



Tartu Ülikool
Bioloogia-geograafiateaduskond
Geograafia instituut

Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogias

**Lehise kui dendrokronoloogiliselt tundliku puuliigi juurdekasv
Eestis, Kooraste lehiste näitel
Kristel Kund**

Juhendaja: lektor Alar Läänelaid

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Instituudi juhataja:

Alar Läänelaid 23.05.05.
Kristel Kund

Tartu 2005

Sisukord

SISSEJUHATUS	3
1. TEOREETILINE SISSEJUHATUS	4
1.1 DENDROKRONOLOOGIA	4
1.2 DENDROKLIMATOLOGIA	5
1.3 LEHISED (LARIX)	6
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	8
2.1 VÄLITÖÖD JA MATERJAL.....	8
2.2 AASTARÕNGASTE MÕÕTMINE.....	9
2.3 ANDMETE KVALITEEDI KONTROLLIMINE.....	10
2.4 AASTARÕNGASTE STANDARDISEERIMINE	11
2.5 JUURDEKASVU KORRELEERIMINE METEOROLOOGILISTE ANDMETEGA	11
3. TULEMUSED	13
4. ARUTELU	22
KOKKUVÕTE.....	26
SUMMARY	27
KASUTATUD KIRJANDUS	28

SISSEJUHATUS

Lehis (*Larix*) on meile paarsada aastat tagasi sisse toodud perekond, mis on siin leidnud soodsa kliima ja mulla näol endale sobivad kasvutingimused, ületades kasvult tunduvalt meie kohalikke puid ja põõsaid. Kuigi lehis ei kasva meil looduslikult, on ta tänaseks muutunud suhteliselt tavaliseks metsa- ja pargipuuks.

Kuna introductseeritud puuliigina on lehised dendroloogiliselt tundlikumad kui kohalikud puuliigid ning lehiste aastarõngad on väga hästi eristatavad kontrastse värvusega hilispuidu tõttu, on nad sobilikud dendrokronoloogilisteks uurimusteks. Siiski esineb lehistel nii puudevaid kui väär-aastarõngaid. Nende avastamine ridade sünkroniseerimisel ning võimalike põhjuste otsimine on üheks töö etapiks. Teiseks eesmärgiks on leida lehiste aastarõngaste laiuste ja kliimaatiliste faktorite vahelisi seoseid. Käesolevas töös on keskendunud õhutemperatuuri ja sademete ning aastarõngaste vaheliste seoste uurimisele, sest on leitud, et need parameetrid on enam korreleeritud aastarõngalaiustega.

1. TEOREETILINE SISSEJUHATUS

Et käesolevast uurimusest paremat ülevaadet saada, on vajalik eelnevalt tutvuda dendrokronoloogia olulisemate mõistete ja põhimõtetega.

1.1 Dendrokronoloogia

Mõiste dendrokronoloogia tuleneb ladinakeelsetest sõnadest *dendron*, mis tähendab puud (täpsemalt puude aastarõngaste dateerimist ja uurimist) ja *chronos*, mis tähendab aega (täpsemalt minevikus toimunud sündmusi ja protsesse). Kitsamas tähenduses on dendrokronoloogia puu aastarõngaste kasutamine puidust objektide dateerimisel ja laiemas tähenduses teadus aastarõngaste dateerimisest, dateeritud aastarõngastes sisalduva informatsiooni uurimine ja rakendamine keskkonna ja ajaloo valdkondades (Kaannel, 1995 et al.).

Dendrokronoloogia on suhteliselt noor teadusharu, vaid sadakond aastat vana. Esimesi algseid uurimusi on teada alles 19 saj. algusest (*Stoeckhard 1871*). Dendrokronoloogia rajajateks loetakse Bruno Huberit, Fiodor Nikiforovitshi ja A.E. Douglassi, kes alustasid esimestena puude aastarõngaste teaduslikku uurimist. Kuulsamateks dendroloogideks on veel W. S. Glock, V. LaMarche, C. W. Ferguson, H. C. Fritts. 1935. a. hakati välja andma esimest dendrokronoloogiaalast ajakirja Tree Ring Bulletin. Praegu ilmuvad kaks rahvusvahelise tähtsusega dendrokronoloogia ajakirja: Tree-Ring Research ja Dendrochronologia. Palju informatsiooni dendrokronoloogia kohta võib leida ka internetist, üks põhjalikumaid on Henri D. Grissino-Mayeri Ultimate Tree-Ring Web Pages, kust võib leida informatsiooni dendrokronoloogia üldisematest printsiipidest kuni avaldatud artiklite ja väljaannete loeteluni.

Keskseks mõisteks dendrokronoloogias on puu aastarõngas. Aastarõngaks nimetatakse puidurakkude kihti, mille toodab puu või põõsas ühe aasta jooksul. Tavaliselt koosneb kasvuperioodi algul moodustunud varapuit suurematest õhukesekestalistest heledamatest rakkudest ning kasvuperioodi hilisemas osas moodustunud hilispuit paksemakestalistest

tumedamatest rakkudest. Varapuidu algusest hilispuidu lõpuni, mis tavaliselt ulatub ümber kogu tüve, loetakse aastarõngaks (Grissino). Aastarõngaste abil on võimalik teada saada, millal puu kasvas; määrata, millised keskkonnatingimused on puu aastasele juurdekasvule olnud olulised ja kuidas need mõjutavad jämeduskasvu; millal on puu langetatud; teha järeldusi mineviku kliima kohta ning ennustada ette tulevikus toimuvaid võimalikke muutusi (Huges, 2002).

1.2 Dendroklimatoloogia

Dendroklimatoloogia on dendrokronoloogia alljaotus, mis kasutab dateeritud aastarõngaid mineviku ja praeguse kliima rekonstrueerimiseks ja uurimiseks (Kaennel, 1995 et al.). Hispaania ökoloogid on defineerinud dendroklimatoloogiat kui aastaste ja pikemate kliimaatiliste käikude ja aastarõngaste laiuste indeksite suhteid (Kaennel, 1995 et al.).

Puude aastarõngad sisaldavad informatsiooni mineviku kliima kohta (Fritts, 1976). Laiade ja kitsaste aastarõngaste vaheldumine peegeldab soodsaid ja ebasoodsaid kasvuaastaid. Esimesi sellealaseid töid teostas Ameerika astronaut A. E. Douglass, kes avastas, et soodsates tingimustes moodustuvad puud laiemaid aastarõngaid ja ebasoodsates kitsamaid, või ei moodustu neid üldse. (Schweingruber, 1990 et al), Dendroklimatoloogilised uurimused on keskendunud peamiselt temperatuuri, sademete, CO₂ kontsentratsiooni, valguse, tuule kiiruse, niiskuse ja mitmete mullaparameetrite ja aastarõngaste juurdekasvu vaheliste seoste uurimisele. Veelgi enam - aastarõngad säilitavad endas informatsiooni isegi minevikus toimunud üleujutustest, põudadest, tulekahjudest, insektitsiidide rünnakutest ja isegi maavärinatest (Siren, 1963).

Aastarõngaste kronoloogia tähistab rida mõõdetud aastarõngaste omadusi (peamiselt aastarõnga laius või hilispuidu maksimaalne tihedus), mis on standardiseerimise teel teisendatud dimensioonideta indeksiteks. Seega kujutab aastarõngaste kronoloogia iga üksikaasta kasvu kõrvalekallet keskmisest kasvust (Grissino). Ristdateerimine on sarnaste aastarõngaste mustrite avastamine erinevate samalt geograafiliselt alalt kogutud puude vahel. (Bannister, 1963). Standardiseerimine on protsess, mis kõrvaldab aastarõngaste mõõdetud omaduste aegreast ebasoovitavad pikaajalised varieerumised,

jagades tegelikud mõõtmistulemused statistiliselt saadud võrrandi tulemustega, mis seostab puu kasvu vanusega. Tavaliselt selle protsessiga püütakse kõrvaldada kasvu trendid, mis on tulenevad puu füsioloogilisest vananemisest ja muutunud metsa kooslustest (Grissino). Keskkond mõjutab puidu tekkimist kambiumist, seetõttu sarnastes keskkonna- tingimustes kasvavatel puudel on kambiumi tegevus sünkroonne ning tekivad analoogsed aastarõngaste mustrid. Vara- ja hilispuidu laius iseloomustavad meteotingimusi kasvuperioodi eri osadel (Fritts, 1976).

Arvuti analüüs ja mitmed teised meetodid võimaldavad paremini mõista sajandite jooksul toimunud kliimaatilisi muutusi. Tänapäeval arendatakse dendrokronoloogias jõudsalt erinevaid andmetöötlusvahendeid ja samuti suurendatakse uuritavate parameetrite hulka. Viimase aja edusammud mõõtetehnikas ja statistiliste analüüsides osas on teinud dendrokronoloogia paljude probleemide lahendamisel järjest enam kasutatavaks meetodiks.

1.3 Lehised (Larix)

Lehiseid on sisse toodud paljudesse parkidesse juba alates 18 sajandist. Looduslikult teda meil ei kasva. Lehised kasvavad looduslikult peamiselt põhjapoolkera boreaalses okasvööndis, soe-parasvööndi mägede ja jahe-parasvööndi madalikel (Paves, 2004). Pindalaliselt suurimad esinemisalad Siberi kesk-, ida- ja lõunaosas, Venemaa Kaug-Idas, Aasias ja Kanadas (Laas, 2004). Looduslikult kasvavad nad enamasti hõredate valgusküllaste puhtpuistutena. Kuid tänapäevaks on lehised muutunud suhteliselt tavalisteks puudeks paljudes Eesti parkides ja alleedes.

Lehiseliikide arvu osas on maailmas erinevaid arvamusi, sest lehised ristuvad omavahel kergesti nii looduslike areaalide kattumisel kui ka kultuuris ja annavad hübriide ja arvatakse, et perekonda kuulub üle 20 liigi, tihti on raskusi isegi liikide määramisega. Eestis on leitud 12 erinevat lehise liiki, neist kasvatatakse peamiselt kuut: euroopa, siberi, gmelini, jaapani, ameerika ja läänelehist (Laas, 2004). Lehise perekonda kuuluvad ühekojalised heitlehised puud. Puudele iseloomulikuks on kõrge kasv, sirge tüvi, hõre

võra, pikad oksad ja vaigune puit (Laas, 2004). Õige kasvukoha valiku korral ületavad nad tunduvalt isegi kohalike liike, seda eriti just noores eas, seetõttu on lehist kasutatud ka kiirekasvulise metsakultuurina. Kasvukohatüüpidest sobivad paremini jänese kapsa ja sinilille kasvukohatüüp. Parkides, metsades ja maastikul paistavad lehised oma suurte mõõtmete ja pikkade okste ning sügisel kollase värvusega hästi silma.

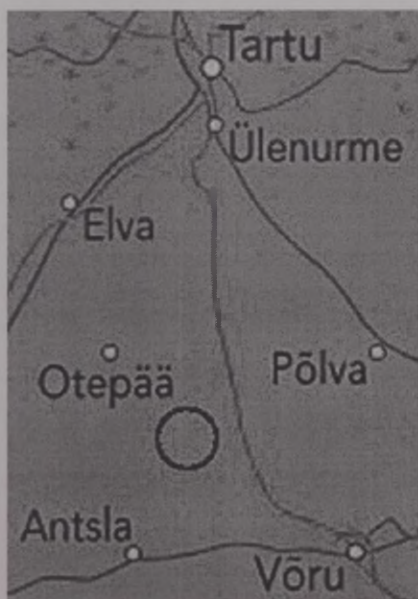
Sissetoodud puuliigid on palju tundlikumad kliima muutustele kui kodumaised. Lehise aastarõngad on väga selgelt eristatavad ning vara ja hilispuidu rakkude vahel on väga selge eraldusjoon. Hilispuit lõpeb lehisel väga järsku, jättes terava välimise ääre. Seetõttu on lehis väga sobiv dendrokronoloogilisteks uuringuteks.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Välitööd ja materjal

Uuriti 13 Kooraste Suurjärve ääres kasvava lehise aastarõngaste proove (Joonis 1). Lehised kasvavad järve põhjakaldal umbes poole hektari suurusel vanas vähe hooldatud pargis (Joonis 2). Kuna esineb palju erinevaid lehise hübriide ja määramine toimub peamiselt käbide alusel, on suhteliselt keeruline tagantjärele liiki määrata. Kooraste lehiste liik ei ole määratud. Käesolevas uurimuses on lehiseid käsitletud perekonna tasandil.

Proovid on kogutud 2000 aasta 1. juulil juhendaja Alar Läänelaiu ja Ólafur Eggertsooni poolt. Proovide kogumisel on kasutatud spetsiaalset juurdekasvupuuri. See on torukujuline puur, mis kruvitakse puutüvesse ja ekstraktoriga tõmmatakse puursüdamik välja. Kokku koguti 24 juurdekasvu proovi 13 puult. Proovid on kogutud rinnakõrguselt, enamikult puudest kaks proovi, puu põhja- ja lõunaküljelt.



Joonis 1. Proovide võtmise asukoha skeem. Ringiga on tähistatud proovivõtmise koht - Kooraste. Linnulennult on Koorastest Tartusse 55 km ning Koorastest Võrru 25 km.



Joonis 2. Kooraste Suurjärve ääres kasvavad lehised.

2.2 Aastarõngaste mõõtmine

Laboratoorsed tööd on teostanud töö autor 2005 a. jaanuaris Alar Läänelaiu ruumides Geograafia Instituudis. Aastarõngaste mõõtmisel kasutati arvutiga ühenduses olevat mõõtmisaparaati Lintab, pealtvalgustusega binokulaarset mikroskoopi (suurendusega 8*2), programmi TSAP, mille abil on mõõtmistulemused sisestatud arvutisse. TSAP on programm aastarõngaste mõõtmiseks, andmete salvestamiseks ja esialgseks töötlemiseks. Lehisele iseloomulik terav üleminek hilispuidult varapuidule võimaldas aastarõngaste laiusi mõõta suhteliselt täpselt (0,01 mm). Enne mõõtmist tuli ümaraid proove niisutada, ühelt küljelt žiletiga siluda ja kriidiga katta, et hele varapuit ja tumedam hilispuit teravamalt eristuksid. Mõõdeti nii aastarõngaste arv, laiused kui ka maltspuidu rõngaste arv. Erinevad proovid on salvestatud koodidega programmi TSAP. Igale proovile tuli

anda TSAP programmi kohaselt 8 märgiline kood. Lihtsuse mõttes on igal märgil koodis tähendus: 0- mõõtmisandmed, E-Eestis mõõdetud puud, L- lehis, KOO- proovide võtmise koht-Kooraste, viimased kaks kohta tähistavad proovi numbrit (näiteks proov 0ELKOO9N kaks viimast tähist tähendavad 9. puu proovi põhjaküljest).

2.3 Andmete kvaliteedi kontrollimine

Andmete töötlemine toimus esmalt programmiga CATRAS. Iga proovi aastarõngaste read dateeriti kalendriaastates, kasutades ristdateerimise tehnikat. Tulemusi kontrolliti arvutiprogrammiga COFECHA, mis kontrollib mõõdetud aastarõngaste ridade kvaliteeti, uurides põhjalikult puu aastarõngaste ridade omavahelist sarnasust ning näitab tõenäolised valeaastarõngaste või puuduvate aastarõngaste asukohad. Programm COFECHA võrdleb kõiki aastarõngaste laiuste ridu nendest ridadest koostatud keskmise master-kronoloogiaga ja hindab iga rea sarnasust master-kronoloogiaga. Seda teeb COFECHA ette antud pikkusega lõikude kaupa, näidates iga lõigu korrelatsiooni koefitsiendi master-kronoloogia sama lõiguga õiges asendis ja lõigu nihutamisel master-kronoloogia suhtes ette- ja tahapoole. Programmi väljundis osutatakse võimalikele probleemsetele ridadele ja nendele lõikudele, kus võib esineda viga. Vead tulenevad kas valest dateeringust, puuduvast aastarõngast või on viga tulnud sisse mõõtmise käigus. Edasi kontrolliti proove, mille kronoloogiad sisaldasid probleemseid lõike valguslual, et leida võimalikud vigade põhjused ja teha vajalikud korrektuurid. Iga rea kohta koostati arvutiprogrammis Exceli aastarõngaste laiuste ridade joongraafik, kus ristteljel on aastad, püstteljel logaritmskaalas aastarõngaste laiused. Esmalt võrreldi aastarõngaste joongraafikut master-kronoloogiaga ja sünkroniseeriti veata read. Kuna proovid on kogutud väikeselt alalt, eeldati, et lehiste aastarõngad on kasvanud sünkroonselt, st. ekstreemsemad juurdekasvuread langevad samale aastale. Prooviti leida, kas kattuvad kitsamad või laiemad aastarõngalaiused langevad samale aastale. Sel viisil kronoloogiaid võrreldes oli võimalik leida probleemsed kohad ka graafikutelt ja vajadusel sisestati tõenäolistesse aastarõnga vahelejäämiskohtadesse, lisa-aastarõngad väärtusega 1, kuna programm ei võta vastu (ei tunnista) 0 väärtusega aastarõnga väärtusi. Parandatud read

sisestati uuesti programmi COFECHA, et kontrollida paranduste õigsust ja ennetada järgnevate vigade tekkimist.

2.4 Aastarõngaste standardiseerimine

Järgnevalt kasutati programmi ARSTAN, mis võimaldab eemaldada lisamõjud, näiteks kasvutrendid, mis on seotud puu füsioloogilise vananemisega ja metsakoosluse muutumisest tingitud kasvu trendidega, jättes alles maksimaalse ühise signaali. ARSTAN standardiseerib aastarõngaste read, millega kõrvaldatakse aastarõngaste mõõdetud omaduste aegreast ebasoovitav pikaajaline varieerumine, jagades tegelikud mõõtmisandmed statistiliselt saadud võrrandi tulemustega, mis seostab puu kasvu vanusega. ARSTAN arvutab kolm erinevat kronoloogiat: standard, jääkliikmete ja autoregressiivse kronoloogia. Järgnevals dendroklimatoloogiliseks analüüsiks võetakse neist jääkliikmete kronoloogia, millest on kõrvaldatud järjestikuste liikmete vaheline autokorrelatsioon.

2.5 Juurdekasvu korreleerimine meteoroloogiliste andmetega

Et teada saada, millised kliima muutujad on lehiste kasvu limiteerimisel märkimisväärsed, kasutati programmi RESPO. RESPO väljundiks on vastus funktsioon, mis võimaldab siduda lehiste aastarõngaste kronoloogia kliima andmetega (kuu keskmiste temperatuuridega ja kuu sademete summaga). 13 puu jääkliikmete kronoloogia sisestati programmi RESPO koos kuu sademete ja temperatuuride andmetega. RESPO funktsiooni kontrolliti nii Tartu kui Võru meteoroloogiliste andmetega. Tartu meteojaamast on olemas pikemad vaatlusread kui Võru meteojaamast, viimane aga asub Kooraste lehiste kasvukohale lähemal. Seetõttu kasutati mõlema jaama andmeid. Linnulennult on Koorastest Võrru ligikaudu 25 km ja Tartusse 55 km. Aastarõngaste kronoloogia ulatus 1877-2000 aastani (124 aastat). Tartu meteoroloogilised andmed: temperatuur (1828-1999) 172 aastat; sademed (1879-1994) 117 aastat. Analüüsitava periood pikkus 117 aastat (1879-1994). Võru meteojaama andmed: temperatuur (1925-2000) 76 aastat; sademed (1911-1996) 86 aastat. Analüüsitud perioodi pikkus (1925-1996) 72 aastat.

Edasi koostati Võru andmetega kõigi aastate keskmine kliimadiagramm. Koostati ka keskmisest standardhälbe võrra laiemate ($> 1,2027$) ja kitsamate ($< 0,7973$) aastarõngastega aastate kliimadiagrammid ning võrreldi neid kõigi aastate keskmise diagrammiga. Kuna kasutada olevaid kliima andmeid (Võru meteojaama andmed) oli alates 1925. aastast, sai koostada 11 kliimadiagrammi keskmisest laiemate aastarõngastega aastate kohta ning 13 kliimadiagrammi keskmisest kitsamate aastarõngastega aastate kohta. Kliimadiagrammidelt otsiti ühiseid muutumise trende ja kontrolliti arvutiprogramm RESPO tulemusi.

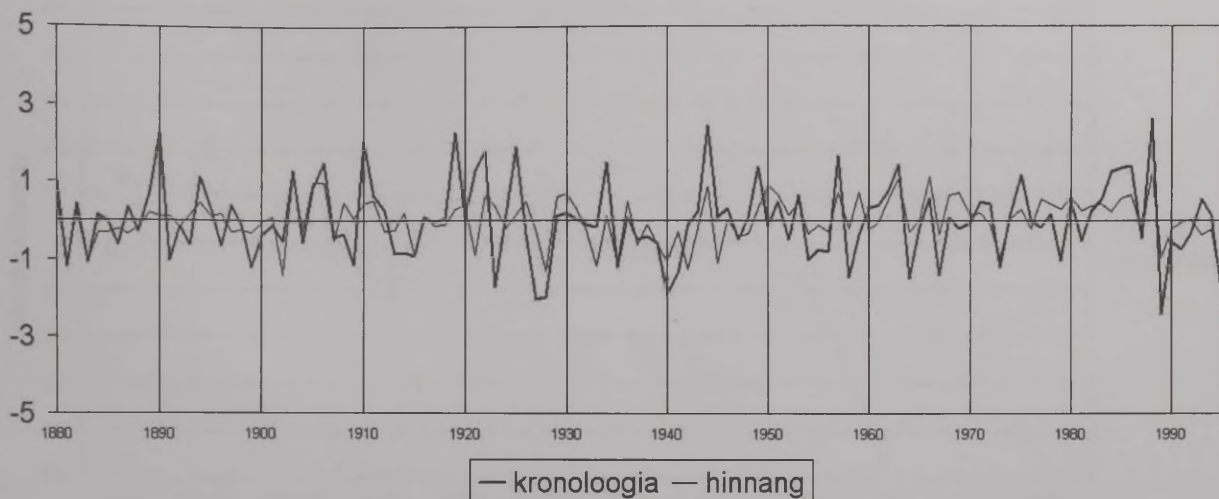
3. TULEMUSED

Kooraste 24 lehise juurdekasvuridades leidis COFECHA, et probleemseid proove oli neli, koodidega: Oelkoo6S, Oelkoo9N, Oelkoo6N Oelkoo22. Juurde lisati Oelkoo6n proovile 2 lisa aastarõngast aastatele 1940 ja 1945. Oelkoo22 proovile 1929. aasta aastarõngas, Oelkoo9n 1989. aasta aastarõngas, Oelkoo6s 1 aastarõngas rea lõppu. Lõpuks saadi 24 parandatud rida. Parandatud mõõtmisandmetega käivitatud COFECHA tulemused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Lisaks üldkasutatavatele statistikutele esitatakse ridade keskmine tundlikkus. Keskmine tundlikkus on ühe aastarõnga laiuse suhteline erinevus teise aastarõnga laiuse suhtes (Fritts, 1976).

Kood	Periood	Aasta- rõngaste arv	Korrelatsioon master- kronoloogiaga	Keskmine väärtus	Maks väärtus	Standard hälve	Auto- korrelatsioon	Keskmine tundlikkus
OELKO10S	1884-2000	117	0.622	1.73	5.50	0.929	0.880	0.190
Oelko11a	1886-2000	115	0.542	2.04	6.92	1.337	0.844	0.277
Oelko11b	1877-2000	124	0.484	1.22	4.66	1.104	0.894	0.294
Oelko12n	1891-2000	110	0.654	2.99	7.78	1.562	0.759	0.284
Oelko12s	1883-2000	118	0.625	2.78	8.98	1.858	0.803	0.344
OELKOO11	1882-1999	118	0.729	2.30	11.54	2.525	0.914	0.317
OELKOO12	1887-1999	113	0.771	2.67	11.65	2.530	0.882	0.341
Oelkoo21	1932-1999	68	0.534	1.13	2.15	0.343	0.612	0.203
Oelkoo22	1885-2000	116	0.645	2.06	6.82	1.573	0.950	0.224
Oelkoo23	1888-2000	113	0.702	2.04	10.30	1.585	0.919	0.209
OELKOO3N	1877-2000	124	0.745	2.65	8.15	1.662	0.860	0.236
OELKOO3S	1875-2000	126	0.699	1.99	7.60	1.492	0.870	0.268
OELKOO4N	1896-1999	104	0.626	3.13	8.40	1.799	0.782	0.340
OELKOO4S	1876-1999	124	0.682	2.55	15.37	2.701	0.910	0.370
Oelkoo5n	1881-2000	120	0.779	2.53	6.18	1.174	0.758	0.247
Oelkoo5s	1886-2000	115	0.773	1.19	4.70	0.785	0.817	0.294
OELKOO6N	1878-1999	122	0.369	1.67	15.09	2.107	0.909	0.344
Oelkoo6s	1884-1999	116	0.629	2.60	9.91	2.592	0.949	0.304
Oelkoo7n	1880-2000	121	0.615	1.63	6.14	1.217	0.785	0.333
Oelkoo7s	1878-2000	123	0.565	2.58	12.15	2.197	0.921	0.308
Oelkoo8n	1889-2000	112	0.584	2.18	10.30	1.531	0.809	0.288
Oelkoo8s	1892-2000	109	0.548	1.47	9.49	1.206	0.858	0.295
Oelkoo9n	1878-2000	123	0.643	2.22	11.65	2.357	0.934	0.282
Oelkoo9s	1882-2000	119	0.505	1.09	12.12	1.463	0.861	0.362
keskmine:		2770	0.629	2.11	15.37	1.678	0.859	0.291

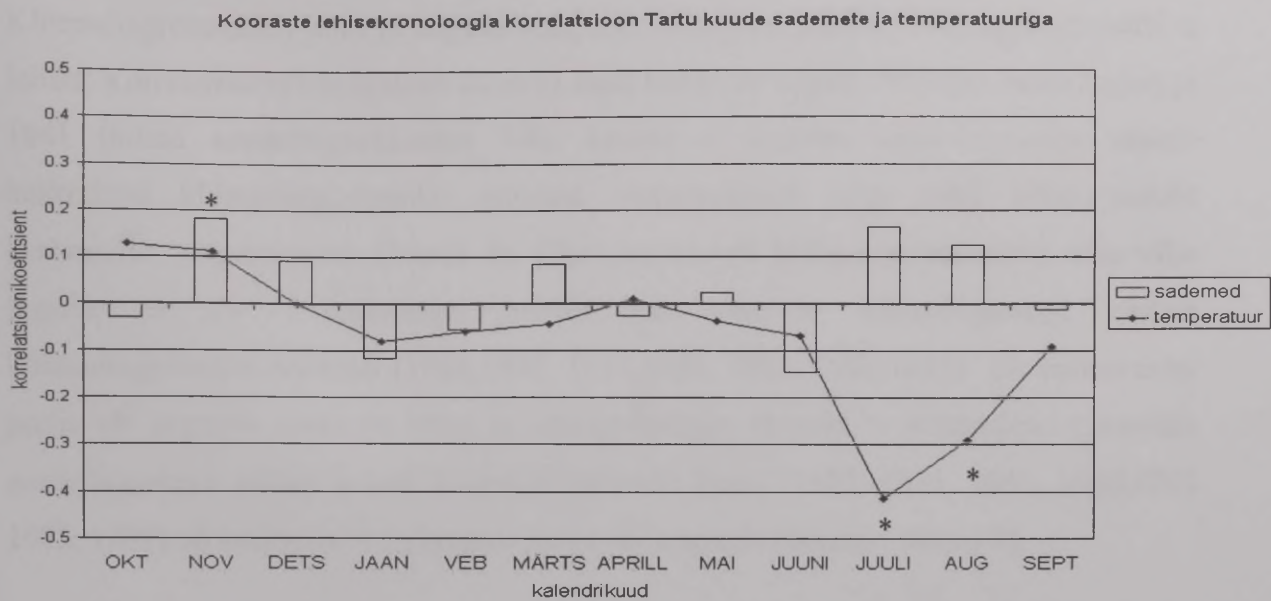
RESPO arvutas välja ka normaliseeritud kronoloogia ja andis võrdluseks kliimanäitajate mitmese regressiooni järgi leitud hinnangu. Programm RESPO tulemuste andmetega on koostatud arvutiprogrammis Excel aastarõngaste kronoloogia ja hinnang kliimategurite järgi joongraafik (Joonis 3).



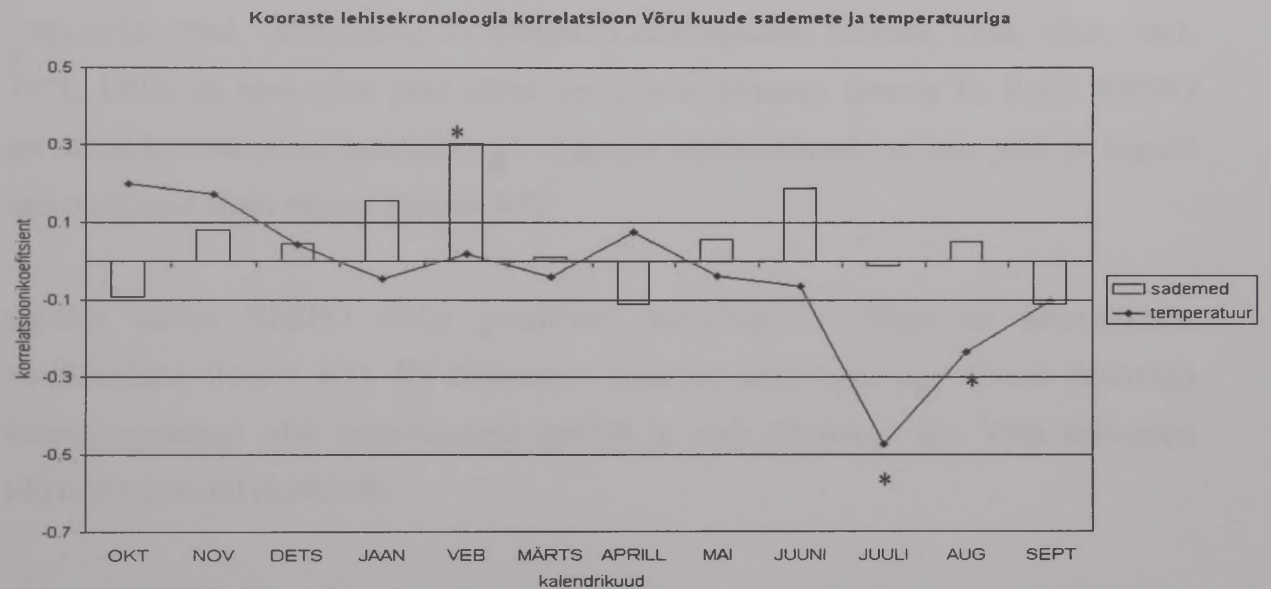
Joonis 3. Kooraste lehiste normaliseeritud kronoloogia ja hinnang kliimategurite järgi.

Programmiga RESPO uuritud kuu keskmiste temperatuuride ja kuu sademete summa võrdlemisel aastarõngaste laiustega tuli välja, et lehiste kasvu mõjutavad juuli ja augusti keskmised temperatuurid ning eelmise aasta novembri sademed. Temperatuuride osas oli negatiivne korrelatsioon, seejuures on juuli temperatuuride mõju tunduvalt suurem. Vastavad korrelatsiooni koefitsiendid: juuli - 0,4141 ja august - 0,2901. Eelmise aasta novembri sademete ja aastarõngaste laiuste vahel oli RESPO korrelatsioon positiivne, korrelatsioonikordaja 0,1814 (Joonis 4).

Võru kliimaandmeid kasutades oli temperatuuride osas sarnane tendents, vastavad korrelatsiooni koefitsiendid: juuli – 0,4727, august – 0,2355. Erinevus ilmnas sademete osas, kus määravaks sai antud kasvuaasta veebruar, korrelatsioonikoefitsiendiga 0,3041. Lehiste kronoloogia korrelatsioon Võru meteoroloogia jaama andmetega on toodud joonisel 5.



Joonis 4. Kooraste lehisekronoloogia korrelatsioon Tartu kuude sademete ja temperatuuridega. Tärnidega on tähistatud olulisus nivool 0,05 RESPO poolt arvutatud korrelatsiooni koefitsiendid.

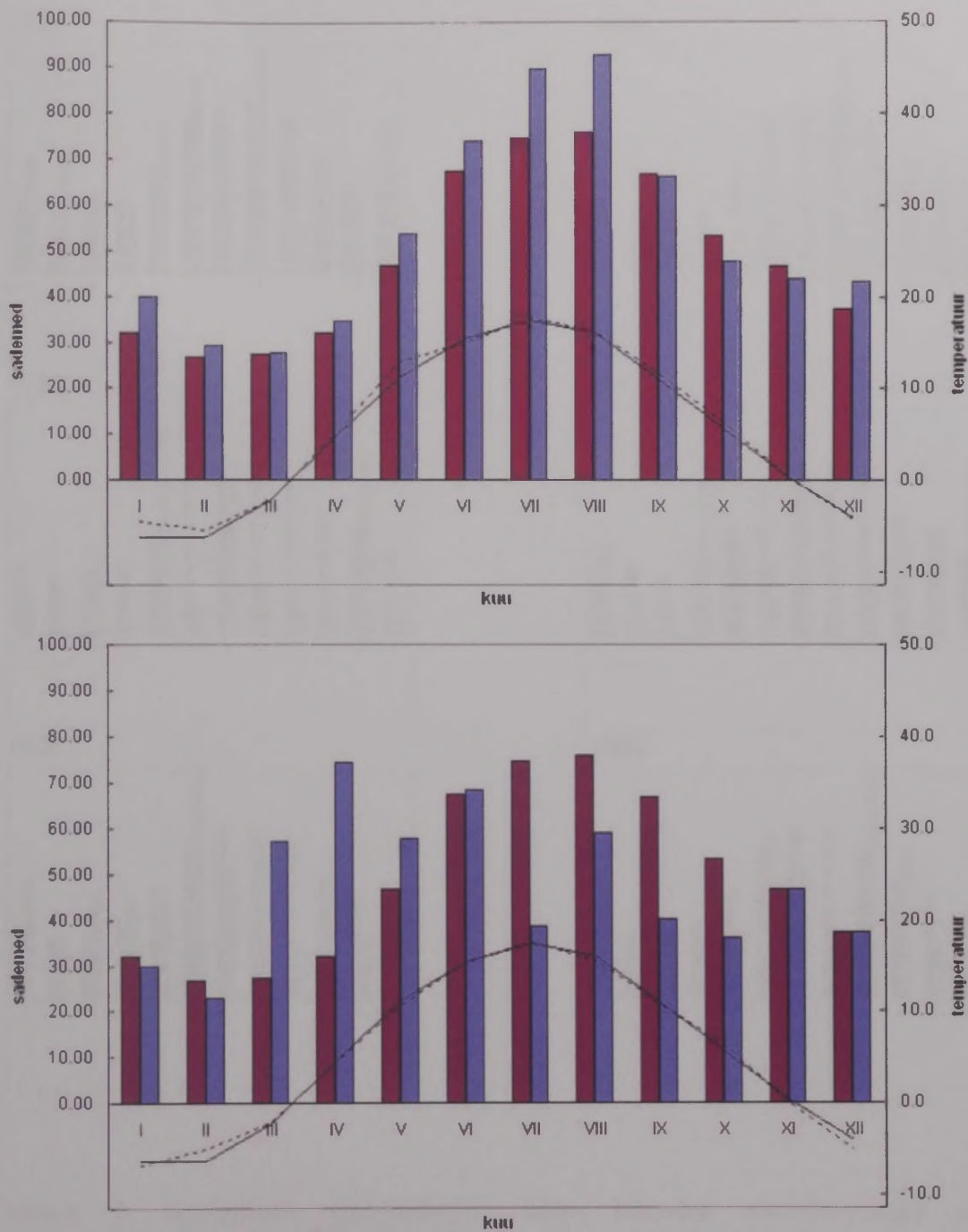


Joonis 5. Kooraste lehisekronoloogia korrelatsioon Võru kuude sademete ja temperatuuridega. Tärnidega on tähistatud olulisus nivool 0,05 RESPO poolt arvutatud korrelatsiooni koefitsiendid.

Kliimadiagrammidelt juuli ja augusti temperatuuride osas märkimisväärseid sarnasusi ei leitud. Korrelatsioonikordajatega lähevad hästi kokku nt aastad 1957 (lai aastarõngas) ja 1941 (kitsas aastarõngas)(Joonis 7-8). Laiade ja kitsaste aastarõngastega aastate keskmistel kliimadiagrammidel erinesid temperatuurid väga vähe kõigi aastate keskmisest temperatuurist (Joonis 6). Üksikute aastate kliimadiagrammidelt võis välja lugeda, et 11 keskmisest aastarõngast laiemate aastarõngastega aastate kliimadiagrammist seitsmel (1925,1949, 1957,1984, 1985, 1986,1988) oli temperatuur juulis või augustis madalam kõigi aastate keskmisest (Joonis 7). Keskmisest kitsamate aastarõngastega aastate korral kliimadiagrammist kuuel (1927, 1935, 1941, 1940,1964 1973, 1989) oli keskmine temperatuur juulis või augustis kõrgem (Joonis 8).

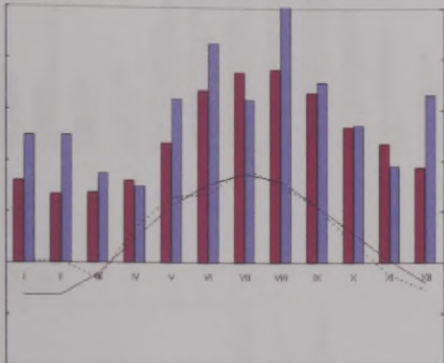
Küll aga võis kliimadiagrammide visuaalsel võrdlusel välja lugeda, et keskmisest laiemate aastarõngastega aastatel (1925, 1957, 1963, 1985, 1986, 1988) on suve teine pool olnud tunduvalt vihmasem kui keskmisel aastal (Joonis7). Juhul, kui juulis ja augustis on sademeid vähem, siis on olnud eelnevalt sademeterikkad kuud (1934, 1949,1975, 1984, 1997)(Joonis 7). Kitsaste aastarõngastega aastatel(1958, 1964, 1967, 1973, 1995) on suve teine pool olnud keskmisest põuasem (Joonis 8). Kuigi RESPO arvutatud korrelatsiooni kordajad olid allapoole usaldusnivood, on seos juuli ja augusti sademete osas siiski olemas (Joonis 4-5).

Aprillis näitas RESPO nõrka positiivset korrelatsiooni. Mais on korrelatsioon nullilähedane (Joonis 4-5). Ka keskmisest laiemate aastarõngastega aastate keskmisel kliimadiagrammil olid temperatuurid aprillis ja mais kõrgemad kui Võru keskmisel kliimadiagrammil (Joonis 6).

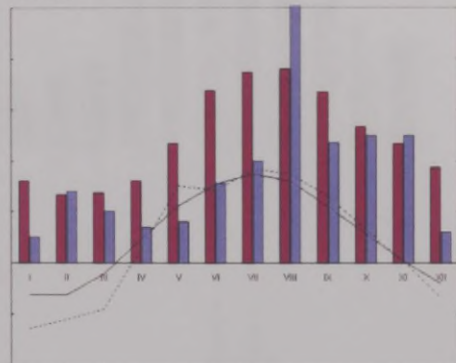


Joonis 6. Võru meteoroloogia jaama kliimadiagramm võrrelduna Kooraste lehiste keskmisest laiemate aastarõngastega (ülal) ja keskmisest kitsamate aastarõngastega (all) aastate kliimadiagrammidega. Punane tulp tähistab Võru sademeid, sinine sademeid keskmisest laiemate ja kitsamate aastarõngastega aastatel. Pidevjoonega on tähistatud Võru kuude keskmised temperatuurid ning katkendjoonega keskmisest laiemate või kitsamate aastarõngastega aastate kuude keskmised temperatuurid.

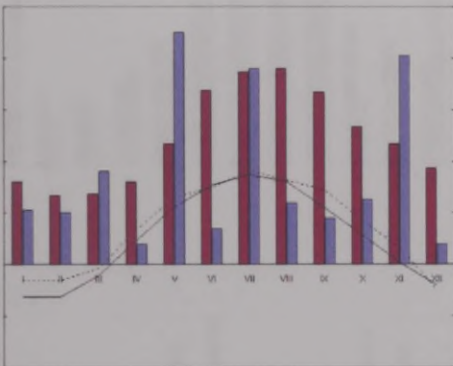
1925



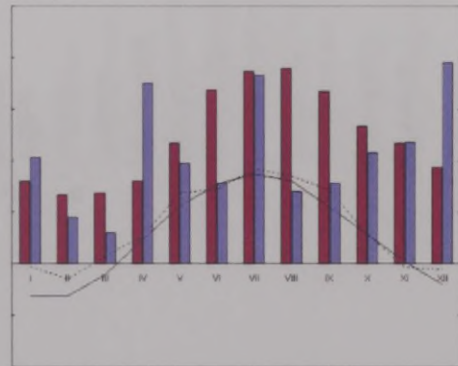
1963



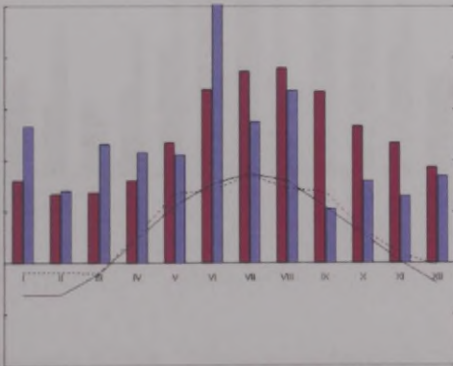
1934



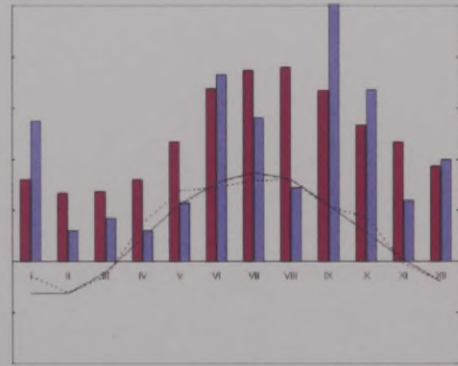
1975



1949

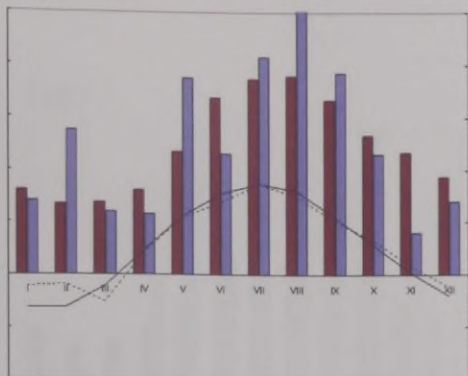


1984

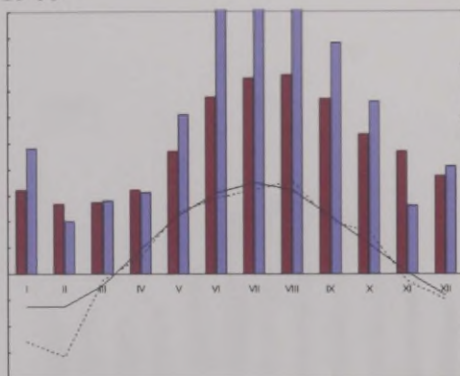


Joonis 7. Keskmisest standardhälbe võrra laiemate aastarõngastega aastate kliimadiagrammid. Punane tulp tähistab Võru sademeid, sinine tulp laiemate aastarõngastega aastate kuude sademeid. Pidevjoonega on tähistatud Võru keskmised kuude temperatuurid, katkendjoonega laiemate aastarõngastega aastate kuude keskmised temperatuurid.

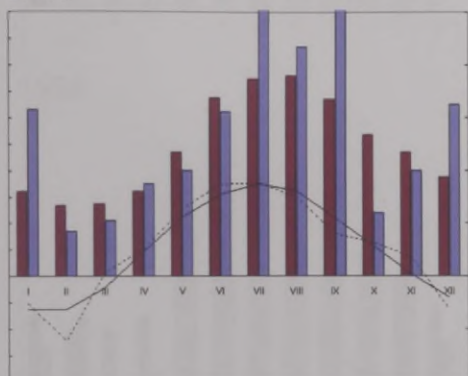
1957



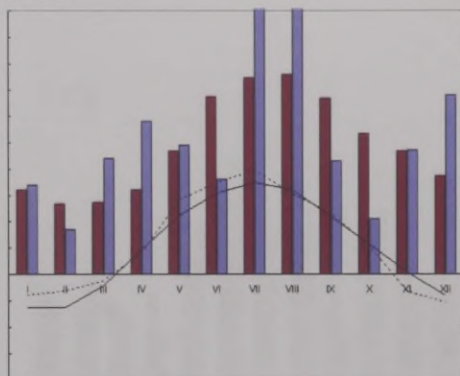
1985



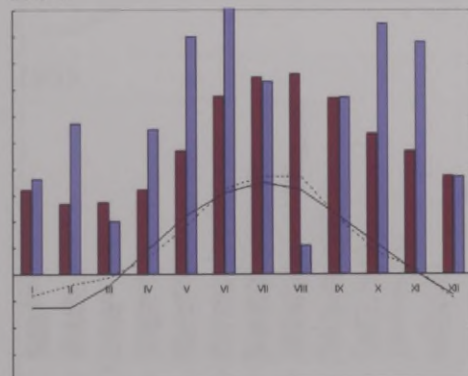
1986



1988

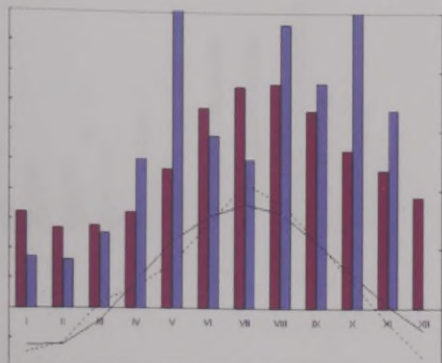


1997

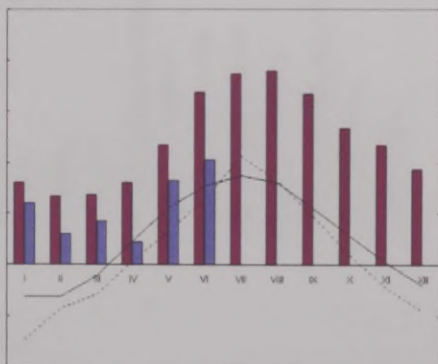


Joonis 7 jätk. Tähistused samad.

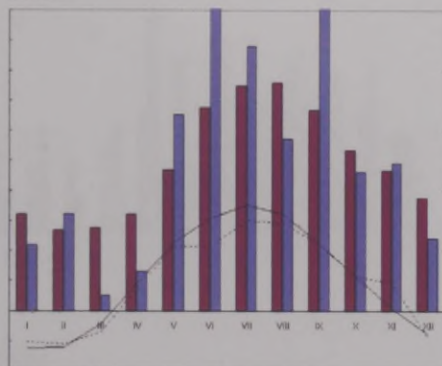
1927



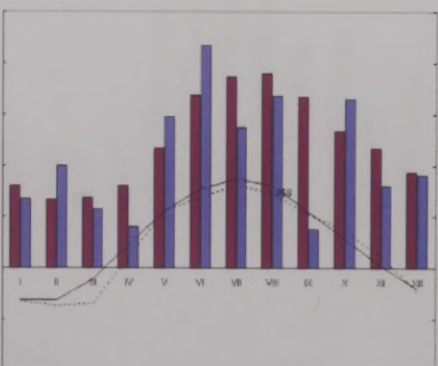
1941



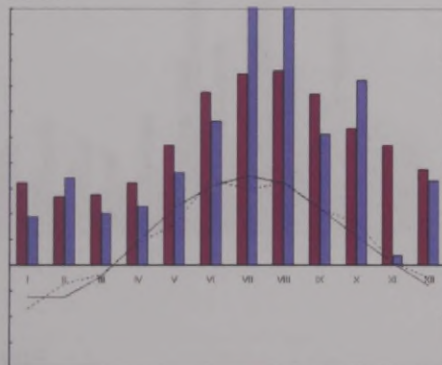
1928



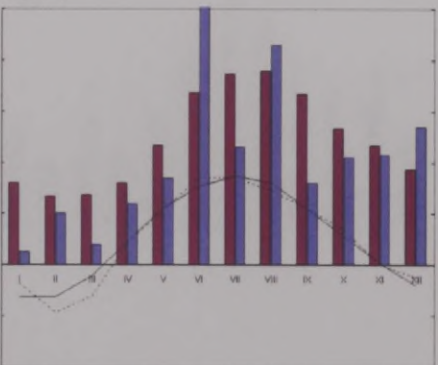
1958



1935

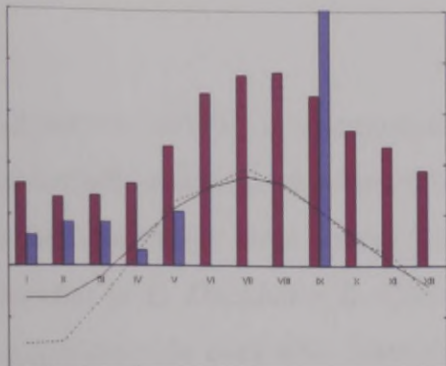


1964

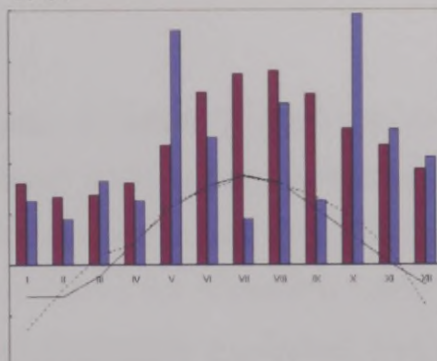


Joonis 8. Keskmisest standardhälbe võrra kitsamate aastarõngastega aastate kliimadiagrammid. Punane tulp tähistab Võru sademeid, sinine tulp kitsamate aastarõngastega aastate kuude sademeid. Pidevjoonega on tähistatud Võru keskmised kuude temperatuurid, katkendjoonega kitsamate aastarõngastega aastate kuude keskmised temperatuurid. 1940. ja 1941. aasta sademete andmed osaliselt puuduvad.

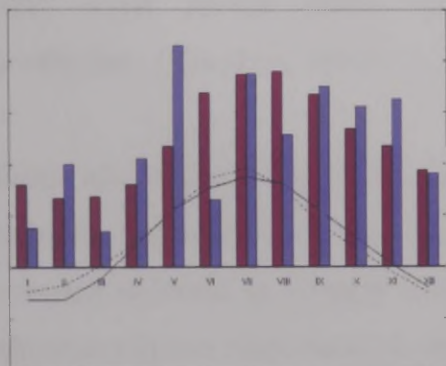
1940



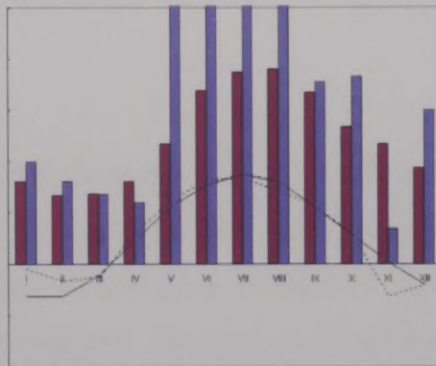
1967



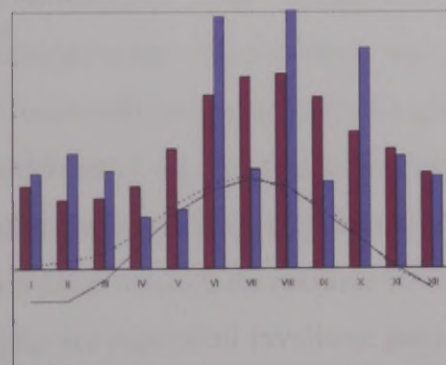
1973



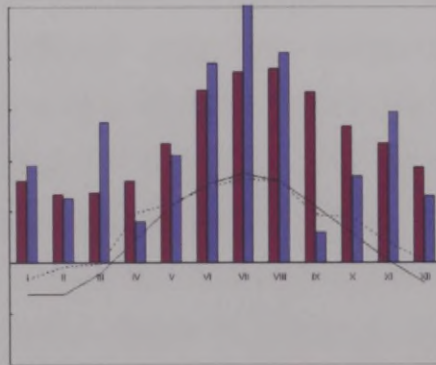
1998



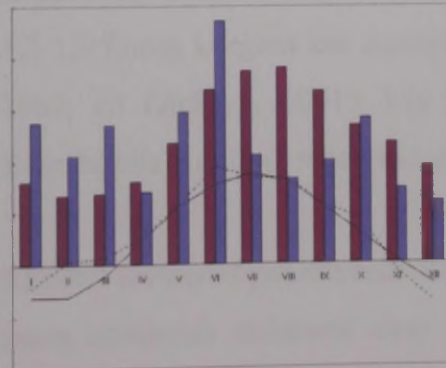
1989



2000



1995



Joonis 8 jätk. Tähistused samad.

4. ARUTELU

Käesoleva uurimuse tulemustest võib järeldada, et lehiste kasvule on soodsamad keskmisest madalamad temperatuurid kasvuperioodi juulis ja augustis ning sademed on üldiselt soodsaks kogu kasvuperioodi jooksul. Sarnaseid tulemusi on näidanud ka *Larix decidua* ja *L. Decidua* x *L. Kaempferi* uurimine Poolas, kus korrelatsioonikoefitsiendid temperatuuride osas olid kasvuperioodil juulist septembrini negatiivsed ning sademete osas maist juulini näitas uurimus märkimisväärsed positiivseid korrelatsiooni koefitsiente (Oleskyn, 1991).

Frittsi aastarõngaste laiuste ja kliimaatiliste parameetrite seoste skeemid on üks võimalus eelnenud uurimuse tulemuste tõlgendamiseks. Frittsi järgi aktiivse kambiumi perioodil vähesed sademed ja kõrgem temperatuur põhjustavad taimedes veestressi. Tulemusena väheneb pinnase niiskustase ja vee absorptsioon. Veestress vähendab otseselt fotosünteesi intensiivsust, sest kõrgematel temperatuuridel suureneb hingamine. Fotosünteesi intensiivsuse vähenemisel on aga vähem toitaineid aastarõnga moodustamiseks. Veestressil on otsene mõju ka apikaalsele meristeesile ja lehtede moodustumisele. Need piirkonnad on aga oluliste kasvuregulaatorite allikad. Vähenenud apikaalse kasvu korral moodustub vähem okkaid, mis omakorda vähendab fotosünteesiva ala pindala. Veestress mõjutab otseselt nii rakkude suurenemist ja uute rakkude moodustumist, tulemusena võib olla kasvuperiood tavalisest palju lühem (Fritts, 1976) (Skeem 1). Polster on avaldanud, et päevane lehiste transpiratsiooni kiirus on $3,8 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$ okaste värskekaalust, mis on 1,7-1,9 korda kõrgem kui transpiratsioon *Pinus sylvestrisel* ja *Pinus strobusel* (Polster, 1967, cit Oleksyn, 1991). Kui lehiste transpiratsioon on kodumaistest mändidest on suurem, siis järelikult vajavad nad Eesti tingimustes rohkem niiskust.

RESPO arvutatud positiivseid korrelatsiooni koefitsiente kasvuaasta veebruari ja eelmise aasta novembri sademete osas võib samuti põhjendada H. C. Frittsi Skeemide abil. Olulised on ka aktiivsele kasvule eelnenud kuude kliimaatilised tingimused, nii sügise kui ka varakevade ilmastikuolud. Tingimused, kus kevadel, sügisel ja talvel on temperatuurid

väga madalad või eelnevatel aastatel on olnud veestress, võivad põhjustada väiksemate lehtede ja juurte moodustumist ja soodsate tingimuste ilmnemisel on puu võimeline vähem fotosünteesima või niiskust adsorbeerima (Fritts, 1976) (Skeem2). Talvised sademed võivad olla lehiste kiireks kasvuks soodsad kevadel ja vara suvel, säilitades pinnase niiskust ning, on kevadisel sulamisel oluliseks veeallikaks (Chaundhary, 2000 et al.). Suur osa kasvuperioodi varases alguses toimuvast kasvust sõltub kevadel ja sügisel akumulunud toitainetest, sest fotosünteesi produktid, mida hetkel toodetakse kasutatakse peamiselt kasvava ladva kudede poolt. Toitained jõuavad viimasena tüve ja juurte kambiumini. Selle tulemusena tüve aastarõngaste laius sõltub ka kasvuperioodile eelnenud kuudel varutud toitainetest (Fritts, 1976).

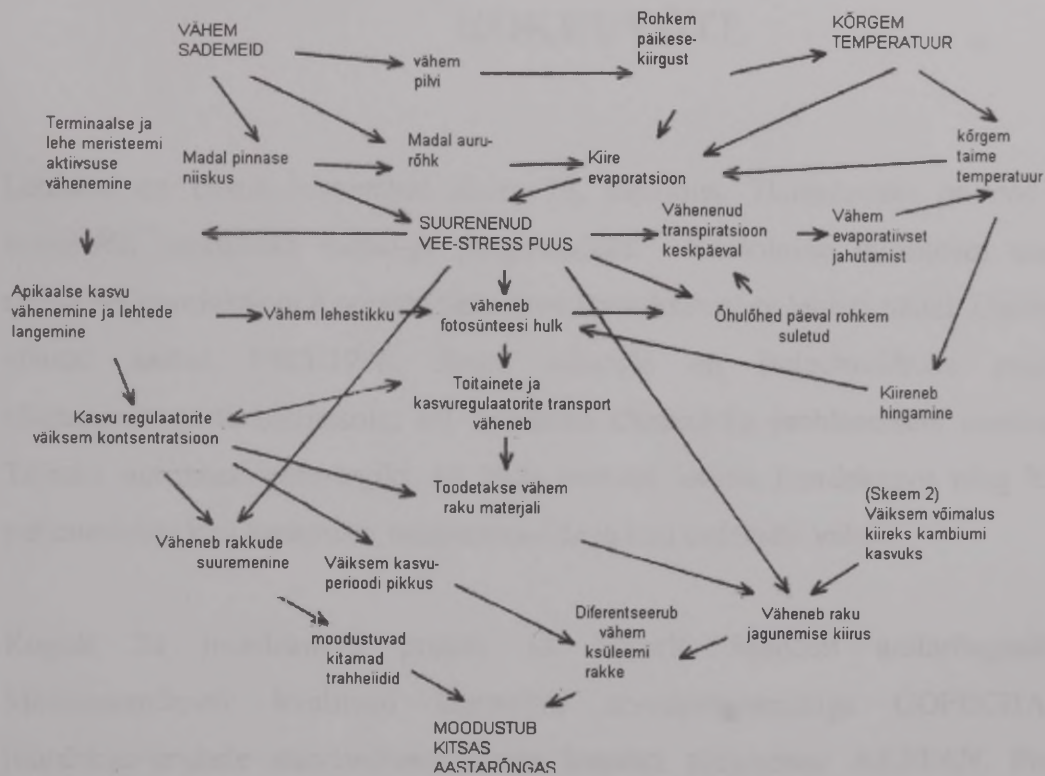
Väga jahedad temperatuurid kasvuperioodi ajal võivad vähendada taime füsioloogilist aktiivsust. Isegi kui kambiumi tegevus aktiveerub, võib selle tegevus olla limiteeritud madalate hingamismääradega, madalate kasvuregulaatorite kontsentratsioonidega või toitainete väiksemate kogustega. Jahedad temperatuurid ja lumikatte paksus võivad põhjustada kasvuperioodi alguse hilinemise. Tavaliselt jahedamad temperatuurid suve teisel poolel võivad aga põhjustada varasemat kasvu kinnijäämist. Nii kasvuperioodi lühenemine kui ka rakkude jagunemise vähenemine põhjustavad kitsama aastarõnga moodustumise. (Fritts, 1976) (Skeem 1).

Erich Lõhmuse mändide uurimus on näidanud, et erakordselt karmidel talvedel on puude kasv limiteeritud. Kasvu kinnijäämine võib olla tingitud sellest, et pakase poolt kahjustatud kambium on kasvatanud järgneval suvel lihtsalt vähem puitu (Lõhmus, 1992). Keskmisest laiemate ja kitsamate aastate kliimadiagrammide võrdlus näitas, et külm talv ei ole määravaks lehiste kasvule. Korrelatsioon RESPO analüüsil näitas väga nõrka seost aasta esimesel kolmel kuul (Joonis 4-5). Võrreldes standardhälbe võrra keskmisest laiemate ja kitsamate aastarõngastega aastate kliimadiagramme, selgus, et talvised temperatuurid erinevad väga vähe kõigi aastate keskmistest temperatuuridest (Joonis 6). Kitsaste aastarõngastega aastate kliimadiagrammide võrdlus näitas, et pooltel aastatel on temperatuur talvel olnud väga palju madalam kõigi aastate keskmisest. Samas võis sarnaseid aastaid leida ka laiemate aastarõngastega aastate kliimadiagrammidel

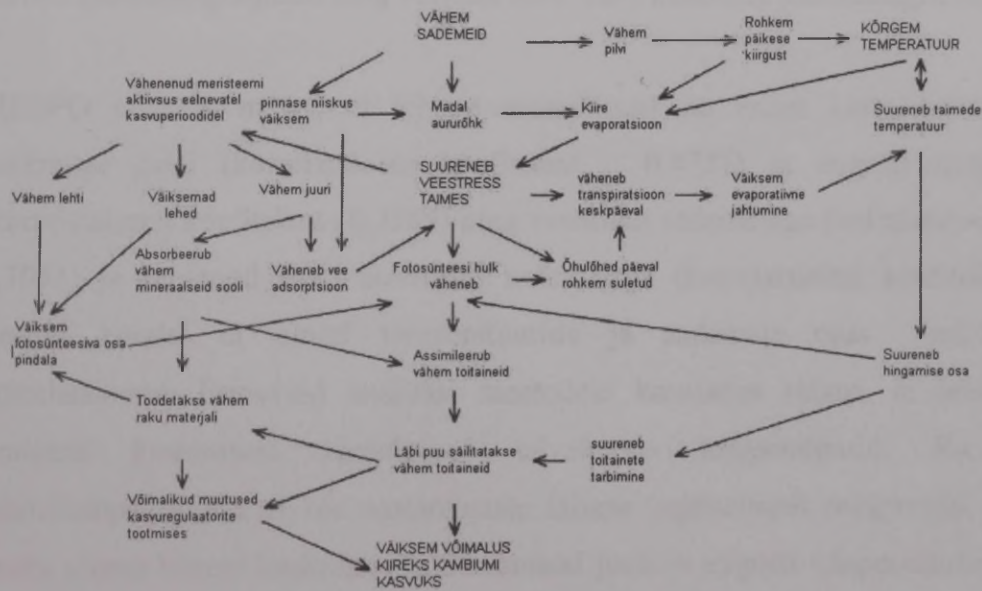
(Joonis 7-8). Sarnaseid tulemusi on näidanud ka *Larix griffithiana* aastarõngaste analüüs Ida-Himaalajas, kus keskmisest madalamad talve temperatuurid ei ole lehiste kasvu limiteerimisel olulised (Chaudhary, 2000 et al.).

Samad Ida-Himaalaja lehiste uurimuse tulemused näitavad, et keskmisest madalamad temperatuurid märtsis on lehiste kasvule järgneval vegetatsiooniperioodil mitesobivad. Tõenäoliselt keskmisest madalamad temperatuurid võivad põhjustada kasvuperioodi alguse hilinemise (Chaudhary, 2000 et al.). Käesolevas uurimuses kitsaste ja laiade aastate keskmisi kliimadiagramme võrreldes see välja ei tulnud, keskmisest laiemate ja kitsamate aastate keskmised temperatuurid märtsis erinesid väga vähe keskmisest Võru kliimadiagrammist (Joonis 6). Küll aga üksikute keskmisest kitsamate aastarõngastega aastate kliimadiagrammidest viiel (1928, 1940, 1941, 1958, 1964) oli märtsikuu keskmine temperatuur oluliselt madalam kui keskmisel aastal (Joonis 8). Ka RESPO näitas negatiivset korrelatsiooni märtsi temperatuuridega, mis võib olla põhjendatud ka sellega, et kõrgematel temperatuuridel hakkab kasvuperiood liiga vara pihta ning lehistel võivad olla tundlikud öökülmade suhtes (Johansen, 1995). RESPO näitas siiski nõrka positiivset korralatsiooni aprillis, mida kinnitas ka keskmisest laiemate aastarõngastega aastate keskmine kliimadiagramm, kus aprilli ja mai temperatuurid olid kõrgemad kui Võru kliimadiagrammil. Aprilli ja mai soojemate temperatuuride soodne mõju kasvule võib olla seletatav kasvuperioodi varasema algusega.

Käesoleva uurimuse tulemuste põhjal võib järeldada, et lai aastarõngas võib kujuneda väga erinevate ilmastikuolude korral. Ühtset põhjust välja tuua ei saa. Iga lai aastarõngas võib olla mingi erineva sademete ja temperatuuri kombinatsiooni tagajärg. Üldiselt mõjuvad kasvule soodsalt sademeterohkus ning kasvuperioodi hilisema osa keskmisest madalamad temperatuurid.



Skeem 1. Esitatakse vähestest sademetest ja kõrgetest temperatuuridest tulenevad seosed kasvuperioodi jooksul, mis põhjustavad kitsa aastarõnga moodustumise (Fritts, 1976)



Skeem 2. Esitatakse mõningad vähestest sademetest ja kõrgetest temperatuuridest tulenevad seosed eelneval kasvuperioodil, mis põhjustavad kitsa aastarõnga moodustumise (Fritts, 1976).

KOKKUVÕTE

Lehiseid on Eestis kasvatatud alates 18. sajandist. Tänapäevaks on nad muutunud suhteliselt tavalisteks metsa-ja pargipuudeks. Käesolevas uurimuses uuriti lehiste radiaalset juurdekasvu Kooraste Suurjärve ääres kasvavate lehiste näitel. Uurimise alla on võetud aastad 1925-1996. Kuna lehistele on iseloomulikuks puuduvate ja vääraastarõngaste olemasolu, oli esmaseks ülesandeks probleemsete aastate leidmine. Teiseks uurimuse eesmärgiks oli leida seoseid lehiste juurdekasvu ning kliimatiliste parameetrite: kuu keskmiste temperatuuride ja kuu sademete vahel.

Koguti 24 juurdekasvu proovi 13 lehiselt. Mõõdeti aastarõngaste laiused. Mõõtmisandmete kvaliteeti kontrolliti arvutiprogrammiga COFECHA. Lehiste juurdekasvuridade standardiseerimiseks kasutati programmi ARSTAN. Programmiga RESPO võrreldi aastarõnga laiuste jääkliimate kronoloogiat Võru ja Tartu meteojaama kuude keskmiste temperatuuride ja sademetega. Erinevate aastate ilmastikuoludest parema ülevaate saamiseks koostati programmis Excel keskmisest laiemate ja kitsamate aastate kliimadiagrammid ning võrreldi neid Võru keskmise kliimadiagrammiga.

RESPO analüüs näitas, et lehiste aastarõngad on enam korreleeritud kasvuaasta keskmiste juuli (korrelatsiooni koefitsient – 0,4727) ja augusti temperatuuridega (korrelatsiooni koefitsient– 0,2355) ning veebruari sademetega (korrelatsiooni koefitsient 0,3041) ja eelnenud aasta novembri sademetega (korrelatsiooni koefitsient 0,1814). Teistel kuudel ei olnud temperatuuride ja sademete osas märkimisväärseid korrelatsioone. Erinevaid analüüsi meetodeid kasutades selgus, et lehiste kasvu ei limiteeri keskmisest madalamad talvekuude temperatuurid. Ka madalamad märtsitemperatuurid ei ole aastaõngaste laiuste kujunemisel määravaks. Lehiste kasv peaks olema kiirem keskmisest madalamatel juuli ja augusti temperatuuridel. Sademete rohkus mõjub aga üldiselt soodsalt kogu kasvuperioodi jooksul.

SUMMARY

The growth of dendrochronologically sensitive tree – Larix. According to the example larches of Kooraste.

Larches have been grown in Estonia since the 18th century. By today they have become rather common forest and park trees. In this research the radial growth of larches was investigated near Kooraste Suurjärv. The period of the research was 1925-1996. As the missing and false annual rings are characteristic to larches, it was primary to find out the connection between increment of larches and climatic parameters between the average monthly temperatures and the monthly precipitation.

Twenty-four increment cores were gathered from thirteen larches. The widths of annual rings were measured. The quality of the measuring data was controlled by the programme COFECHA. To standardize the rows of the increment of larches the programme ARSTAN was used. With the help of the programme RESPO the residual chronology of the width of annual rings was compared to the average monthly temperatures and precipitation in Võru and Tartu meteorological station.

The results of response function analysis showed that radial increment of larches was most correlated with mean temperature of July (coefficient of correlation – 0,4727) and August (coefficient of correlation – 0,2355) and with precipitation of February (coefficient of correlation 0,3041), both of the current year and with precipitation of November (coefficient of correlation 0,1814) of the previous year. Temperatures of other months have minor influence to larch growth.

By using different methods of analyses it came out that the average annual winter temperatures don't limit the growth of larches. Neither do influence the lowest March temperatures the width of annual rings. The growth of larches should be faster when the temperature is lower in July and August. The abundance of precipitation has a good influence during the whole growth period.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Bannister B., 1963. Dendrochronology. Science in archaeology. Thames and Hudson New York : 161- 176
2. Chaundhary V., Bhattachatyya A., 2000. Tree rings analysis of *Larix griffithiana* from the Eastern Himalayas in the reconstruction of past temperature. Current Science 79/12: 1712- 1716
3. Fritts H. C., 1976. Tree Rings and Climate. Laboratory of Tree-ring research Academic Press, New York, 233-237.
4. Huges M. K., 2002. Dendrochronology in climatology - the state of the art. Dendrochronologia, 20/1-2: 95-107
5. Henri D. Grissino- Mayers' i Ultimate Tree-Ring Web Pages
<http://web.utk.edu/~grissino/>
6. Johansen S., 1995. Dendroclimatological study of *Larix gmelinii* at the forest border in the lower Kolyma River region, north-eastern Siberia. Gunneria 69: 1-20.
7. Kaennel, M., Schweingruber, F.H. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Paul Haupt, Birmensdorf and Berne, 467 pp.
8. Laas E., 2004. Okaspuud, Tartu: Atlex
9. Lõhmus E., 1992. Hariliku männi denrokronoloogiline üldskaala. Metsanduslikud uurimused, XXV. Tartu, 50-59
10. Oleksyn J., Fritts H. C., 1991. Influence of climatic factors upon tree rings of *Larix decidua* and *L. Decidua* x *L. Kaempferi* from Pulawy, Poland. Trees Structure and Function 5/2: 75-82
11. Paves H., 2004 .Lehis metsa- ja pargipuu, Eesti Metsaselts, Tartu
12. Siren G., 1963. Tree rings and climate forecast. New Scientist 19(346): 18-20
13. Schweingruber, F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U., 1990 Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochronologia 8: 9-38