , mm.
- t' - retrospekcijas intervāls ($t' \geq 10$), gadi;
- i' - vērtējamās audzes gadskārtu platuma prognozētās vērtības intervālā t , mm;

$$i_j' = \eta_{k;j}^{\rho} \quad (5)$$

- i_k - adekvātās kontroles koku gadskārtu platuma vidējās vērtības intervālā t ;

$$H_t = H - Z_H^{KP} \quad (6)$$

- $H; H_t$ - audzes vidējais augstums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, m;

- Z_H^{KP} - augstuma kumulatīvais papildus pieaugums intervāla t beigās, m;

$$Z_H^{KP} = \frac{HZ_D^{KP}(aD + b)}{u(cD + 100)} \quad (7)$$

- a, b - no koku sugas atkarīgi empīriski koeficienti (parastajai eglei $a = -0.0256$, $b = 1,693$).

Pēc aprakstītā algoritma krājas kumulatīvo papildus pieaugumu aprēķina ar mizu. Šī rādītāja vērtības bez mizas:

$$Z_{V;u.b.}^{KP} = \frac{Z_V^{KP}}{s} \quad (8)$$

- s - mizas tilpuma koeficients;

$$s = \frac{pD + q}{wD + 100} \quad (9)$$

- p, q, w - no koku sugas atkarīgi empīriski koeficienti (parastajai eglei $p = 5.25$, $q = 117.6$, $w = 5.0$);

Mizas krājas kumulatīvais papildus pieaugums:

$$Z_{V;b.}^{KP} = Z_V^{KP} - Z_{V;u.b.}^{KP} \quad (10)$$

jeb

$$Z_{V;b.}^{KP} = \frac{Z_V^{KP}(s-1)}{s} \quad (11)$$

Ikgadējo krājas papildus pieaugumu aprēķina kā blakus gadu kumulatīvo pieaugumu starpības.

Lai izslēgtu dažādu audžu biežības (koku skaita) atšķirību ietekmi, augšminēto krājas papildus pieauguma vērtības pārrēķina uz 1 m^2 šķērslaukuma, piemēram:

$$Z_V^{K\text{Pred}} = \frac{Z_V^{KP}}{G} \quad (12)$$

Piemērs. Jāvērtē egļu tīraudzes atsaucē reakcija, kuras tuvumā pirms 5 gadiem uzsākta ķīmiskās produkcijas ražošana. Audzes vidējais augstums $H = 22.4$ m; vidējais caurmērs $D = 22.3$ cm; šķērslaukums $G = 32.20 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$; vērtēšanas intervāla garums $t = 5$ gadi; retrospekcijas intervāls $t' = 10$ gadi; bioindikācijas koku skaits $n = 27$; adekvātās kontroles koku skaits $k = 14$; korelācijas koeficienta būtiskuma līmenis 0.632 ; bioindikācijas koku gadskārtu platuma vidējo vērtību rinda: intervālā t' $i = \{1.50 \ 1.62 \ 1.58 \ 1.49 \ 1.60 \ 1.52 \ 1.70 \ 1.77 \ 1.75 \ 1.80\}$, intervālā t $i = \{1.77 \ 1.70 \ 1.75 \ 1.60 \ 1.72\}$; adekvātās kontroles koku gadskārtu platuma vidējo vērtību rinda: intervālā t' $i_k = \{1.70 \ 1.72 \ 1.70 \ 1.60 \ 1.80 \ 1.80 \ 1.85 \ 1.90 \ 1.97 \ 1.90\}$, intervālā t $i_k = \{2.00 \ 2.03 \ 2.20 \ 2.07 \ 2.20\}$.

Vērtējamās audzes vidējo gadskārtu platuma prognozētās vērtības intervālā t aprēķinātas pēc sakarības (5), kuras koeficienti $\eta = 0.938$ un $\rho = 0.95714$ izskaitļoti pēc mazāko kvadrātu metodes. Līdz ar to pēdējo 5 gadu laikā

$$Z_D^{KP} = 2 \cdot 1.046(8.54 - 9.45) = -1.90 \text{ (mm)},$$

$$D_t = 22.3 - (-0.19) = 22.5 \text{ (cm)},$$

$$G_t = \frac{22.5^2 \cdot 32.2}{22.3^2} = 32.780 \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)}$$

$$Z_H^{KP} = \frac{22.4(-1.90)(-0.0256 \cdot 22.3 + 1.693)}{1.046(5.794 \cdot 22.3 + 100)} = -0.20 \text{ (m)},$$

$$H_t = 22.4 - (-0.20) = 22.6 \text{ (m)},$$

$$Z_V^{KP} = 12732.4 \cdot 2.3106 \cdot 10^{-4} (32.20 \cdot 22.4^{0.78193} \cdot 22.3^{0.34173g_{22.4+1.1881+2}} - 32.78 \cdot 22.6^{0.78193} \cdot 22.5^{0.34173g_{22.6+1.1881+2}}) = -9.478 \text{ (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)},$$

$$s = \frac{5.25 \cdot 22.3 + 117.6}{5.0 \cdot 22.3 + 100} = 1.110,$$

$$Z_{V;u.b.}^{KP} = \frac{-9.478}{1.110} = -8.539 \text{ (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)},$$

$$Z_{V;b.}^{KP} = -9.478 - (-8.539) = -0.939 \text{ (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}.$$

$$Z_V^{K\text{Pred}} = \frac{-9.478}{32.20} = -0.2944 \text{ (m}^3\text{m}^2\text{)}.$$

Piemēra secinājums: ķīmiskās rūpnīcas 5 gadu darbības laikā parastās egles audzes produktivitāte samazinājusies par $-9.478 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ jeb $-0.2944 \text{ m}^3\text{m}^2$ audzes šķērslaukuma

Vides ietekmes vērtēšanai sastādīta datorprogramma. Iesniegts patenta pieteikums.

1.1.5. Kopsavilkums

Trīs metodiski atšķirīgos veidos apstiprināts fakts, ka Latvijas apstākļos klimata trendālā mainīšanās izraisa nemitīgu parastās priedes un parastās egles audžu produktivitātes mainīšanos. Pētījumā kā koku atsaucis rādītājs klimata izmaiņām izmantots uzskaites koku gadskārtu vidējais platums un meteoroloģisko staciju novērojumu dati par diviem 25 gadus ilgiem laika posmiem. Trendālās atkarības fakts iegūts abu laika posmu autororelācijas, regresijas atlikumu un aktīvo periodu atšķirību analīzē. Izstrādāts klimata izmaiņu atsaucis matemātiskais modelis, kas pieļauj priedes un egles radiālā pieauguma prognozēšanu sagaidāmos klimatiskajos apstākļos. Nepieciešamības gadījumā iespējama pāreja uz krājas pieaugumu. Modeļa novitāte ir tā, ka par tā argumentiem izmantoti klimatisko faktoru (dekāžu minimālās, vidējās un maksimālas temperatūras un nokrišņu summas) aktīvo periodu vērtības. Izstrādāta metode vides faktoru (abiotisko, abiotisko un antropogēno, saimniecisko darbību ieskaitot) iedarbības rezultātu noteikšanai, kā kritēriju lietojot krājas papildus pieaugumu (tekošo un kumulatīvo), tādējādi uzrādot ietekmes efekta uzkrāšanās dinamiku. Sastādītas divas datorprogrammas klimata izmaiņu atsaucis modeļa un vides ietekmes efekta metodes īstenošanai. Iesniegts viens patenta pieteikums. Publicēti zinātniski raksti un projekta rezultāti prezentēti starptautiskās konferencēs. Saistībā ar projekta tematiku tiek izstrādāti divi promocijas un ir aizstāvēti trīs bakalaura darbi. Projekta izpildē gūtās atziņas un materiāli izmantoti četru studiju kursu papildināšanai.

Literatūra

Drobyshev I., Anderson S., Sonesson K., 2007. Crown Condition Dynamics of Oak in Southern Sweden 1988 – 1999. *Environmental Monitoring and Assessment* 134: 199-210.

Jung T., Blaschke H., Oswald W., 2000. Involvement of Soilborne *Phytophthora* Species in Central European Oak Decline and the Effect of Soil Factors on the Disease. *Plant Pathology* 49: 706-718.

Liepa I., 1996. Pieauguma mācība. Jelgava: LLU.124 lpp.

Luguza S., Miezīte, Liepa I., Indriksons A., Rūba J. *Temperature Impact on Distribution of Entomological Damage in Norway Spruce Picea abies (L.) Karst. Young Forest Stands. Mežzinātne* 25(58)'2012. P. 90-92.

Luguza S., Liepa I., Cirse K., 2012. *Role of Tree Growth active Periods in Dendrochronological Research*. In *Abstracts & Programme of Joint International Conference Biological Reactions of Forests to Climate Change and Air Pollution*. - Kaunas, Lithuania. - p. 99.

Matisons R., Elferts D., Brūmelis G., 2013. Possible Signs of Growth Decline of Pedunculate Oak in Latvia during 1080 – 2009 in Tree-ring Width and Vessel size. *Baltic Forestry* 19(1): 137-142.

Sokal R. R., Rohlf F. J., 1995. *Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. Third Edition. W. H. Freeman and Company, New York. 887 pp.

Speer J. H., 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research*. The University of Arizona Press, Tucson. 368 pp.

Zaļkalns O., Liepa I., 2012. *Response reactions of Norway spruce to changing air pollution and weather conditions in Kurzeme*. In *Abstracts & Programme of Joint International Conference Biological Reactions of Forests to Climate Change and Air Pollution*, - Kaunas , Lithuania. - p. 87.

Zar J. H., 2009. *Biostatistical Analysis*. Fifth Edition. Instock. 960 pp.

Ли́па И. Я., 1975. Методика составления хронологической схемы активных периодов влияния факторов воздействия. В кн. *Ель и ельники в Латвии*. - Рига: Зинатне. - с. 152 - 158.

Ли́па И. Я., 1980. *Динамика древесных ресурсов. Прогнозирование и экология*. - Рига: Зинатне. - 170 с.