

Hanke ”Korjuumenetelmien vertailu – vaikutus puun laatuun ja korjuuyritysten kokonaistuottavuuteen”  
(Sopimus № 2006/124-058)

## Kirjallisuuskatsaus PUUN LAATUTUTKIMUKSIA VENÄJÄLLÄ

*Seliverstov A.A.*  
*Petroskoin valtionyliopisto*

Toimittajat: Gerasimov Ju., Karvinen S., Välkky E., Metsäntutkimuslaitos



**2008**



**METLA**

# SISÄLLYS

<b>JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PUUN LAATU TUTKIMUSKIRJALLISUUDESSA .....</b>	<b>2</b>
1. 1 Puun viat .....	2
1.2 Puun fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet .....	6
1.3 Kasvuolojen vaikutus puun laatuun.....	6
1.4 Biologiset vauriot .....	16
1.5 Metsäpalot .....	16
1.6 Ihmisen toiminnan vaikutus puun laatuun.....	16
1. 7 Puun vauriot.....	18
1. 7. 1 <i>Pyöreän puutavaran vauriot</i> .....	18
1.7. 2 <i>Kasvamaan jätettävän puuston vauriot</i> .....	22
<b>2. JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>26</b>



Raportti on lyhennetty versio alkuperäisestä venäjänkielisestä raportista "Исследования по качеству древесины". Käännettäväksi on valittu osat, jotka käsittelevät venäläistä tutkimusta. Käännös Azbuka Venäjän kielipalvelu Anitta Hyvönen.

Artikkeli on luettavissa sähköisessä muodossa sivustolla [www.idanmetsatieto.info](http://www.idanmetsatieto.info)

"Tämä julkaisu on tuotettu Euroopan unionin tuella. Sen sisällöstä vastaa yksin Metsäntutkimuslaitos, eikä sen voida katsoa edustavan Euroopan unionin mielipiteitä."

## JOHDANTO

Nykyään Venäjällä kiinnitetään yhä enemmän huomiota monitahoiseen laadun käsitteeseen. Tällöin nimenomaan tuotteen laatu nousee toiminnan tärkeimmäksi tekijäksi.

Puuraaka-aineen laatua kuvaavia käsitteitä ovat muun muassa puun tekniset ominaisuudet (rakenne, fysikaaliset, mekaaniset ja teknologiset ominaisuudet jne.) tai puun laatu, puutavaran laatu jne. Puun tekniset ominaisuudet todetaan laboratoriokokein, mikä on hankalaa toteuttaa käytännössä. Sen vuoksi raakapuun laadun tärkeimpinä tunnusmerkkeinä käytetään laadullisia ja määrään perustuvia kriteereitä: vikoja ja mittoja, jotka puolestaan on määritelty virallisissa ohjeistoissa [41]. Tällöin puun laatu määritetään silmämääräisellä tarkastelulla, jonka avulla selvitetään ja arvioidaan puutavaran viat ja puutteet. Lisäksi ammattitaitoiset puun myyjät ja ostajat asettavat puutoimituksista sopiessaan puulajia, puutavaran kokoa, vikoja ja käsittelyvaurioita koskevia lisävaatimuksia.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on tieteellisiä tutkimuksia analysoimalla ja yksittäisiä standardeja tarkastelemalla selvittää puun laatu tutkimuksissa vähemmälle huomiolle jääneitä kysymyksiä, joita ovat muun muassa puutavaran ja metsiköiden laadun tutkiminen.

Pyöreän puutavaran laatua tarkastellaan kahdesta näkökulmasta:

- Luontaisesti syntyneet ja metsätalouden toimien aiheuttamat puun viat sekä fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet. Erityisesti tarkastellaan viljelymetsien kasvuolosuhteita (maaperää, ilmastoja jne.), metsiköiden syntyä ja kasvua, biologisia vaurioita, puuta tuhoavia sienitauteja, metsäpaloja, istutusmateriaalin laatua sekä ihmisen toiminnan vaikutuksia.
- Puunkorjuussa ja kuljetuksessa syntyneet puutavaran vauriot. Erityisesti tarkastellaan korjuumenetelmiä (tavaralaji-, runko- ja kokopuumenetelmää), käytettäviä koneita ja laitteita, työntekijöiden ammattitaitoa, hakkuuajankohtaa ja -paikkaa sekä puutavaran varastointiaikoja.

Tämä kirjallisuuskatsaus on tehty Petroskoin valtionyliopiston ja Suomen Metsäntutkimuslaitoksen yhteishankkeessa ”Korjuumenetelmien vertailu – vaikutukset puun laatuun ja korjuuryitysten kokonastuottavuuteen”. Hanke on rahoitettu Euregio Karelia naapurisuusohjelman kautta. Artikkelin on luettavissa sähköisessä muodossa sivustolla **[www.idanmetsatieto.info](http://www.idanmetsatieto.info)**.

# 1. PUUN LAATU TUTKIMUSKIRJALLISUUDESSA

## 1.1 Puun viat

Puun viat ovat tärkeitä puun laadun mittareita, koska vikojen olemassaolon ja määrän mukaan määritellään puutavaran laatuluokka eri käyttötarkoituksiin. Vikojen vaikutus puun laatuun riippuu vian tyypistä, koosta, määrästä, paikasta ja korjattavan puutavaran käyttötarkoituksesta. Tietyn vian esiintyminen voi olla yhdessä puutavaralajissa kokonaan kiellettyä, mutta toisessa se voidaan hyväksyä tietyin rajoituksin ja kolmannessa sillä ei välttämättä ole käytännön merkitystä. Puun tavallisimpia laatuviakoja ovat oksat, lahot, halkeamat ja lenkous [10, 79].

Eniten puutavaran laatuun vaikuttavat puunrunгон elävät ja kuolleet **oksat** [13]. Tukiin laatu riippuu toisaalta tukkipuussa olevista oksista [40], toisaalta vain osittain irti sahattujen oksien (oksentynkien) määrästä ja pituudesta [64]. Professori N. P. Anutshinin [4] mukaan havupuulajien tärkein laatuviaka on oksat. Oksat voivat vaikeuttaa puunjalostusta ja käsittelyä myöhemmissä vaiheissa, johtaa ylimääräisiin työvaiheisiin tuotannossa sekä loppujen lopuksi alentaa halutun tuotteen saantoa. Esimerkiksi vanerin pinnalla olevat oksat korvataan puutapeilla. Männyn oksaisuus on laatuviakko seitsemässä tapauksessa kymmenestä, kuusen kohdalla vastaavasti kahdessa tapauksessa kolmesta. Koivun yleisin vika on oksat.

Oksien vaikutusta puutavaran ja siitä saatavien sahaustuotteiden laatuun on tutkittu Kirovin ja Siperian metsäteollisuuden tutkimuslaitoksissa sekä Arkangelissa toimivassa mekaanisen puunjalostuksen tutkimusinstituutissa (TsNIIMOD). Taulukossa 1 esitetään tukeista tuotetun havusahatavaran saantoprosentit ja arvokerroimet<sup>1</sup>. Tukkioksentynkien maksimikoot vaihtelevat.

**Taulukko 1.** Havusahatavaran keskimääräiset saantoprosentit ja arvokerroimet jaoteltuna tukkioksentynkien maksimikoon mukaan.

Kasvialue	Oksan maksimikoko, mm		Keskiarvot			
			sahatavaran saanto, %		sahatavaran arvokerroin	
Ural	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
	alle 10	alle 10	62,4	61,1	1,62	1,67
	15-20	11-20	61,8	61,2	1,39	1,48
	25-30	21-30	61,4	61,9	1,29	1,32
	35-40	31-50	61,2	62,3	1,20	1,19
	45-50	51-70	61,2	61,8	1,16	1,10
Keskimäärin	-	-	<b>61,6</b>	<b>61,7</b>	<b>1,32</b>	<b>1,36</b>
Itä-Siperia	Lehtikuusi	Mänty	Lehtikuusi	Mänty	Lehtikuusi	Mänty
	alle 10	alle 10	61,5	61,6	1,64	1,62
	11-25	11-20	60,9	62,0	1,47	1,40
	26-34	21-30	61,0	61,6	1,32	1,23
	35-54	31-50	61,8	61,0	1,20	1,12
	55-74	51-70	62,9	61,8	1,03	1,08
	75-124	71-90	63,2	59,6	0,87	1,05
	Keskimäärin	-	91-160	-	60,3	-
-	-	<b>61,8</b>	<b>61,3</b>	<b>1,27</b>	<b>1,23</b>	

Taulukosta 1 käy ilmi, että oksan maksimikoko ei käytännössä vaikuta sahattavaran saantoon. Ero suurimman ja pienimmän saannon välillä mänty-, kuusi- ja lehtipuutukeilla ei ylitä 2,5 prosenttia. Havusahatavaran arvokerroin riippuu tukkioksentynkien suurimman oksan koosta kaikkien

<sup>1</sup> Tuotetun sahattavaran hinnan suhde vertailulaatuluokan sahattavaran hintaan.

tutkittujen puulajien ja niiden kasvualueiden osalta: oksan koon kasvaessa arvokerroin pienenee.

Arkangelin mekaanisen puunjalostuksen tutkimusinstituutin tulokset murtolujuuden vähenemisestä sellaisissa palkkeissa, parruissa ja rimoissa, joissa on reunaoksia, sekä laudoissa, joissa on oksia pinnassa keskimmaisella kolmanneksella, on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Oksien vaikutus männyn lujuuteen.

Oksan koko kappaleen leveydestä tai paksuudesta	Lujuus, % virheettömän kappaleen lujuudesta	
	staattisessa taivutuksessa	syynsuuntaisessa puristuksessa
0,05	90	93
0,10	86	88
0,15	82	83
0,20	77	78
0,25	72	73
0,30	67	68
0,35	63	63
0,40	58	58
0,45	54	53
0,50	49	48

Kuten taulukosta 2 käy ilmi, oksan suhteellisen koon kasvaessa vähenee lautojen, rimojen ja parrujen murtolujuus staattisessa taivutuksessa ja syynsuuntaisessa puristuksessa voimakkaasti. Muun muassa, kun oksan suhteellinen koko on puolet kappaleen leveydestä tai paksuudesta, murtolujuus vähenee leveyden osalta 51 prosenttia ja paksuuden osalta 52 prosenttia. Tämän vuoksi pyöreän puutavaran oksien kokoa rajoitetaan.

Oksat rikkovat puuaineen homogeenisuutta ja johtavat syiden ja vuosilustojen vääntymiseen, mikä puolestaan huonontaa puun mekaanisia ominaisuuksia eli vähentää puun lujuutta. Myös oksien koko ja tyyppi vaikuttavat puun mekaanisiin ominaisuuksiin.

Myös metsikön kasvuolosuhteet vaikuttavat rungon oksaisuuteen ja oksien kokoon [49].

**Laho** (puuta tuhoavien sienien aiheuttamat vauriot) on toinen tukkipuun tärkeimmistä laatuvioloista.

F. P. Komarov ym. ovat todenneet, että painon mukaan määriteltynä lahon vaurioittamasta kuusesta saadaan 5 prosenttia enemmän selluloosaa kuin terveestä puusta, kun tukin pään lahovaurio on 60-70 prosenttia poikkileikkausalasta. Lahovikaisesta puusta valmistetun selluloosan mekaaniset ominaisuudet ovat kuitenkin alentuneet.

Arkangelin mekaanisen puunjalostuksen tutkimusinstituutin töistä [88] käy ilmi, että lehtipuiden tavallisimpia laatuvioloja ovat oksat, sydänlaho ja lenkous. Laho on vallitseva vika 3. laatuluokan haavassa (30 %) sekä kaikkien laatuluokkien järeässä (läpimitta yli 26 cm) pyöreässä puutavarassa (40-47 %). 1.-3. laatuluokan 14-24 cm läpimittaisessa puutavarassa lahoa tavataan useammin haavassa kuin koivussa.

I. A. Alesejev ym. [33] toteaa aiempina vuosikymmeninä tehtyjen tutkimusten tulosten perusteella, että oikeanlaisella maanmuokkauksella, viljelykohteiden sijoittelulla sekä metsänhoitotoimenpiteillä voidaan männiköiden kestävyyttä lisätä 90 prosenttiin 5-20 prosentin sijaan, sekä vähentää pystypuun vikoja 50-60 prosenttia. Haavikoissa on monivuotisilla kokeilla saatu alennettua lahovikaisten runkojen prosentuaalista osuutta.

Samalla tutkijat ovat kehittäneet menetelmän, jonka avulla sydänlahoa puuta voidaan hyödyntää järkevästi (ainespuun saanto kasvaa 65 prosenttiin 25-35 prosentin sijaan).

Tutkijat M. V. Rubtsov, A. P. Nikitin ja A. A. Perjugin Venäjän tiedeakatemian metsäinstituutista ovat tutkineet kuusen lahovikaa eteläisen taigan koivikoissa [73]. Tutkijat toteavat, että kuusentaimikoissa lahovikaisia puita on korkeintaan 10 prosenttia. Vallitsevana (70 %) on 31-50-vuotias kuusi. Pituudeltaan ja iältään lahovikaiset puut ovat pitempiä ja vanhempia kuin terveet puut. Lahovikaiset ovat keskimäärin 1,5 kertaa pitempiä. Osa vaurioituneista puista on vallitsevana populaatiossa. Tyviosassa esiintyvä sydänlaho on yleistä. Kaikissa vaurioituneissa puissa laho on ensimmäisen asteen lahoa, osassa (12 %) on havaittavissa myös toisen asteen lahoamista. Lahon määrä on pientä, lahoa on 2 prosenttia rungon tilavuudesta. Kuusentaimikoihin verrattuna riukumetsässä lahovikaisia puita on 2,5 kertaa enemmän (25 %) ja niissä 3 kertaa enemmän lahoa. Kuusen varttuessa lahovian osuus kasvaa ja puun ominaisuudet (lujuus jne.) huononevat lahon vaivaamissa kohdissa. 55-vuotiaista puista lahovikaisia oli noin 22 prosenttia, 65-vuotiaista 36 prosenttia ja 75-vuotiaista 54 prosenttia. Ensimmäisen lahoamisasteen nuorimmat lahovikaiset puut olivat 22-vuotiaita, toisen lahoamisasteen puut 37-vuotiaita, kolmannen 65-vuotiaita ja neljännen 75-vuotiaita. Kuusikon iän karttumisen ja harvenemisen myötä lahoviat lisääntyvät. Samaan aikaan (ennen kaikkea lahovikaisten puiden) tuulenkaadot ja tuulenmurrot koivikon katveessa ovat yleisiä. Tämän vuoksi kuusen alikasvoksen oikea-aikainen hoito ja alikasvoksen säilyttäminen 60-70-vuotiaista koivikkoa hakattaessa vähentää kuusen lahovikojen määrää.

Pyöreän puutavaran laatuun haitallisesti vaikuttavia **puun rakennevikoja** ovat esimerkiksi kaksinkertainen ydin, valesydänpuu, lyly, vetopuu, poikaoksat, koro, roso, syyhäiriö, avokorot, vesisilo, vinosyisyys, kaarnaroso ja sisäänkasvanut pintapuu.

Tervasrosoa tutkinut V. A. Jarmolovitsh [107] on todennut, että männyn tervasroso on yksi yleisimmistä ja haitallisimmista metsien taudeista Valko-Venäjällä. Sitä aiheuttavat kaksi tavallista ruostesieniin kuuluvaa loissientä *Cronartium flaccidum* Wint. ja *Peridermium pini* (Pers.) Lev. Sienirihmasto surkastuttaa männyn kuoren, jällen ja puun solukot muodostaen männyn oksiin ja runkoon avokoroja. Puun fysiologia häiriintyy koron kasvaessa vähitellen, mikä vaikuttaa haitallisesti mäntyjen kuntoon ja tuottavuuteen [100]. Puu heikkenee vähitellen yhä enemmän ja sen kasvuprosessit hidastuvat. Tervasrosan kehitysaste vaikuttaa huomattavasti puun vuotuisen kasvuun. Kaikilla tutkituilla metsätyypeillä tervasrosan vahingoittamien kuivalatvaisten puiden vuotuisen kasvun on havaittu heikkenevän eniten, kolmas-neljäsosaan terveisiin puihin verrattuna. Suurimmassa osassa erityyppisten metsien tutkituista puista männyn sädekasvun on havaittu lisääntyneen jonkin verran tervasrosan kehittymisen alkuvaiheessa (noin 25 % rungon ympärysmittasta). Korojen kasvaessa ja ympäröidessä runkoa yhä täydellisemmin, sädekasvun on havaittu hidastuvan. Niissä puissa, joissa koro kattaa rungosta 50-75 % tai yli 75 %, sen merkitys verrattuna terveisiin puihin vähenee vastaavasti 40 prosenttiin ja 70 prosenttiin.

Koska männyt saavat tervasrosan itiötartunnan yleensä kolmannen tai neljännen ikäluokan aikana, tutkijat ovat mitanneet puiden sädekasvua 40-vuoden ikäisistä puista. Analyysi osoitti, että useimmin tartunnan saavat puut, joiden vuosikasvu on ollut tuossa iässä kaikkein suurin. Lisäksi, mitä isommaksi vuotuinen kasvu osoittautuu, sitä suuremmalla todennäköisyydellä taudinaiheuttaja iskee puuhun.

Tutkimuksen perusteella tehtiin seuraavat johtopäätökset:

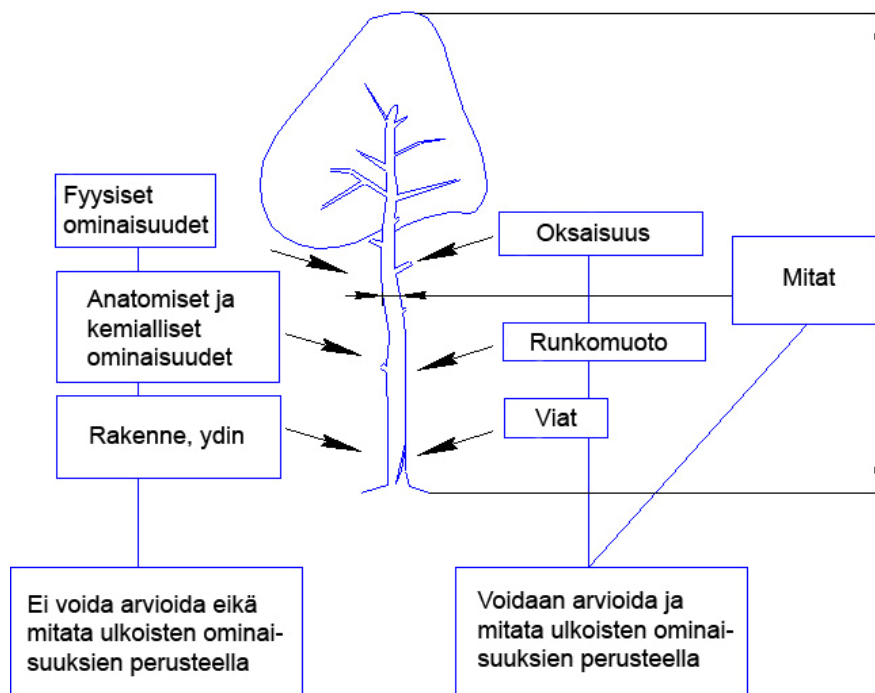
1. Useimmiten tervasrosaan sairastuvat hyvin kehittyneet puut, joiden vuotuinen kasvu on voimakasta.
2. Sairastumisen alkuvaiheissa (kun koro kattaa rungon ympäryksestä alle 25 %) tartunnan saaneiden puiden kasvuprosessit kiihtyvät jonkin verran, mitä voidaan pitää puun vastareaktiona taudinaiheuttajan hyökkäykselle ja kehittymiselle.

3. Taudin kehittyessä edelleen, koron kattaessa rungon ympärysmittasta yli 25 prosenttia, puun läpimitan vuotuinen kasvu alkaa vähitellen heiketä. Koron kattaessa rungosta 25-75 prosenttia, tartunnan saaneiden puiden sädekasvu laskee 25-40 prosenttia. Kun yli 75 prosenttia rungon ympärysmittasta on koron vaurioittamaa, vuotuinen kasvu laskee 45-70 prosenttia. Puut menettävät vastustuskykynsä taudinaiheuttajia vastaan ja joutuvat usein runkotuholaisten kohteiksi.
4. Voimakkain vuotuisen kasvun alenema on havaittavissa kuivalatvuksisissa sairaisissa puissa. Koska puun yhteyttämiskyky on alentunut merkittävästi, vuosilustojen leveys rinnankorkeudella on 3-5 kertaa pienempi terveisiin puihin verrattuna.
5. Ravinteikkaissa kasvuoloissa (käenkaalityypin männiköissä) tervasroson vaikutus puun kasvuprosesseihin heikkenee jonkin verran.

*Hankalinta puuraaka-aineen laadun määrittämisessä on pystypuiden laadun arviointi. Tämän vuoksi O. I. Polubojarinov on luokitellut kaikki laatuominaisuudet, joita on mahdollista tarkkailla pyöreää puutavaraa arvioitaessa [63]:*

1. koko ja muoto
2. poikkileikkauspinnan ominaisuudet
3. kuoren pinnan ominaisuudet
4. kuoritun puun pinnan ominaisuudet

Pystypuun (rungon) laatuksiteerit esitetään oheisessa kaavakuvassa (kuva 1). Kuvan mukaan ulkoisista ominaisuuksista mitattavia laatuominaisuuksia ovat puun koko (sen pituus ja läpimitta), rungon muoto ja näkyvät viat sekä oksaisuus.



**Kuva 1.** Kaavakuva puun laatuarvioinnin yhteydessä huomioitavista ominaisuuksista yksittäisen puun kohdalla.

Oksaisuus (sisäoksien määrä) arvioidaan ja sydänlaho todetaan kokein (kairaamalla lastuja, sahaamalla kiekkoja jne.). Sydänlaho voidaan todeta myös visuaalisesti suorien tunnusmerkkien (kääpien ja kiinteiden laho-oksien) ja välillisten tunnusmerkkien (puun rungossa, kuoressa ja latvassa olevien merkkien) perusteella.

Edellä esiteltyjä puun vikoja ja niiden mittausohjeita käsitellään standardissa GOST 2140 ”Puun viat. Luokittelu, termit ja määritelmät, mittausohjeet”.

## 1.2 Puun fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Tärkeitä laatukriteereitä puun käytössä ja eri käyttötarkoituksiin soveltumisen määrittelyssä ovat fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet: puun tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ), lujuus, kosteus, vuosilustojen määrä senttimetrillä (kpl) jne. Niitä ei ole kuitenkaan määritelty standardein. A. P. Rjabokonin [77] mielestä juuri puun fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet osoittavat standardien määräysten ja puun laadun välisen nykyisen kuilun. Teoriassa kysymys on puun ominaisuuksista ja kasvatustavoitteista, ja käytännössä voimassa olevan standardin normeista. Näin ollen se, että tiettyjen metsätaloustoimenpiteiden avulla parannetaan yksiä ominaisuuksia, johtaa toisten ominaisuuksien huononemiseen. Esimerkiksi hoitohakkuiden ja suhteellisen alhaisen istustustiheyden avulla pystytään lisäämään puunrunkojen kokoominuisuuksia, mutta toimenpiteiden myötä puusta tulee oksaisempia ja puuaineen laatu heikkenee.

## 1.3 Kasvuolojen vaikutus puun laatuun

Kasvuolosuhteiden vaikutusta puun laatuun on tutkittu paljon. Niin puun laatuun kuin myös puiden kasvuun [42] vaikuttavia tekijöitä on useita: esimerkiksi pysyvät eksogeeniset eli ulkosyntyiset tekijät (ilmasto, maaperä, pinnanmuodostus jne.), endogeeniset eli sisäsyntyiset tekijät (puiden geneettinen kyky kasvaa nopeasti tai hitaasti) sekä muuntuvat eksogeeniset tekijät (tekijät, joissa ulkoiset tekijät yhdessä metsätaloustoimenpiteiden avulla muunneltavien kasvuolosuhteiden kanssa ovat ratkaisevina tekijöinä).

Tutkimuksista [7,104] käy ilmi, että hyvälaatuisten mänty- ja kuusimetsien kasvattaminen eteläisen taigan vyöhykkeellä on tarkoituksenmukaista ojitetuilla ja heikosti ojitetuilla (kuivatuksen jälkeen) tasankoalueilla ja vähän kumpuilevilla alueilla tietyillä maannoslajeilla. Yhtä tärkeää on ottaa huomioon, että vähäkalkkisessa maaperässä, jossa ei ole tyydyttyneitä alkaleja, männystä tulee vallitseva puolaji. Paljon kalkkia sisältävä maaperä luo suotuisat olosuhteet kuuselle. Edellä esitettyjen, hydrologisilta olosuhteiltaan erilaisten kivennäismaiden lisäksi myös tiettytyypiset turvesuot voivat suon kuivatuksen jälkeen olla sopivia.

V. A. Ananjevin mielestä metsänhoitotoimenpiteiden (ojituksen, lannoituksen jne.) tehokkuutta on arvioitava niin puiden lisäkasvun määrällä kuin kasvatettavan puun laatutekijöilläkin [2]. Karjalan tasavallassa, Lahdenpohjan ja Pitkärannan piireissä soiden kuivaamisen jälkeen tehdyt kuusikoiden laatututkimukset ovat osoittaneet, että metsiköiden kasvuolosuhteet parantuvat ojituksen jälkeen. Ensimmäisen viisivuotiskauden aikana 85 prosentilla tutkituista puista läpimitan kasvu oli voimistunut 2-4-kertaiseksi. Tiheys oli puolestaan alentunut huomattavasti:  $449 \text{ kg/m}^3$   $369 \text{ kg/m}^3$  (20 vuoden kuluttua ojituksesta). Myös puun syiden suuntaisen lujuuden havaittiin vähentyneen 22-23 prosenttia. Ennen ojitusta ja sen jälkeen syntynyt kuusi oli laadultaan epätasaista. Samalla kuusen tiheyttä ja syiden suuntaista puristuslujuutta kuvaavat arvot olivat ojitetuilla aloilla täysin verrattavissa standardikeskiarvoihin, jotka Euroopan puoleisella Venäjällä ovat  $360 \text{ kg/m}^3$  ja 45 MPa.

Tutkimukset osoittivat myös, että kuusikoiden tavaralajirakenteeseen ojituksen jälkeen vaikuttavat oleellisesti viat kuten oksat, lenkous ja laho. Oksattoman rungon keskipituus oli



puun läpimitasta riippuen 3,1-5,8 m. Oksat vaikuttavat merkittävästi läpimitaltaan 20 cm tai sitä suurempien puiden laatuun, jolloin laatuluokka laskee 1. luokasta 2. luokkaan. Rungon lenkoutta havaittiin eri kohdissa rungon pituutta ja sitä oli 36 prosentilla tutkituista puista. Tyvestä lenkoja puita oli 22 prosenttia.

Ojituksen jälkeen nopeasti kasvaneet kuuset kärsivät epäsuotuisista säästä (kovista lumisateista), minkä vuoksi niiden latvat murtuivat ja niihin muodostui runkolahoa. Noin 15 prosenttiin puista, joissa oli lumenmurron aiheuttamia mekaanisia vaurioita, oli kasvanut uusi latva ja tullut sen vuoksi mutkia [55]. Osassa hakkuikäisistä ja yli-ikäisistä puista oli tyvilahoa. Noin 23 prosentilla puista oli lahovikaa.

Mainitut puiden viat vähentävät ainespuun saantoa yksittäisissä järeysluokissa 3-10 prosenttia verrattuna kuivilla mailla kasvavan puuston vastaaviin lukuihin. Tämän vuoksi tutkija pitää kuusimetsien ojitusta tehokkaana metsänhoitomenetelmänä.

A. V. Kusakin on tutkinut puuaineen tiheyttä ojitetulla Lebedan-suolla Marin tasavallassa [61, 103]. Hän tutki toisessa latvuserroksessa kasvavan kuusen tiheyttä ja eri ojitusvoimakkuuksien vaikutusta puuaineksen tiheyteen. Lebedan-suon ojituksen tuloksena muodostui hyvintuottava metsikkö, jossa toisen latvuserroksen kuusi oli suhteellisen hyvälaatuista. Ojitusta seurannut puuston hyvä tuotto ylitti moninkertaisesti havaitun puun tiheyden vähenemisen. Ojitus on tehokas metsänhoitotoimenpide, kun halutaan vaikuttaa metsän kasvuolosuhteisiin. Männiköiden puun- ja pihkantuottokyvyn lisäämistä ojituksen avulla tutkinut J. A. Frolov [34] on todennut ojituksen lisäävän puuston tilavuutta ja parantavan raaka-aineen laatua.

J. E. Kolesnikov [57] on tutkinut mänty- ja kuusiviljelmien kehityksen erityispiirteitä suhteessa maaperäolosuhteisiin. Hän on käsitellyt 20-30-vuotiaissa mänty- ja kuusimetsiköissä ilmenneitä lainalaisuuksia yksityiskohtaisesti. Tutkimusmetsiköt sijaitsivat auratuilla hienojakoisilla turvemilla ja ajoittain liiallisesta kosteudesta kärsivillä mineraalimailla Leningradin alueella.

N. J. Isaenkova on tutkinut käyttämättömillä maatalousmailla kasvavien männiköiden tilaa [29]. Tutkimukset on tehty Brjanskin alueen läntisissä ja itäisissä piireissä 4-10-vuotiaissa männiköissä. Tutkimuksissa todettiin, että kaikki 2-5-vuotiaiden mäntyjen neulaset olivat kellastuneita ja epänormaalin pitkiä. Neulasten pituus vaihteli 8,5-12,5 cm ollen kaksi kertaa pitempiä kuin metsämailla kasvavien puiden neulaset. Yli 5-vuotiailla männyillä neulasten kellastumista havaittiin vähemmän siten, että alueen itäosissa sitä oli 25 prosentilla ja piirin länsiosissa 10 prosentilla puista. 7-10-vuotiaiden mäntyjen latvuksen muoto oli tyypillinen harsuuntuneille puille. Samalla todettiin, että puiden tyviläpimitta kasvoi (11,6-17,2 cm) mentäessä etäämmälle reunametsästä. Metsässä kasvavien samanikäisten mäntyjen läpimitat olivat yli kaksi kertaa pienempiä (6,2 cm).

N. J. Isaenkova totesi tutkimuksessaan taimikoiden kunnon tyydyttäväksi. Terveitä puita oli kaikkiaan 65 prosenttia, heikentyneitä 20 prosenttia ja kuolevia vain yksittäisiä kappaleita. Taimikkotuholaisista tavattiin kevätversokääriäinen (*Rhyacionia duplana*), punalatikka (*Aradus cinnamomeus*), mäntypuulajien kirvoja (*Cinara*), sekä voimakasta neulastuhoa männynkaristeen (*Lophodermium pinastri*) aiheuttamana. 10 prosentilla männyistä havaittiin voimakkaasti pihkaantuneita pitkittäishalkeamia rungossa. Tutkitulla itäisellä alueella 7-10-vuotiaissa metsiköissä noin 30 prosenttia puista oli monilatvaisia, mikä johtuu kevätversokääriäisen (*Rhyacionia duplana* Hbn.) aiheuttamista vaurioista. Läntisellä alueella tämän tuholaisen aiheuttamia vaurioita oli lähes kaksi kertaa vähemmän. Näin ollen N. J. Isaenkova toteaa, että käyttämättömillä maatalousmailla kasvavissa männiköissä, joiden maaperä ei ole metsille ominainen ja jota ihminen taloustoiminnallaan on häirinnyt, rungon kasvu on epätavallinen (suuri tyviläpimitta), yhteyttämiskyky voimakkaasti heikentynyt ja vastustuskyky epäsuotuisia tekijöitä kohtaan alentunut.

N. I. Kazimirov [31], L. A. Kairjukshitis [32], K. B. Lositskij ja V. S. Tshuenkov [45] ovat tutkineet metsien synnyn lainalaisuuksia. Tärkeimpiä tunnuslukuja, joilla kuvataan taloudelliselta kannalta tarkoituksenmukaisia taimikoita ja hakkuukypsiä metsiä sekä ennustetaan puuston kasvua, ovat havupuulajien osuus puustosta, tilavuus, tiheys, havu- ja lehtipuiden pituusero sekä metsän kasvuolosuhteet (boniteettiluokka, valtapituusboniteetti). Tutkimuksista käy ilmi, että männyn vuotuinen pohjapinta-alan summan kasvu pienenee 20 prosenttia toisen ikäryhmän metsiköissä, joissa on myös 20-30 prosenttia yli metrin mäntyjä pitempiä koivuja. Jos männyn keskipituus ylittää koivun pituuden metrillä, pohjapinta-alan summa kasvaa 20 prosentilla. Tässä tapauksessa kokonaispuusto kasvaa tulevaisuudessa 8-12 prosenttia. Ensimmäisen boniteettiluokan 30-vuotiaassa männikössä, joissa on 1,5-2 m mäntyä lyhyempiä koivuja alle 20 prosenttia ja runkoja kaikkiaan 2000 kpl/ha, joista 40 ikävuoteen mennessä jäljelle jäävät 1700 kpl/ha takaavat runkojen karsiutumisen, runkojen pohjapinta-ala on 24 m<sup>2</sup>/ha ja puuston tilavuus vähintään 160 m<sup>3</sup>/ha.

L. N. Tovkatsh [96] on tutkinut puuston laadun arviointikriteerejä aikaisessa kasvun vaiheessa. Tutkijan mielestä aikaisen arvioinnin avulla on mahdollista täsmentää ajoissa menetelmiä, joilla pyritään saamaan nopeasti hyvälaatuisia metsiä. Laadunarviointi on ehdottomasti tehtävä nimenomaan 20-30-vuotiaassa metsikössä (taimikossa). Tuon ikäisessä metsikössä lajiensisäiset ja lajienväliset suhteet alkavat heikentyä, puut ovat jo jakautuneet tärkeimpien puustotunnusten mukaan, tärkeimmät hoitotoimenpiteet on tehty ja puuston vertikaalinen ja horisontaalinen rakenne on vakiintunut. Taimikoiden laadun arviointikriteereiden määrittämiseksi tutkimuksessa tehtiin 20-30-vuotiaiden ja ja 80-vuotiaiden metsiköiden puustotunnusten korrelaatio- ja regressioanalyysi. Taimikoiden kasvun ennustamisessa 20-30 vuoden iän jälkeen käytettiin apuna metsiköiden kasvun säännönmukaisuuksia.

Tovkatsh toteaa, että kun muut olosuhteet pysyvät samoina 50 ikävuoteen saakka, männyn rungon läpimitta ja pohjapinta-ala ovat suuremmat, jos metsikkö on koostumukseltaan puhdasta männikköä tai jos siellä kasvaa myös kuusta. Kuusi ei useilla metsätyypeillä vähennä männyn kokonaistilavuutta, vaan lisää männyn keskiläpimittaa. On pyrittävä siihen, että metsiköt ovat 50 ikävuoteensa mennessä yhden puulajin metsiköitä, mutta niihin on kuitenkin jätettävä kuusta. Koivuja metsiköissä ei saa olla 20-30 prosenttia enempää. Keskipituudeltaan niiden on oltava 1,5-2 m havupuuta lyhyempiä. Tovkatsh tutkijoihin onkin laatinut käytännön ohjeet 20-30-vuotiaiden luonnontaimikoiden ja viljelymetsien laatutekijöistä Luoteis-Venäjällä.

*Kasvuolosuhteet vaikuttavat puuston määrällisiin tunnuksiin* [8]. Kasvavien puiden määrällisiin tunnuksiin vaikuttavat kasvuolosuhteet, puulaji, boniteetti ja monet muut tekijät. Mainitut tekijät vaikuttavat puunrunгон tilavuuteen ja muotoon (kapenemiseen jne.).

Vuosina 1993-1994 Karjalan metsäteollisuuden tutkimusinstituutti (KarNIILP) ja Puutavaran standardointi- ja tavarantarkastuskeskus Lesekspert (Himkin kaupunki) tekivät Karjalan tasavallassa pyöreän puutavaran läpimittatutkimuksia viidellä metsäkasvillisuusvyöhykkeellä. Pohjoisvyöhykkeeseen kuuluvat Louhen, Kalevalan ja Kemin piirit sekä Kostamus, keskivyöhykkeeseen Mujejärven, Belomorskin ja Segezhan piirit, etelävyöhykkeeseen Karhumäen, Kontupohjan, Präähän, Äänisen ja Aunuksen piirit, länsivyöhykkeeseen Suojärven, Lahdenpohjan, Pitkärannan ja Sortavalan piirit sekä järvivyöhykkeeseen Puhozhin piiri. Tutkimukset osoittivat, että Karjalan eri puulajien tukkien kapeneminen poikkeaa ja vaihtelee kasvualueittain (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Tukkien keskimääräinen kapeneminen kasvillisuusvyöhykkeittäin Karjalassa.

Karjalan vyöhykkeet ja puulajit	Tekijä	
	Tukkipuun keskimääräinen kapeneminen cm/m	
Pohjoisvyöhyke		
Kuusi	1,115	
Mänty	1,490	
Koivu	0,872	
Keskivyöhyke		
Kuusi	1,194	
Mänty	1,142	
Koivu	0,947	
Zaozerje (Äänisenrannan piiri)		
Kuusi	1,043	
Mänty	1,120	
Koivu	0,918	
Länsivyöhyke		
Kuusi	1,022	
Mänty	1,098	
Koivu	0,869	
Etelävyöhyke		
Kuusi	0,968	
Mänty	1,002	
Koivu	0,786	

Puun oksaisuutta on selvitelty monen tutkijan voimin. Tutkimuksissa ei ole käsitelty vain oksaisuuden päämuuttujia kuten oksien määrää ja läpimittaa, mutta myös puunrunгон kolmen vyöhykkeen eli oksattoman vyöhykkeen, kuolleiden oksien vyöhykkeen ja elävän latvuksen suhdetta toisiinsa [64]. Nyt otetaan yksityiskohtaisempaan tarkasteluun puiden tärkein laatutekijä – oksaisuus.

Yksittäisten puiden ja kokonaisten metsiköiden oksaisuutta ovat tutkineet V. I. Melehov, N. A. Babits [50] ja muut. On todettu, että elävän latvuksen pituus muuttuu merkittävästi jokaisen tutkitun kasvuvyöhykkeen, metsätyyppin, kasvuolosuhteiden ja metsikön maantieteellisen sijainnin mukaan (Taulukko 4).

**Taulukko 4.** Runkovyöhykkeen pituus kasvuvyöhykkeittäin ja metsätyypeittäin, m.

Metsätyyppi	Ikä, vuotta	Runгон pituus, m	Pituus, m		
			runгон oksaton vyöhyke	kuolleiden oksien vyöhyke	latvus
Taigan pohjoinen vyöhyke					
Jäkälättyypin männikkö	65	9,6	0,5±0,06	5,8±0,15	3,3±0,27
Puolukkatyyppin männikkö	65	12,1	0,5±0,04	7,5±0,06	4,1±0,09
Mustikkatyyppin männikkö	65	17,3	0,5±0,02	11,6±0,09	5,2±0,13
Taigan eteläinen vyöhyke					
Jäkälättyypin männikkö	65-66	13,6	0,8±0,26	7,2±0,11	5,6±0,02
Puolukkatyyppin männikkö	65-66	15,6	1,1±0,06	8,3±0,07	6,2±0,07
Jäkälättyypin männikkö	65	21,9	1,8±0,52	13,4±0,60	6,7±0,63

Latvukset kasvavat pisimmiksi etelässä, missä maantieteellinen sijainti vaikuttaa puun pituuskasvuun. Pohjoisesta etelään siirryttäessä kuivat oksat karsiutuvat puista paremmin ja oksien keskiläpimitta kasvaa. Pohjoisessa rungon oksattoman vyöhykkeen suhteellinen pituus on 3-5 prosenttia ja etelässä 6-8 prosenttia rungon pituudesta. Karsiutuminen on lisäksi sitä suurempaa, mitä tuottoisampi metsätyyppi on kyseessä. Tätä ei ole havaittu pohjoisella vyöhykkeellä, missä puusto saavuttaa oksien karsiutumisvaiheen myöhemmin, mutta tuohon vaiheeseen saakka maaperän hedelmällisyyden ja kasvuolosuhteiden erolla ei ole prosessiin oleellista vaikutusta.

Merkittävä osa puun rungosta on kuivien oksien vyöhykettä (pohjoisella kasvuvyöhykkeellä 60-67 %, eteläisellä 52-61 %). Kuivien oksien osuus vaihtelee kasvuolosuhteiden mukaan. Tämän vyöhykkeen pituus lyhenee siirryttäessä pohjoisesta etelään. Iän myötä rungon kaikki kolme oksaisuusvyöhykettä pitenevät.

On myös todettu, että tutkituissa viljelymänniköissä pohjoisesta etelään siirryttäessä oksan keskiläpimitta kasvaa oksien määrän vähentyessä yhtä juoksumetriä kohden (Taulukko 5) [37]. Sama kehityssuunta on havaittavissa kaikissa metsätyypeissä. Oksien määrä rungon yhtä juoksumetriä kohden kasvaa säännönmukaisesti rungon pituuden suhteen.

**Taulukko 5.** Viljelymetsiköiden mäntyjen rungon oksaisuutta kuvaavat tunnuksat.

Metsätyyppi	Oksan keskiläpimitta, mm		Oksien keskimääräinen lukumäärä, kpl rungon kuivan ja elävän vyöhykkeen yhtä juoksumetriä kohden	
	Kuiva (kuivien oksien vyöhyke)	Elävä (latvus-vyöhyke)	Kuiva (kuivien oksien vyöhyke)	Elävä (latvus-vyöhyke)
Taigan pohjoinen vyöhyke				
Jäkälätyyppin männikkö	6,05±0,1	7,84±0,2	13,75±1,28	11,65±1,32
Puolukkatyyppin männikkö	7,90±0,3	9,39±0,4	10,33±0,70	11,93±0,33
Mustikkatyyppin männikkö	11,11±0,7	12,27±0,4	8,92±0,47	12,19±0,40
Taigan eteläinen vyöhyke				
Jäkälätyyppin männikkö	9,20±0,8	12,07±1,0	10,33±1,36	9,43±1,21
Puolukkatyyppin männikkö	10,50±0,2	12,98±0,3	8,41±0,38	10,56±0,31
Mustikkatyyppin männikkö	14,90±0,3	16,46±0,5	5,90±0,58	9,91±0,69

Tulokset osoittavat, että viljelymetsiköt eivät eroa oksaisuuden suhteen luontaisesti syntyneistä.

Arkangelissa sijaitsevan Pohjoisten alueiden ympäristöinstituutin tutkijat, esimerkiksi O. N. Jezhov, ovat tutkineet kasvuolosuhteiden vaikutusta runkolahon esiintymisen säännönmukaisuuteen männillä. Tutkimuksessa todetaan, että männynkääpä (*Phellinus pini*) on yksi yleisimmistä männyn sydänpuuta lahottavista sienistä hakkuukypsissä ja yli-ikäisissä metsissä. Esimerkiksi kosteusoloiltaan normaaleissa männiköissä laho kattaa runkoläpimitaltaan hyvin kasvaneista puista keskimäärin 66,3 prosenttia runkoläpimitasta ja kosteissa männiköissä 63,4 prosenttia runkoläpimitasta. Lahovian kokonaislaajuus (pituus) on keskimäärin 11,1 ja 11,4 m kasvuolosuhteista riippuen, mutta maksimipituus voi olla jopa 99 prosenttia. Useimmiten laho on rungon alaosassa (laskeutuen kantaan asti) ja keskiosassa (käävän itiöemästä ylöspäin). Lahovian kehittymisen suhteelliset keskiarvot kasvuoloista riippuen ovat pituuden mukaan 30-62 prosenttia ja läpimitan mukaan 37-69 prosenttia. Lisäksi kääpien itiöemien määrä yhdessä puussa voi vaihdella. Useimmiten (3/4 todetuista tapauksista) rungossa on 1-3 kääpää valtaosin ensimmäisten 8 metrin alueella. Kasvuoloista

riippuen yhdelle puulle tulee laskennallisesti 2,2-3 kääpää. Lahoaa on 1,9-77,9 prosenttia rungon tilavuudesta. Kääpien määrä puussa ei kuitenkaan oleellisesti vaikuta lahon määrään. Näin ollen männynkäävän aiheuttaman lahovian tunnusluvut eivät riipu kasvuolosuhteista eivätkä kääpien määrästä. Lisäksi on todettava, että tutkijoiden saamien tulosten perusteella on laskettu yhtälöitä, joita voidaan hyödyntää tehtäessä runkojen katkentalaskelmia.

*Kasvuolosuhteet vaikuttavat myös sellaisiin puun laatutekijöihin kuten tiheyteen ( $\text{kg/m}^3$ ), lujuuteen, kosteuteen, vuosilustojen määrään (kpl) senttimetrillä jne.*

Puunlaatu tutkimusten uranuurtaja I. S. Melehov on töissään ottanut huomioon euroopanpuoleisen Venäjän pohjoisosien kasvuolosuhteet tutkiessaan puun fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia. Hän on todennut, että metsätyypillä on vaikutusta puun ominaisuuksiin (Taulukko 6). [49,51].

**Taulukko 6.** Puun fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet metsätyypeittäin.

Metsätyyppi, boniteetti	Kesäpuun osuus, %	Tilavuuspaino, $\text{g/m}^3$	Puristuslujuus syiden suuntaan, $\text{kg/cm}^2$	Pinnankovuus, $\text{kg/cm}^2$
Puolukkatyyppin metsä, III	31,2	0,55	525	328
Suolla kasvava männikkö, V	25,1	0,51	463	287

Parhaimmilla mailla puu kasvaa parempilaatuisesti (Taulukko 7).

**Taulukko 7.** Männyn fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet kasvupaikan olosuhteiden mukaan.

Metsätyyppi	Boniteetti	Maaperä	Tilavuuspaino, $\text{g/m}^3$	Syiden suuntainen murtolujuus, $\text{kg/cm}^2$
Marjatyypin metsä	III	Tuore	0,55	505
Mustikkatyypin metsä	IV	Hieta- ja savimaa	0,52	478
Sammal-jäkälätyypin metsä	IV	Hieta- ja savimaa	0,51	471
Raate-rahkatyyppin metsä	V	Soistunut	0,48	406

Taulukossa 8 on esitetty tuloksia puun laatu tutkimuksista, joita on tehty Vologdan alueen Kaduin leshozin alueella viljelemällä perustetuissa mustikka-, puolukka- ja jäkälätyypin keski-ikäisissä männikoissä [50].

**Taulukko 8.** Männyn fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet viljelymetsissä metsätyypeittäin.

Tekijä	Metsätyyppi		
	mustikka	puolukka	jäkälä
Vuosiluston leveys, mm	2,6±0,3	2,2±0,1	2,5±0,2
Kesäpuun osuus, %	30,9±2,2	32,7±1,8	25,1±1,1
Lujuus 12 %:n kosteudella, g/cm <sup>3</sup>	0,470±0,01	0,480±0,01	0,440±0,01
Puristuslujuus, Mpa			
syiden suuntaisesti	45,6±1,3	45,1±1,3	43,1±1,0
syitä vastaan:			
säteensuuntaisesti	9,7±1,0	10,0±0,5	8,0±0,7
vuosilustonsuuntaisesti	8,0±0,7	9,8±0,4	6,6±0,3

On todettu, että viljellyissä männiköissä kasvaa suhteellisen leveälustoista puuta, mitä edesauttavat maaperän muokkaus metsänviljelyn yhteydessä, optimaalinen tiheys, kasvuolosuhteisiin soveltuvan puulajin valinta sekä muut tekijät. Vuosilustojen leveys vaihtelee metsätyypeittäin 2,2-2,6 mm. Kesäpuuta havaitaan olevan eniten puolukkatyypin männiköissä, minkä vuoksi tuon metsätyyppin metsästä on odotettavissa laadultaan parasta puuta. Tiheintä ja lujinta puuta saadaan parhailta kasvupaikoilta.

Tehdyt tutkimukset [15,70] ovat osoittaneet maantieteellisen sijainnin vaikuttavan puun laatutekijöihin (Taulukko 9) kuten kesäpuun osuuteen, joka on monien tutkijoiden mielestä hyvin tärkeä puun lujuutta kuvaava tekijä.

**Taulukko 9.** Männyn rakenne sekä fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet taigan eri vyöhykkeillä.

Laatutekijä	Mäntymetsät					
	jäkälytyyppi		puolukkatyypin		mustikkatyypin	
	taigavyöhyke					
	pohjoinen	etelä	pohjoinen	etelä	pohjoinen	etelä
Vuosiluston leveys, mm	0,58*	0,80	0,74	1,03	1,04	1,25
Vuosilustojen määrä yhdellä senttimetrillä, kpl	18,26	13,23	13,87	10,11	10,00	8,10
Kesäpuun osuus, %	28,69	29,75	29,01	29,35	30,46	31,89
Tiheys kosteuden ollessa 12 %, g/cm <sup>3</sup>	0,540	0,520	0,520	0,540	0,490	0,520
Syiden-suuntainen puristuslujuus, MPa	49,9	49,9	51,3	51,3	46,3	49,6

\* - keskiarvot koelaitteilla

On todettu, että kesäpuun prosentuaalinen osuus ja vuosilustojen leveys tutkituissa metsätyypeissä ovat suurimpia taigan eteläisellä vyöhykkeellä. Vuosilustojen määrällä yhtä senttimetriä kohden on eniten merkitystä taigan pohjoisella vyöhykkeellä, etelään siirryttäessä merkitys vähenee.

Kesäpuu on tiheämpää kuin kevätpuu. Puun tiheys vähenee jäkälätyypin männiköissä (vähätuottoisella metsätyypillä). Vähätuottoisilla metsätyypeillä merkittävin tekijä ei ole ainoastaan kesäpuun määrä, vaan myös sen makrorakenne (anatominen rakenne). Puun tiheyden vähäinen muutos leveysuunnassa kertoo puun lujuustekijöiden pienistä muutoksista (mustikkatyyppin männiköissä) tai lujuustekijöiden muuttumattomuudesta (jäkälä- ja puolukkatyyppin männiköissä). Puun tiheyden lisääntyminen lisää myös puun lujuutta (kestävyyttä mekaanisille vaurioille). Lujinta puu on puolukkatyyppin männiköissä (jotka ovat tuottavuudeltaan keskivertoja).

Tutkijat ovat todenneet eri kasvuvyöhykkeillä ja metsätyypeillä tendenssin, jonka mukaan kesäpuun määrä, vuosilustojen määrä senttimetriä kohden, puun tiheys ja syiden suuntainen puristuslujuus vähenevät ja vuosilustojen leveys kasvaa puun runkoa ylöspäin mentäessä.

Syntyperältään erilaisten metsien puun laatutekijöiden muutoksia on eritetty taulukossa 10.

**Taulukko 10.** Syntyperältään erilaisten metsien puun laatutekijät.

Laatutekijä	Viljelymetsä	Luonnonmetsä
Vuosilustojen leveys, mm	1,03±0,07	0,96±0,10
Vuosilustojen määrä senttimetrillä, kpl	10,11±0,72	10,61±0,78
Kesäpuun osuus, %	29,35±1,93	31,31±0,16
Tiheys kosteuden ollessa 12 %, g/cm <sup>3</sup>	0,540±0,01	0,530±0,01
Syidensuuntainen puristuslujuus, Mpa	51,3±1,95	52,4±0,45

Luonnonmetsissä puu on jonkin verran (2,1 %) lujempaa ja siinä on enemmän kesäpuuta (6,3 %) kuin viljelymetsissä. Viljelemällä perustetuissa metsissä vuosilusto on keskimäärin 1,03 mm leveä, mikä on 6,8 % enemmän kuin luonnonmetsissä. On siis mahdollista perustaa hyvätuottoisia viljelymetsiä, joissa puun laatu on samaa luokkaa kuin luonnonmetsissä.

On huomattava, että kesäpuun prosentuaalisen osuuden lisääntyminen kasvuolojen parantuessa on todettu aikaisemmin A. A. Katshalovin, I. S. Melihovin, V. I. Tarankovin ja L. B. Lazurenkon [93,94] ja monien muiden tutkimuksissa. Esimerkiksi V. V. Stasov [91] ja muut ovat todenneet kasvuolosuhteilla (maaperä, keskimääräinen lämpötila, keskimääräinen sademäärä) olevan vaikutusta kesäpuun prosentuaaliseen osuuteen ja anatomisiin ominaisuuksiin. Asiaa on tutkittu kasvualueen eri osissa Kransojarskin aluepiirissä.

Puutavaran laatuun vaikuttavat puun fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat olleet V. I. Fedjukovin, N. A. Jushkovin, Ju. Ju. Ivanovin, I. G. Kalininin [102] tutkimuskohteena. He ovat todenneet, että männystä saatavan puutavaran tuotevalikoima on viime vuosina laajentunut voimakkaasti ja sen seurauksena mäntytaveralajien puute käy yhä tuntuvammaksi, ei niinkään määrän kuin puun fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien suhteen. Lisäksi useat puunjalostusyrietykset ovat alkaneet kehittää integroituja laatujärjestelmiä kansainvälisten standardien ISO 9000 ja ISO 14000 pohjalta. Laatujärjestelmien sertifiointissa nousee kuitenkin väistämättä esille kysymys vastaanotettavan puuraaka-aineen laadunvalvonnasta. Tutkimuskohteena oli rakennushirtenä käytettävä pyöreä puutavara. Puut oli kaadettu Zvenigovon piiristä. GOST 16483.21-standardin mukaan satunnaisotannalla männystä valmistettiin 50 näytekappaletta fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien tutkimiseksi. Näytteistä määritettiin kosteus, mikrorakenteen tunnuksia (vuosilustojen

keskilämpötilan ja niiden määrän arvioimiseksi kesäpuusta), lujuus staattisessa syiden vastaisessa taiputuksessa ja syiden suuntaisessa puristuksessa sekä äänen nopeus kyseisessä materiaalissa.

Standardisoiduilla menetelmillä tehtyjen moniosaisten työstökokeiden tuloksia tutkijat esittelevät taulukossa 11 vertaamalla niitä ohjearvoihin kosteuden ollessa  $W = 12\%$ .

**Taulukko 11.** Virheettömien pienten puukappaleiden fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet.

Ominaisuudet	Mitatut tiedot	Ohjearvot	Ero, %
Tiheys, kg/m <sup>3</sup>	494,12	505,0	-2,2
Taiputuslujuus, MPa	93,0	85,0	+9,4
Puristuslujuus, MPa	57,3	46,0	+24,6
Säteensuuntainen kutistuminen, %	3,8	3,0-7,0	0,0
Tangentinsuuntainen kutistuminen	8,4	8,0-10,0	0,0
Äänen nopeus syitä pitkin, m/s	4905,0	5360,0	- 8,5

Tutkimustulosten ja ohjearvojen vertailu osoitti seuraavaa:

1. Männyn fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet Marin tasavallassa eroavat keskimääräisistä ohjearvoista. Varsinkin syidensuuntaista puristuslujuutta kuvaavat arvot ovat 24,6 prosenttia keskimääräistä korkeammat. Myös kokeissa saatu taiputuslujuusarvo ylittää standardiarvon 9,4 prosentilla.
2. Marin tasavallan oloissa kasvava mänty on ominaisuuksiltaan korkealuokkaista käytettäväksi monien tuotteiden valmistukseen.

Sellaisia laadun mittareita, kuten puun tiheys, lujuus ja rakenne (vuosilustojen leveys), voidaan arvioida metsätyypin suhteen. Tätä on tutkinut V. I. Ptshelin [92]. Hän on selvittänyt kuusen laatua Srednyj Povolzhjessa (Volgan rantaseudun keskiosissa) laajoilla alueilla lehmus- ja käenkaalityypin kuusikoissa. Tutkija on todennut, että kuusen makrorakenteen yhteys metsätyypin on merkittävin vuosilustojen leveyden osalta. Metsätyypin vaikutus kesäpuun kehitykseen ei ole yhtä ilmeinen kuin vuosilustojen leveyteen. Kuusen tiheys lisääntyy mentäessä sekametsätyypin ryhmästä mustikka- ja rahkatyyppin kuusikoihin. Puun mekaanisten ominaisuuksien osalta on havaittavissa, että puun lujuus pyrkii kasvamaan siirryttäessä lehmustyyppin kuusikosta käenkaali- ja rahkatyyppin kuusikkoon. Puun puristuslujuus ja staattisen taiputuksen arvot ovat suuremmat lunnonmetsiköissä kuin nopeasti kasvavissa viljelykuusikoissa.

*Puun laatutekijät ja puuston vuotuinen kasvu vaihtelevat 11-vuotisen aurinkoaktiiviteettisyklin mukaan* [36, 39]. Arvot paranevat aurinkoaktiiviteetin ollessa voimakkaimmillaan. Voimakkaimman vaiheen jälkeisenä kolmantena vuonna (aurinkoaktiiviteetin laskiessa) on havaittavissa, että puun laatutekijöitä ja puun vuotuista kasvua kuvaavat tunnuksat laskevat. Ilmaston vaihtelun (aurinkoaktiiviteetin, sademäärän) vaikutusta puun laatutekijöihin on tutkinut myös V. A. Kostrikin [38] ja muut.



*Puun vikoihin ja laatuun (tiheyteen, lujuuteen, kosteuteen jne.) on mahdollista vaikuttaa.*

A. H. Gazizullin, V. N. Gizzatullin ja V. N. Minnihanov ovat tutkineet harvennushakkuiden ja kasvuolosuhteiden vaikutusta puun laatuun (fysikaalisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin jne.) [16] Taratsanin tasavallan lauhkean vyöhykkeen sekametsissä. Tutkijat totesivat, että ravinteikkailla ruskomailla harvennushakkuilla käsitellyissä metsiköissä tärkeimmät puulajit kasvoivat nopeasti, mutta kuusen ja männyn laatu oli kuitenkin jonkin verran Keski-Venäjän arvoja huonompaa. Siperian pihdan ja koivun laatu oli sen sijaan huomattavasti korkeampaa ja metsälehmuksen lähellä Keski-Venäjän arvoja.

Puun vikojen määrä riippuu oikeanlaisesta maanmuokkauksesta, viljelysten sijoittelusta ja metsänhoitotoimista. Muun muassa puunrunгон muotoa voidaan mallintaa [54]. A. A. Kolesnikov ja P. M. Mazurkin ovat esittäneet aineistoa, jonka avulla on mahdollista löytää rungon muodon ja laadun välinen yhteys.

Metsänhoidossa puun runkomuotoon ja laatuun vaikuttava puuston tiheys kuuluu perustavanlaatuisiin tutkimusongelmiin. Siksi monet hoitohakkuisiin, luontaiseen ja keinolliseen metsänuudistamiseen jne. perehtyneet tutkijat ovat pohtineet metsikön tiheyttä.

A. P. Rjabokon [76] toteaa, että viljelymänniköiden tiheyden alentuessa, huononevat myös puun runkomuoto ja laatu. Metsikön tiheyden ja sienien aiheuttamien puustovaurioiden välistä riippuvuutta ei todettu. Runгон oksaisuus (oksien määrä ja koko) lisääntyi viljelymetsiköiden tiheyden alentuessa. Tämän vuoksi liiat oksat kannattaa karsia.

A. A. Smirnov [85] on tutkinut peräkkäisten metsänhoitotoimenpiteiden (hakkuiden ja lannoituksen) vaikutusta kuusen runkomuotoon ja puun tiheyteen. Tutkimuksessa todettiin, että voimakkaasta harvennuksesta huolimatta 10-20 vuoden kuluttua kokeen aloittamisesta peräkkäisten hoitotoimien myötä metsät tuottivat enemmän ja niiden luonnonpoistuma oli vähäisempää. Myöskään puun lujuuden ei havaittu vähenevän.

Puunrunkujen oksaisuuteen ja muotoon vaikuttaa puun nopeutettu kasvatus hakkuuvoimakkuuden ja lannoituksen avulla [83,84]. Tutkimuksissa on todettu, että aloilla, joilta lehtipuut oli poistettu kokonaan, kuusten rungoissa oli 25 oksaa/m yli 4 metrin korkeudella. Runгон yläosassa elävien oksien läpimitta pieneni säännönmukaisesti, mihin lannoituksella ei näyttänyt olevan vaikutusta. Kuivien oksien läpimitta ensimmäisellä runkometrillä oli 0,6 cm ja edelleen neljän metrin korkeuteen saakka 0,8-0,9 cm. Kuivia oksia oli eniten (15-20 kpl), jos lehtipuut oli poistettu kokonaan, ja vähiten (4-5 kpl), jos metsää oli lannoitettu. Kun ylimmästä latvuserroksesta oli poistettu osa puista, lannoituksen vaikutuksesta kuivien oksien määrä rungon alaosaan väheni 20-25 prosenttia. Saadut tulokset siis osoittavat, että puun voitiin katsoa kuuluvan 1. laatuluokkaan GOST 9463-88 -standardin mukaisesti.

Tyvituksen voimakkaampi kapeneminen on säännönmukainen seuraus voimakkaista harvennuksista. Vertailukohteella kapenema oli ensimmäisen metrin alalla 1,5 cm/m; kun ylintä latvuserrosta oli harvennettu 60 prosenttia, kapenema oli 2-2,5 cm/m ja kun ylin latvuserros oli poistettu kokonaan kapenema oli 3 cm/m. 1-2 metrin pituudelta kapeneminen vaihteli 0,3-0,7 cm/m ja oli pienin, kun metsikköä oli lannoitettu ja osa lehtipuista poistettu. Tyvitukki kapeni latvaa kohden 0,5-1,0 cm/m, kaveten pienempien puiden kyseessä ollessa 1,5 cm/m. Yli 6 metrin korkeudessa kapenema vaihteli pienempien puiden osalta 1,2-1,5 cm/m välillä ja oli valtapuilla noin 2 cm/m. Saadut tulokset todistavat, että rungon muoto ei merkittävästi huonone ja kapeneminen vähenee säännönmukaisesti metsikön kasvaessa edelleen.

## 1.4 Biologiset vauriot

Biologisia vaurioita ovat madonreiät sekä loiskasvien ja lintujen aiheuttamat vauriot.

I. V. Sviderkaja, Je. Ju. Shipitsyna ja Je. N. Palnikova toteavat, että lehtiä syövien tuholaisten räjähdysmäiset lisääntymisjaksot ovat yksi tärkeimmistä, metsäekosysteemin rakennetta rajusti muuttavista tekijöistä [78]. Lehtien puuttuminen vaikuttaa vahingoittuneiden puiden rakenteeseen ennen kaikkea siten, että vuosilustot kapenevat.

Tuholaisten aktiivisuudesta johtuvaa sinistymää Keski-Siperian havumetsissä ovat tutkineet N. V. Pashenova, V. P. Vetrova, Je. N. Afanasova, G. G. Poljakova ja M. Ju. Konstantinov (Krasnojarskin metsäinstituutti) [59]. Tutkijat toteavat, että pussisienet *Ophiostomataceae*-heimosta ja luokittelemattomat *Leptographium*-suvun sienet ovat sinistymän aiheuttajina taloudellisesti merkittävimpiä puunkorjuu- ja puunjalostusteollisuudelle ja kasvitautien aiheuttajina metsätaloudelle. Tutkimuksessa todettiin, että Siperian taigan metsissä puun sinistymää aiheuttavat sienet olivat tavallisia puuta syövien tuholaisten käytävien sienikasvustossa. Sieniä esiintyi pääasiassa kuivuvien ja kuolleiden puiden rungoissa tuholaisten käytävissä. Sienet levisivät varsinkin levittäjähyönteisten (kirjanpajajan ja lehtikuoriaisen) mukana. Tutkijoiden mielestä liian vähäinen huomio tämän tekijän aiheuttamaan haittaan voi johtaa tuholaisten leviämiseen metsäekosysteemin ulkopuolelle ja aiheuttaa vahinkoa korjattavalle puulle.

## 1.5 Metsäpalot

Metsäpalot liitetään kasvavien puiden mekaanisiin vaurioihin ja ne vaikuttavat puutavaran laatuun. Hiilen likaamaa puuta ei voida käyttää, hiiltyminen voi muuttaa puumateriaalien sivupintojen muotoa, mikä hankaloittaa puutavaran tarkoituksenmukaista käyttöä sekä lisää sahausjätteen määrää.

Maa- eli pintakasvillisuuspalloista kärsineiden havumetsien patologiaa ovat tutkineet esimerkiksi A. V. Lebedev ja E. A. Ivanov. Tutkimuksessaan [58] he esittelevät tuloksia keskitaigalle tyypillisten kuusikoiden ja männiköiden kunnosta, joista toisissa ei ole ja toisissa on ollut maapaloja viime vuosina. He ovat tutkineet palojen vaikutusta havumetsien taudinkestävyyteen ja analysoineet kattavasti saadut tulokset.

## 1.6 Ihmisen toiminnan vaikutus puun laatuun

Puun vikojen ja laatutekijöiden tutkiminen ei ole kattavaa, jos ei tutkita ihmistoiminnan vaikutusta puulajien yksilöllisen vaihtelun syihin ja kestäväyyteen.

Pystypuun laatua teollisuusalueiden metsissä (Itä-Siperiassa) ovat tutkineet T. A. Zaharenko, Je. M. Runov ja muut [24,44]. Bratskin lähellä on monivuotisen seurannan tuloksena todettu kolme metsävauriovyöhykettä: 1. palautumattomien puustomuutosten vyöhyke saastumislähteiden välittömässä läheisyydessä, 2. näkyvien puustovaurioiden vyöhyke ja 3. piilevien puustovaurioiden vyöhyke kauimpana saastumislähteistä.

Teollisuuden saasteet ovat rappeuttaneet metsiä, muuttaneet metsien rakennetta, laatua ja puuntuotoskykyä. Metsissä havaittiin olevan:

- puita, joiden latvukset ovat harsuuntuneet hiukan (neulasista varissut 1/3 )
- puita, joiden latvukset ovat harsuuntuneet paljon (neulasista varissut 2/3), vuotuinen kasvu lyhentynyt, kuivia oksia 1/3 oksista
- kuivuvia puita, joiden latvukset ovat harsuuntuneet erittäin paljon (neulasista varissut yli 2/3), kuivia oksia 2/3 oksista

Pystyyn kuivuneissa puissa ei ollut neulasia, kuori ja pienet oksat olivat varisseet kokonaan tai osittain. Puiden pituuden ja läpimitan suhde oli häiriintynyt. Vauroituneissa puissa (männynissä ja lehtikuudessa) rungon tärkeimmät tunnusluvut olivat muuttuneet oleellisesti: runkojen kapeneminen ja tyvilaaientuma olivat lisääntyneet, läpimitaltaan pienten latvusten pituus oli moninkertaistunut. Laskelmat vahvistivat rungon tilavuuden alentuneen huomattavasti. Terveissä metsissä polttopuun osuus oli 6-12 prosenttia: 2. vyöhykkeellä noin 30 prosenttia ja 1. vyöhykkeellä 54 prosenttia. Tämän vuoksi tutkijoiden mielestä teollisuusalueiden metsiä varten on laadittava metsänhoidon ja -käytön erikoisohjeet.

Myös Je. M. Runova ja S. V. Denisov [74] ovat tutkineet teollisuuspäästöjen vaikutusta puulajien ominaisuuksiin Priangarjen alueella. Taulukossa 12 on esitetty tavallisen männyn ja Siperian lehtikuusen sädekasvun keskimääräiset arvot (vuosiluston leveys) ennen ja jälkeen teollisuuspäästöjen vaikutusta.

**Taulukko 12.** Vuosiluston keskimääräinen leveys ennen teollisuuspäästöjen vaikutusta ja sen jälkeen.

Puulaji ja puun kunto	Vuosiluston leveys				F-testi	
	ennen		jälkeen		F laskennallinen	F taulukkoarvo
	mm	%	mm	%		
terve mänty	1,435	100	1,031	71,8	2,79	2,12
heikentynyt mänty	0,887	100	0,502	56,6	3,57	2,16
kelottunut mänty	0,966	100	0,544	56,3	3,92	2,10
terve lehtikuusi	0,836	100	0,705	84,3	2,58	2,16
heikentynyt lehtikuusi	0,984	100	0,544	55,3	3,03	2,12
kelottunut lehtikuusi	0,986	100	0,561	58,1	2,84	2,40

Teollisuussaasteet vaikuttavat vuosilustojen leveyteen (osittain niiden muotoutumiseen, vaelustojen muodostumiseen jne.) sekä vähentävät puiden läpimitan kasvua [106].

Tutkimuksesta saadut keskimääräiset arvot männyn ja lehtikuusen mekaanisista ominaisuuksista teollisuussaasteista kärsivillä vyöhykkeillä on esitetty taulukossa 13.

**Taulukko 13.** Männyn (*Pinus sylvestris* L.) ja lehtikuusen (*Larix sibirica* Ldb.) mekaaniset ominaisuudet saastumisvyöhykkeellä.

Puulaji ja puun kunto	Näytteiden määrä, kpl	Murtolujuuden keskiarvo, MPa	
		syiden suuntaisessa puristuksessa	syiden vastaisessa puristuksessa
terve lehtikuusi	30	56,425	6,33
kuollut lehtikuusi	30	56,10	5,87
terve mänty	30	33,375	3,48
kuollut mänty	30	28,69	4,73

Niin terveen, kuin pystyyn kuolleenkin puun murtolujuus on 22-50 prosenttia pienempi kuin standardiarvo, mikä on selitettävissä teollisuuspäästöjen haitallisella vaikutuksella puun

lujuusominaisuuksiin. Pystyyn kuollessa puussa kesäpuun osuus on jonkin verran suurempi, koska vuosilustojen leveys pienenee puun kuolemisvaiheessa.

Teollisuuden saasteiden vaikutusta puun laatuun (esimerkiksi Karjalan tasavallassa) ovat tutkineet D. S. Rybkov, V. L. Zamoiskij ja muut [75]. He ovat todenneet, että ympäristön saastuminen näkyy välittömästi saastuttavien elementtien (radionuklidien ja niiden hajoamistuotteiden: Pb, Sr jne.) leviämisenä tutkimusalueella kasvavan puun vuosilustoihin.

Öljyasaastumisen vaikutusta männiköiden kuntoon ovat tutkineet Je. V. Matvejeva, G. V. Mavrin ja I. A. Aleksejev [47, 48]. Työn tavoitteena oli selvittää öljyn aiheuttaman pilaantumisen vaikutusta männyn (*Pinus Silvestris L*) kuntoon öljyputkionnettomuusalueella. Tutkijat määrittelivät puuston tuhoutumisen tunnusmerkeiksi männyn heikentyneen kunnan ja vikaisuuden (puun viat tai kaikki merkittävät puun heikentyneestä kunnosta kertovat merkit, biottiset tekijät mukaan lukien). Tutkimuksessa todettiin, että öljyn aiheuttama saastuminen tuhosi metsän ekosysteemiä vielä kunnostustöiden jälkeenkin. Havaittiin muun muassa neulasten kellastumista ja varisemista, harsuuntumista, neulasten lyhenemistä, kasvun viivästymää, kuivalatvaisuutta, juurien kohoamista, juurien ja rungon mekaanisia vaurioita, pihkaisuutta, runkotuholaisten aiheuttamien vaurioiden lisääntymistä puustossa sekä kuoren likaantumista öljyyn. Kaikilla kolmella öljyn pilaamalle alueelle perustetulla koealalla harsuuntuminen kaksinkertaistui vertailualueeseen verrattuna, kuoren likaantumisasaste öljyyn kasvoi 99 prosenttiin saakka. Pihkaneritys voimistui. Muut ominaisuudet pysyivät muuttumattomina. Vertailualueella vikaisuustekijät olivat ohjearvoja suuremmat. Biottista vikaisuutta ei ollut paljon. Öljyn saastuttamalla alueella yhden puun vikaisuus kasvoi 4-6-kertaiseksi, biottinen 16-22-kertaiseksi.

Tutkijat totesivat myös verratessaan öljyn pilaamalla alueella kasvavan männyn heikentyntä kuntoa ja vikoja vertailualueen arvoihin, että puusto on tuomittu kuolemaan lähivuosina. Lisäksi öljyputkionnettomuuden jälkeisten kunnostustöiden yhteydessä juuristo oli vaurioitunut suurimmalta osalta puustoa, mikä väistämättä johti juurivaurioiden puiden kuolemaan. Vuosina 2003-2005 alalla havaittiin puiden kaatuvan ajoittain itsestään siten, että kaikki juuret nousivat esille.

Tämän vuoksi on tarpeen todeta, että puun laadun seurannalla on nykyään suuri merkitys [66]. Päähuomio kiinnitetään muutosten havainnointiin, puun laadun arviointiin, ennustamiseen ja kehitysdynamiikkaan suhteutettuna tietyn alueen luonnon- ja tuotanto-olosuhteisiin, minkä avulla on mahdollista laatia asianmukaisia suosituksia. Puun laadun seurantarjestelmän laatimisessa käytetään puutieteen metodeja (puun rakenne, ominaisuudet, ulkoisten tekijöiden aiheuttamat puun viat) ja metsänarvioinnin menetelmiä (metsien rakenteen erityispiirteet sekä puustotunnusten mukainen jaottelu ennen kaikkea rungon muoto-ominaisuuksien ja puun vikojen suhteen).

Puun laatuun vaikuttavat siis paljon ilmasto- ja maaperäolosuhteet, puuston ikä ja tiheys, biologiset vauriot, istutusmateriaalin laatu, metsäpalot ja ihmisen toiminta.

## **1. 7 Puun vauriot**

### **1. 7. 1 Pyöreän puutavaran vauriot**

Pyöreän puutavaran vauriot ovat ennen kaikkea mekaanisia vaurioita, esimerkiksi puuaineeseen saakka ulottuva kuoren irtoaminen, hiertymät, repeämät, sahausjäljet, kirveenjäljet, pistojäljet, raapaisujäljet, painaumat ja karkeapintaisuus. Mutta niitä ovat myös esimerkiksi puun käsittelyvauriot, jotka ovat tulleet kaadon, karsinnan tai katkonnan yhteydessä, eli halkeamat, lohkeamat, katkaisupintaan jääneet lipat, viistot ja aaltoilevat sahausjäljet, repeytynyt poikkipinta, sahaamatta jääneet oksat, kuivumishalkeamat, sinistäjäsienet, mittapoikkeamat (puutavaralajin pituuspoikkeama vaaditusta joko lyhyempään tai pidempään mittaan) sekä maa-aineksen likaama puutavara.

Kuoren mekaaniset vauriot ja tuholaiden aiheuttamat runkovauriot edistävät sinistymän kehittymistä [59]. Mantopuun voimakas sinistymisen osoittaa puun varastointiolosuhteiden olleen huonot, minkä vuoksi puu on kuivunut hitaasti. Puutavaran laadun parantamiseksi on puu suojattava sinistymiseltä. Käytäntö on osoittanut, että korjatun puutavaran oikeanlaisella käsittelyllä voidaan raakapuun sinistymistä vähentää huomattavasti tai välttää sen kehittyminen kokonaan. Mantopuun sinistymävauriot eivät vaikuta puun mekaanisiin ominaisuuksiin, mutta pitemmällä aikavälillä sinistäjäsiementen aiheuttama vikaisuus vähentää puun iskunkestävyyttä. Myös puun ulkonäkö huononee ja vedenjohtokyky kasvaa.

I. A. Tshernyshev [26] suosittelee, että hakkuuprikaatien kesällä korjaama puu suojataan ylävarastoissa kemikaaleilla. Puut on ruiskutettava sen mukaan, millainen on tuhohyönteisten ja tuholaiskasvien kunto, milloin puu on korjattu ja kuinka pitkäksi aikaa puut varastoidaan ja miten ne kuljetetaan eteenpäin.

Kun puuta varastoidaan metsässä ymmärtäen puun kuivumisprosessin kulku, on tärkeää huomioida ilman lämpötilan vaikutus puun kemiallisiin ainesosiin. S. G. Zapirova ja A. A. Kolesnikov ovat tutkimustensa perusteella [14] todenneet, että lämpötilan vaikutuksesta puussa tapahtuu muutoksia, jotka eivät liity pelkästään kosteuden poistumiseen puusta, vaan myös puun kemiallisen rakenteen muuttumiseen lämpötilan vaikutuksesta. Lämpötilan vaikutuksesta puuaineen kemialliset ainesosat muuttuvat sekä määrällisesti että laadullisesti.

A. A. Rzhavtsev ja O. M. Gumerova [22,69] ovat ehdottaneet vesivarastoinnin nykyaikaistamista. Tutkijoiden mielestä ainoa tapa puunkorjuun lisäämiseksi ympäristöä vahingoittamatta sekä puunkorjuun ja kuljetuksen omakustannushinnan alentamiseksi on hyödyntää pienten ja keskisuurten jokien yläjuoksilla olevia metsiä. Niissä on hakkuukypsää puustoa 1,5-1,8 miljardia kuutiometriä.

Tutkijoiden mielestä puun varastointiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Puu on pilaantuvaa materiaalia, jonka varastoinnilla on omat erityisvaatimuksensa. Varastointimenetelmä valitaan puulajin ja runkojen käyttötarkoituksen mukaan, mutta myös varastointiajankohdalla ja varastoinnin pituudella on oma merkityksensä. Esimerkiksi puupinojen vesivarastointi (joko puiden upottaminen veteen tai jättäminen veden pinnalle) suojaa puuta pitkään kaikilta sienituhoilta.

Tutkijat toteavat, että monen korjuuyrityksen ja puunjalostustehtaan on pakko varastoida puut talvikaudella veteen ja kuljettaa ne sen jälkeen vesiväyliä ja railoja pitkin lastinpurkupaikoille. Vesivarastoinnista aiheutuu muitakin ongelmia:

1. nippujen asettaminen ja kiinnittäminen puomiaitaukseen (varastointialtaaseen) mahdollisimman vähillä köysillä
2. vesiväylien tekeminen jäähän ja niiden avoinna pito, jotta puuniput voidaan kuljettaa väyliä pitkin purkupaikalle
3. jäähän kiinni jäätyneiden nippujen irrottaminen ja kuljettaminen varastoihin
4. nippujen kuljettaminen varastointipaikoista purkupaikalle
5. jäätyneiden nippujen hajottaminen purkupaikalla

Kaikista edellä mainituista ongelmista tutkijat pitävät tärkeimpänä uittoväylien tekemistä jäähän ja niiden auki pitämistä, koska veden on oltava tietyn lämpöistä tähän tarkoitukseen. Uittoväylät voidaan tehdä mekaanisella tai kemiallisella menetelmällä tai lämpömenetelmällä. Kahta ensimmäistä menetelmää voidaan käyttää lyhyiden väylien tekoon, minkä vuoksi tutkijat ovat käsitelleet lämpömenetelmää jään sulattamiseksi. Menetelmällä pyritään

tekemään pitkiä uittoväyliä ja pitämään ne sulina, mihin suositellaan pneumaattisten laitteiden (ilmastuksen) tai virtauslaitteiden käyttöä.

Samalla N. L. Leontjev [41] toteaa, että uitetun puun laatu heikkenee nopeasti, jos niput nostetaan vedestä heinäkuussa tai sitä aikaisemmin. Talvella niistä on vaikea saada tehdyksi sahatavaraa, johon ei tulisi sinistymävikaa. Kun otetaan huomioon puun kyky imeä kosteutta, vesivarastointi tai varastoidun puun kastelu kuitenkin suojaavat puuta lahoamiselta pitkään, koska puussa ei ole riittävästi lahottajasienille välttämätöntä happea veden syrjäytettyä sen.

Raakapuun ilmakehävauksen tavoitteena on vähentää puun kosteusprosentti minimiinsä (20-25 %) sienten kehityksen hidastuttamiseksi. Tuolloin puutavaran on oltava kuoretonta, ladottu pinoihin lomittain ja tukkien päät maalattava tummiksi tai liattava. Tällaista tapaa käytetään esimerkiksi varastoitaessa halkaisematonta rakennuspuutavaraa.

Leontjev toteaa myös, että elokuusta lähtien varastoon korjatut rungot eivät kaipaa erityisiä suojaustoimia ja että ne on katkottava puutavaralajeiksi ennen seuraavan vuoden lämpimän kauden alkamista.

A. T. Vakinin [11] mukaan esimerkiksi talvella korjatuissa ja sinistymältä suojaamattomissa koivupölleissä alkaa jo toukokuussa näkyä merkkejä tummumisesta ja heinä-elokuussa puu alkaa lahota.

*Puutavaran laatuun voi vaikuttaa niiden väärä lajittelu väli-, ylä- ja alavarastolla.*

On syytä pysähtyä tarkastelemaan tarvittavanlaatuisen puutavaran saantoon liittyviä kysymyksiä. Tutkijat ovat käsitelleet niin menetelmien kehittämistä puutavaran saannon lisäämiseksi kuin puun koko- ja laatuominaisuuksien syvällistä tutkimista sekä tutkineet hyvälaatuisen sahatavaran tuotantomenetelmien nykyaikaistamista tuotteiden saannon parantamiseksi.

Menetelmiä puutavaralajien saannon arvioimiseksi leimikolla on tutkinut V. F. Svoikin [53]. Hän on ehdottanut menetelmää, jolla voidaan löytää puutavaralajeille sellainen käyttötarkoitus, pituus, paksuus ja laatu, että ne taloudelliselta kannalta katsottuna vastaisivat mahdollisimman tarkkaan markkinoiden vaatimuksia.

S. P. Isaev [27,28] on tutkinut puutavaralajien laadun ennustamista runkojen katkonnan yhteydessä. Hän on ehdottanut runkojen katkontakriteeriä, jossa katkaistun tukin laatuindikaattoriksi otetaan tavaralajin muotokerroin. Samalla on kuitenkin huomautettava, että oksat ovat puuaineen pääasiallinen vika. Siksi tutkimuksessa [12] on todettu, että laatuluokka on niin tukkien kuin sahatavaran osalta suhteellisen tarkasti määriteltävissä puun oksaisuuden mukaan, jos muita vikoja ei ole. Lisäksi tutkimuksessa todetaan, että lahoa ja sydänhalkeamia tukkien paksuussuunnassa muodostuu nimenomaan oksaisimmalle rungon alueelle. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että kun puun laatutekijäksi valitaan puun oksaisuus, tulevat myös muut viat jossain määrin huomioiduiksi.

A. A. Shadrin ja Je. I. Prokopenko ovat tutkineet puun koko- ja laatuominaisuuksia [30]. He ovat tutkineet mahdollisuutta lisätä metsäteollisuusyrityksissä valmiin tuotteen saantoa huonolaatuisesta raakapuusta.

A. G. Tshernyh, S. H. Simonjan ja T. N. Kazakevitsh ovat tutkineet korkealaatuisen sahatavaran saannon lisäämistä korjattavan puun määrää nostamatta [87]. Tutkimuksen perusteella todetaan, että sahatavaran särmäyksellä ja tasauksella voidaan lisätä parempilaatuisen sahatavaran saantoa. Tuolloin heikkolaatuisen sahatavaran määrä vähenee.

Puutavaran käytön tehostamista metsävarastoinnin yhteydessä on käsitellyt F. V. Posharnikovin ja G. V. Paptshenkovin tutkimuksissa [62]. Yleensä varastoon tulevasta

pinotavarasta jalostetaan keskimäärin vain puolet. Loput eivät vikaisuutensa vuoksi sovellu jalostettavaksi. Suurin osa jätepuusta voidaan kuitenkin kuorimisen ja lahon poistamisen jälkeen hyödyntää teollisuushakkeen tuotannossa. Tutkijoiden mielestä harjauslaitteiden käytöllä voitaisiin nostaa tuotteiden saantoa huomattavasti sekä lisätä puun kuorinnan laatua silloin, jos rungossa on kapenemista, tyvilaajentumaa, lenkoutta tai epäpyöreyttä. Harjauslaitteiden tärkeimpiä osia tällöin ovat pehmeähköt harjakset, joiden läpimitta on pieni verrattuna niiden pituuteen, jolloin työprosessin aikana syntyvä paine pysyy joustavuusrajan puitteissa.

I. I. Gusev ja S. V. Koptev ovat tutkineet keskitaigan kuusikoiden puuvaroja [95]. Kokeissa saatujen tulosten perusteella tutkijat ovat määrittäneet puutavaralajien saannon lainalaisuuksia kuusikoiden ainespuuosuuden perusteella sekä laatineet tavaralajitaulukoita ja arvioineet niitä.

Tukkipuun koko- ja laatuominaisuuksien vaikutusta runkomenetelmällä korjatusta puusta valmistetun sahatavaran saantoon on tutkittu Arkangelin mekaanisen puunjalostuksen tutkimusinstituutissa (TsNIIMOD) [21]. Neljännen laatuluokan mäntytukeissa havaittiin tutkimuksen mukaan taulukossa 14 esitettyjä vikoja ja vaurioita.

**Taulukko 14.** Neljännen laatuluokan mäntytukkien vikojen ja vaurioiden esiintyvyys, %.

Puun viat	Tukit luokiteltuna läpimitan mukaan, cm				
	16-22	22-24	26-30	32-38	40 ja yli
Terveet oksat	-	-	1,5	-	-
Kiinteät laho-oksat	1,9	1,2	1,1	2,3	-
Sydänlaho	4,6	6,1	6,2	9,2	6,5
Pintalaho	2,0	2,2	5,0	-	5,3
Sinistymä	31,9	40,0	36,9	39,2	19,4
Madonreiät	3,7	-	1,6	3,1	-
Halkeamat	7,7	7,8	8,7	5,5	28,1
Lenkous	1,9	8,8	-	-	-
Mekaaniset vauriot	22,8	10,0	10,3	16,5	13,6
Koro, avokoro	23,5	23,9	28,7	24,2	27,1
<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tutkimukset osoittivat, että neljännen laatuluokan tukeissa kaikissa läpimittaluokissa pääasiallisia vikoja ja vaurioita olivat sinistymä, mekaaniset vauriot ja korot. Vikojen analysointi osoitti, että halkeilleiden ja mekaanisia vaurioita saaneiden tukkien osuutta voidaan pienentää puunkorjuu-, kuljetus-, katkonta- ja sahausohjeita noudattamalla.

Arkangelin mekaanisen puunjalostuksen tutkimusinstituutin lukuisten tutkimusten pohjalta on voitu laatia sahatavaruotannon raaka-ainemenekin normit, jotta tukki tulisi hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti [72].

*Metsäkoneet ja erityisesti niiden kaato-, karsinta- ja katkontalaitteet vaikuttavat puutavaran ja kasvamaan jätettävän puuston laatuun.*

R. Ljumanov [46] ja M. A. Perfilov [60] ovat tutkineet töissään suunnattua kaatoa ja karsintaa. Tutkijat osoittavat, että suunnattu kaato on välttämätöntä runkojen vahingoittumisen estämiseksi ja tyviosien lohkeamien vähentämiseksi. Jos puuta kaadettaessa pitopuuta jää liikaa, puun kaatuessa sahaamaton osa pingottuu ja voi murtua, sälöillä tai lohjeta. Näin voi tapahtua puu kallistuessa tiettyyn suuntaan määrättyllä pitopuun paksuudella. Lisäksi tulee huomioida ilman lämpötila eli se, mihin aikaan korjuu tehdään.

Myös L. G. Fedjaev on kiinnittänyt huomiota sahauslaitteevaatimuksiin [101]:

1. sahaustehoon
2. rakenteen yksinkertaisuuteen
3. käyttövarmuuteen
4. kykyyn sahata missä tahansa asennossa toisiaan vasten olevat puut sekä
5. kykyyn sahata puu siten, että se voidaan kaataa vaurioitta

Fedjaev toteaa, että puuta kaadettaessa kaatotera aiheuttaa puun tyviosaan halkeamia. Lämpimiltään pienissä puissa (15-20 cm) halkeamat eivät vaikuta puun laatuun, mutta isommissa puissa (30-50 cm) halkeamat ovat suurempia ja voivat olla syvyydeltään jopa yli 50 cm riippuen puulajista, lämpötilasta (kuinka syvältä runko on jäässä), terän leveydestä, teroituskulmasta jne. Rungon tyviosan vaurioiden vähentämiseksi ja sahausvoiman alentamiseksi voidaan käyttää alle 3 mm paksuisia erikoisteriä. Tyvihalkeamien vähentämiseksi voidaan sahauslaitteiden rakenteissa käyttää vastaterää tai saksimaista rakennetta, joissa terien lapheet ovat tasaiset, rihlatut tai aallotetut.

Metsäteollisuuden koneellistamisen ja voimatalouden tutkimus- ja suunnitteluinstituutin (TsNIIME) tekemässä tutkimuksessa [25] on todettu, että puun sahaaminen aallotetulla terällä mahdollistaa terän paksuuden ohentamisen terän vakauden kärsimättä. Tämä on mahdollistanut sahausmaksimivoimakkuuden alentamisen murto-osaan, mikä puolestaan mahdollistaa terien nopeamman liikkeen, jolla päästään nostamaan koko laitteen tuottavuutta, parantamaan sahauspinnan laatua ja vähentämään tyvihalkeamia.

Jo aikaisemmin 1960-luvulla TsNIIME:ssä luotiin ja kokeiltiin puiden sahaus- ja kaatolaitteita, joissa käytettiin kiilamaisia teriä [60]. Tutkimukseen osallistuivat muun muassa V. V. Gretshishnikov, V. P. Lahno, A. A. Gontsharov ja I. H. Muratov. Teoreettisten ja kokeellisten tutkimusten tuloksista ilmeni tarve luoda sahauslaite, jossa kiilaterä liikkuu pakotettuna säteensuuntaisesti ja tangentinsuuntaisesti suhteessa sahattavan puun säteeseen. Erona sahauslaitteeseen, jossa on vapaasti liikkuva kiilaterä, ”kiinteäliikkeisellä” kiilaterällä varustetun laitteen sahausolosuhteet olivat paremmat, sahausvoimaa voitiin pienentää ja sahausjäljestä tuli siistimpi. Lisäksi puun kaadossa sahausloppuvaiheessa syntyvien lohkeamien ehkäisemiseksi pidettiin vastaterän käyttöä tarpeellisena. Tutkijat totesivat, että kun puu sahataan terälaitteella, läpimitaltaan pienten puiden (15-20 cm) tyviosaa menee säliille, mutta säliöt eivät vaikuta puun laatuun. 30-40 cm paksuisiin puihin tulee isompia halkeamia, jotka voivat olla 30-50 cm syviä sen mukaan, mikä puulaji on kyseessä, millainen on lämpötila (jäätymissyvyys), kuinka leveää terää ja millaista teroituskulmaa käytetään.

### **1.7.2 Kasvamaan jätettävän puuston vauriot**

Kasvamaan jätettävän puuston vauriot [17] jaetaan runkovaurioihin ja juuristovaurioihin. Merkittävimpiä ovat 2 metrin korkuisen tyviosan vauriot, joita ovat kuoren irtoaminen ja puuaineen rikkoutuminen. Puuaineen rikkoutumisen syvyyden mukaan erotetaan pintavauriot ja syvät vauriot. Esimerkiksi kuusessa laajoja pintavaurioita vaarallisempia ovat syvät vauriot, joissa laho pääsee kehittymään. Myös rungon kallistuminen yli 10 astetta on uhkaava vaurio. Se voi johtaa vahingoittuneen puun kaatumiseen ensimmäisten kolmen hakkuunjälkeisen vuoden aikana.

Juurten vahingoittuminen johtuu useimmiten puutavaran juonnon yhteydessä puun tyviosaan syntyneistä vaurioista, mikä edistää juurilahon kehittymistä. Puun juuriston vahingoittuminen ja maaperän painuminen ajourien kohdalta hidastuttavat puiden kasvua. Syvien ajourapainumien muodostumista voidaan välttää korjaamalla puu oikeaan aikaan, valitsemalla metsäkoneiden kulku-urat järkevästi ja vahvistamalla juontouria hakkuutähteillä.

Korjuutöitä harvennushakkuiden yhteydessä tutkineen V. N. Menshikovin [52] mielestä leimikon suunnitteluun on kiinnitettävä paljon huomioita. On mietittävä kuinka varsitiet, kuormauspaikat, pääajourat ja keruu-urat sijoitetaan ja leimikko jaetaan koneiden tai



metsuriryhmien työskentelyä varten. Menshikov katsoo, että harvennushakkuiden yhteydessä tärkein metsänhoidollinen vaatimus käytettäville koneille on jäävän puuston mahdollisimman vähäinen vaurioittaminen. Tätä varten hän on laatinut optimaalisen leimikonsuunnitelukaavion harvennushakkuille.

Lisäksi Menshikov on osoittanut tutkimuksessaan, että asteittaisilla hakkuilla ja poimintahakkuilla on mahdollista saavuttaa ainespuun hyvä saanto. Korjuun toteutustapa on kuitenkin tällöin valittava huolella.

Menshikovin mukaan harvennushakkuiden manuaaliset ja koneelliset työt voidaan jakaa seuraavasti:

- kasvatushakkuut (taimikon perkaus ja taimikon harvennus) tehdään manuaalisesti
- keski-ikäisissä metsissä tehdään manuaalisia ja koneellisia hakkuita (ensiharvennukset ja varttuneen metsän harvennukset)
- varttuneissa, hakkuukypsissä ja yli-ikäisissä metsissä tehdään manuaalisia ja koneellisia hakkuita (asteittaiset hakkuut ja poimintahakkuut)

Runkomenetelmää ja tavaralajimenetelmää käytettäessä sekä metsähakkeen kuljetuksen yhteydessä voidaan jätettävän puuston vaurioita vähentää:

- karsitut oksat kasataan juontouralle, millä voidaan vähentää juontouran varrella olevien puiden juuriston vaurioitumista
- karsitut puut vahingoittavat jätettävien puiden runkoja ja tuhoavat alikasvosta vähemmän.

Lumen ja jään sulaessa maaperän kosteus lisääntyy merkittävästi (kuva 3), minkä vuoksi puunkorjuutyöt on keskeytettävä muutamaksi viikoksi. Karjalan tasavallassa keväinen kelirikko kestää huhtikuun puolivälistä toukokuun puoliväliin, jolloin puunkorjuutyöt vähenevät ja tiet suljetaan puutavara-autoilta. Myös runsaat syyssateet voivat paikoitellen keskeyttää puunkorjuun ja -kuljetuksen.



**Kuva 3.** Varsitie, Karjalan tasavalta, Karhumäen piiri (kuvattu 19.04.2006).

Kasvatushakkuilla pyritään edistämään tuottavien metsien kasvua. Hakkuissa tulee minimoida metsälle aiheutuvat vahingot ja varmistamaan täten kasvamaan jätettävän puuston säilyminen.

V. G. Atrohin ja I. K. Ievin ovat tutkineet kasvatushakkuista perusteellisesti [5]. He ovat selvittäneet kasvatushakkuiden dynamiikkaa hakkuualueen koneellistamisen ja suunnittelun yhteydessä. Työssään tutkijat esittävät matemaattisia malleja puiden määrästä ja metsiköiden puuntuotoskyvystä. He ovat käsitelleet tarkasti eri kasvatushakkuutapoja ja -menetelmiä sekä hakkuiden taloudellisuutta. Tutkimusten perusteella he ovat tarkastelleet kasvatushakkuiden tehokkuuden lisäämisen ja laitteiden nykyaikaistamisen näkymiä.

G. A. Tshibisov on tutkinut harvennettujen kuusikoiden puuntuotoskykyä [6]. Hän on analysoinut männyn kasvua eri-ikäisissä sekametsän männiköissä, joissa on tehty voimakkuudeltaan eriasteisia kasvatushakkuista. Analyysin avulla hän toteaa, että hoitohakkuilla voidaan lisätä biologista tuottavuutta. Varttuneiden, harvennettujen männiköiden puuntuotoskykyä on analysoinut myös F. V. Agliullin [65]. Hän on selvittänyt metsän uudistumista keskitetyillä hakkuualueilla päätyen siihen, että asteittaisten hakkuiden tuloksena muodostuneet männiköt ovat 12-43 prosenttia vertailualueita tuottoisampia.

Kasvamaan jätettävän puuston puuntuotoskyvyn lisäämiseksi ja vaurioitumisen vähentämiseksi L. N. Prohorov ja V. F. Zinin ovat ehdottaneet uutta kasvatushakkuutapaa [89]. Menetelmässä kaatopäällä varustetulla monitoimikoneella mennään vuorotellen pystypuiden viereen, tartutaan kouralla puihin, sahataan ne ja muodostetaan puista nippu. Saadut niput siirretään samalla koneella juontouralle ja pinotaan. Menetelmässä puuniput muodostetaan kaatokouralla, mutta pinoaminen tehdään kaltevalla lastausrännillä. Ränni on sijoitettu alustalle siten, että se kallistuu taaksepäin, jolloin valmiin nipun siirtäminen tapahtuu lyhintä liikerataa pitkin.

Tutkimustensa perusteella A. A. Makarenko ja V. N. Dudinina suosittelevat tarkistamaan kasvatushakkuiden perustavoitteita alikasvoksen säilyttämiseksi ja hyvän kasvun turvaamiseksi [71]. Laadukkaan puun kasvattamisen ohella elinkelpoiset alikasvosryhmät on vapautettava vallitsevan latvuserroksen puiden vaikutuksesta. Tuolloin varttuneen metsän hakkuut muuttuvat yleismerkitykseltään ”alikasvoksen hoitohakkuiksi”. Metsissä, joissa päätehakkuut on kielletty, kasvatushakkuilla on muodostettava perusta uudelle puusukupolvelle. Alueilla, joilla avohakkuut ovat sallittuja, ei ole tarpeen tehdä hakkuiden yhteydessä valmisteluvaiheen hakkuista eikä siemenpuuhakkuista.

L. A. Gusman [23] ja D. V. Shabanin [67] ovat tutkimuksissaan käsitelleet keinoja puiden vaurioitumisen ehkäisemiseksi kasvatushakkuissa sekä kasvatushakkuista saatavan puun koko- ja laatuominaisuuksien määrittämiseksi. Tutkimusaineiston analysoinnin tuloksena L. A. Gusman on laatinut tarkan kuvauksen erilaisten puustotunnusten ja hakkuualueen teknisten ominaisuuksien matemaattisista malleista ja vaikutuksesta jäävän puuston ja alikasvoksen vaurioitumiseen ottaen huomioon samanaikaiset puutavaran saannon vaihtelut hehtaarilta. Tutkija on luonut viisi regressioyhtälöä, joiden avulla voidaan kriteereitä tarkistaen määrittää tarvittava juontomenetelmä ja poistettavien puiden määrä niitä koskevat rajoitukset huomioiden.

D. V. Shabanin tarkastelee tutkimuksessaan puun kuorellisen ja kuorettoman läpimitan sekä lahon läpimitan riippuvuutta puun suhteellisesta pituudesta korrelaatioyhtälöissään kaikenkokoisille haavoille. Kolme tasoa jokaiselle läpimitaluokalle mahdollistaa puun rakenteen kuvaamisen. Saatujen riippuvaisuussuhteiden avulla voidaan lisäksi määrittellä lahon leviämistapa rungon sisällä, mikä on varsin tärkeää saatavan puuraaka-aineen laadun arvioinnissa. Näillä yhtälöillä voidaan määrittellä koko rungon tilavuus melko tarkasti, samoin kuin sen jonkin yksittäisen osankin tilavuus.

Kasvatushakkuiden metsänhoidollisia näkökohtia on tutkittu suhteellisen paljon. Tavaralajimenetelmällä hakkuukoneen ja kuormatraktorin avulla tehtyjen kasvatushakkuiden metsänhoidollisia näkökohtia Laatokan alueen yhden tai kahden latvuserroksen kuusikoissa ovat tutkineet V. A. Vasjukov, V. F. Pilipovitsh ja V. S. Fedulov [43]. Kuusikoissa oli tehty

varttuneen metsän harvennuksia alaharvennuksena puita ennakolta leimaamatta. Harvennusvoimakkuus oli ollut 31-54 prosenttia yhden latvuskerroksen metsiköissä ja noin 69 prosenttia kahden latvuskerroksen metsiköissä. Koealoilta oli tutkittu tarkasti puiden ja pintakasvillisuuden vahingoittuneisuutta. Puunrungoista oli vahingoittunut 3-16 prosenttia, joista 1-7 prosenttia yli sallitun rajan. Vauriot ilmenivät pääasiassa puiden kuoren ja juurien vaurioitumisena juontourien viereisistä puista. Hakkuukoneen aiheuttamien vaurioiden osuus oli alle 10 prosenttia, loput vauriosta olivat syntyneet kuormatraktorin aiheuttamina tukkien keruun, kuormauksen ja kuljetuksen yhteydessä. Hakkuun jälkeinen puiden kuolleisuus oli seuraavan kahden vuoden aikana 2-3 prosenttia puuston tilavuudesta. Juontourilla pintakasvillisuudesta vahingoittui 70 prosenttia, pintavalunta lisääntyi, urille kerääntyi seisovaa vettä, rahkasammal, heinäkasvit sekä haavan ja pihlajan vesat lisääntyivät voimakkaasti. Tutkimukset osoittivat, että märissä ja kosteissa metsätyypeissä hakkuut on suositeltavaa tehdä talvella ja vahvistaa juontourat aina hakkuutähteillä hakkuuajankohdasta riippumatta. Myös hakkuukohteiden metsänhoidollista ja teknistä luokittelua pidetään välttämättömänä. Luokitteluun on liitettävä arvio puiden tuulenkestävyydestä, tarvittavista suojoitoimista, juontourakaavio huomioiden reunapuiden vaikutukset eri puulajien osalta ja lisäksi on määriteltävä parhaat mahdolliset ajankohdat toimenpiteiden suorittamiseksi sekä mainittava suurin sallittu urasyvyys ja vaurioiden laajuus.

A. S. Anikin, Ju. Ju. Gerasimov ja V. S. Sjunjov, J. Uusitalo, A. S. Fedorentshik, I. V. Turlaj, I. A. Sidelnikov, G. V. Paphsenkov ja A. A. Sljusarev ovat tutkineet työmenetelmistä johtuvaa puuston vaurioitumista. Tutkittuaan Leningradin alueella 1.-3. boniteettiluokan varttuneissa mustikkatyyppin kuusikoissa eri menetelmillä tehtyjä varttuneen metsän harvennuksia Anikin [68] toteaa, että käytettävällä menetelmällä on huomattava merkitys puuston vaurioituneisuuteen. Eniten puut ja juuret vaurioituvat, kun puut juonnetaan runkomenetelmällä painavien juontotraktoreiden avulla. Vähiten vaurioita taas tulee juonnettaessa puut tavaralajeina kevyillä pyörätraktoreilla, etenkin suomalaisia koneita käyttäen. Työmenetelmällä ei ollut vaikutusta kuoren irtoamissyvyyteen. Useimmiten kuori oli irronnut puuaineeseen saakka (73-86 %), näistä syvien vaurioiden osuus oli 6-11 prosenttia ja pinnallisempien, jälsikerrokseen ulottuvien osuus 5-12 prosenttia. Tutkimukset osoittivat, että juonnettaessa puut kevyillä traktoreilla puiden lahovauriota oli vähiten (29 %), kun muuten lahovaurioita oli noin 50 %. Tutkijat siis todistivat, että varsinkin kuusikoiden kasvatushakkuissa kevyiden pyörätraktoreiden ja tavaralajimenetelmän käyttäminen on tarkoituksenmukaista.

Tutkijaryhmän tavaralaji- ja runkomenetelmää koskevat tutkimukset [17, 98] osoittivat, että tavaralajimenetelmä vahingoittaa jätettävää puustoa ja maaperää vähemmän. Täysin koneellistettua tavaralajimenetelmää käytettäessä vaurioituneiden puiden osuus oli keskimäärin 5 prosenttia. Tuolloin pääosa vaurioituneista puista (93 %) sijaitsi viiden metrin päässä juontouran reunasta. Kokopuumenetelmää käytettäessä vaurioiden määrä kasvaa jo muutamia kymmeniä prosentteihin. Lisäksi runkojuonnon yhteydessä kasvamaan jätettävät puut voivat vaurioitua 15 metrinkin etäisyydeltä urasta [99].

I. A. Sidelnikov, G. V. Paphsenkov ja A. A. Sljusarev [1] ovat tutkineet puiden karsintaa ja analysoineet karsinnan kehittämismahdollisuuksia ympäristömääräyksiä unohtamatta. Puiden karsinta vaikuttaa käsiteltävän leimikon ekologiseen tilaan. Vaikutus riippuu kuitenkin siitä, millä tavalla ja missä paikassa työ tehdään. Kuten tutkijoiden korjuumenetelmistä tekemä analyysi osoittaa, monitoimikoneiden käytöllä voidaan tehostaa ympäristömääräysten toteuttamista oleellisesti sekä lisätä menetelmän taloudellista tehokkuutta. Tämä on todettu myös ulkomailla, muun muassa Kanadassa, jonka luonnonolosuhteet ovat paljolti samankaltaiset kuin Venäjällä. Tutkijat ovat lisäksi sitä mieltä, että otollisinta on käyttää pyöräalustaisia metsäkoneita.

Puuraaka-aineen laatuun vaikuttaa myös *puuston uudistamisikä*. Professori S. N. Sennovin mielestä [80,81,82] jokaiseen uuteen metsänhoito-ohjeistoon on tehtävä hakkuumenetelmiä parantavia muutoksia. Muutosten on perustuttava pitkäaikaisista kokeista ja käytännön hakkuista saatuihin hyviin tuloksiin. Lukuisat kokeet ovat osoittaneet, että yhden puulajin

taimikoiden hoito perkausvaiheessa, jolloin puista poistetaan 30-35 prosenttia, viivästyttää puuston nopean kasvun alkua ja hidastaa runkojen karsiutumista.

Varttuneen metsän harvennuksiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä niiden osuus on kasvanut merkittävästi. Suurimmassa osassa maailmaa kasvatushakkuuta ei tehdä kiertoajan viimeisellä kolmanneksella tai neljänneksellä, jotta hakkuilla ei heikennettäisi tulevan hakkuukypsän metsän tilavuutta, puuntuotoskykyä ja laatua. Hakkuut aiheuttavat vahinkoa pääosin yli 60-80 vuotiaissa metsiköissä. Nykyaikaisilla kasvatushakkuuohjeilla pystytään vaikuttamaan tulevissa hakkuissa korjattavan puun laatuun.

V. I. Nifontov ja A. V. Dimtshenko [56] ovat tutkineet optimaalista hakkuuikää. He ovat kehittäneet menetelmän, jonka avulla on mahdollista määritellä optimaalinen hakkuuikä ainespuun saannon mukaan haavikoissa, joissa on havaittu niin runkolahoa (haavankäävän aiheuttamana) kuin tyvilahoakin sekä näiden sekatyyppejä. Menetelmää voi käyttää sekä lehtipuu- että havumetsissä, esimerkiksi kuusikoissa, joissa on maannousemasiemen tai muiden sienten aiheuttamia vaurioita. Tuolloin on ehdottomasti otettava huomioon kasvuolosuhteet, metsätyyppi, boniteettiluokka sekä taloudellisen toiminnan tarkoitus.

Tutkimus [3], jossa on tarkasteltu kasvatushakkuiden tarkoituksenmukaisuutta ja käsittely muun muassa hakkuuvoimakkuuksia, on käytännön kannalta mielenkiintoinen. Tutkijat ovat todenneet, että erittäin voimakkaat hakkuut voivat johtaa puiden runkomuodon muutoksiin, niiden liialliseen kapenemiseen ja runkomuodon huononemiseen. Tämä koskee kuitenkin pääasiassa keskimääräistä lyhyempiä puita.

## 2. JOHTOPÄÄTÖKSET

Puun vikoja sekä fysikaalisia ja mekaanisia vaurioita tutkiessaan tutkijat ovat yleensä käsitelleet yksittäisiä tekijöitä ja yksittäisiä maantieteellisiä alueita Venäjällä: metsiköiden kasvuolosuhteita, metsiköiden perustamista ja kasvua, biologisia vaurioita, metsien sairauksia, metsäpaloja ja muita tekijöitä.

Korjuumenetelmien, korjuukoneiden ja -laitteiden, henkilökunnan koulutustason, töiden yleisen organisoinnin, hakkuuajankohdan ja hakkuupaikan vaikutuksia korjattavan puutavaran laatuun on tutkittu vähän. Karjalan tasavallassa korjattavan puun vikoista ei käytännössä ole tietoa. Karjalaisten tutkijoiden töissä kuvaillaan toisaalta puun vikoja sekä fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia, jotka johtuvat muun muassa kasvuoloista ja metsätalouden toimenpiteistä, toisaalta tutkitaan korjuumenetelmien eri vaiheiden vaikutusta kasvamaan jätettävään puustoon.

Tämän vuoksi on tarpeen tutkia puunkorjuumenetelmien, venäläisten ja ulkomaisten korjuukoneiden ja -laitteiden, hakkuuajankohdan ja -tavan, metsikkötyypin (puulaji- ja ikäluokkajakauman) vaikutusta korjattavan puun laatuun. Sen avulla pystytään jatkossa antamaan puunkorjaajille suosituksia korjattavan puun laadun parantamiseksi.