

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MANEESIN RAKENTAMISEN KUSTANNUSVERTAILU

Kun metsästä tulee pankki ja sahatavaraa saa helposti ja halvalla.

TEKIJÄ Henna Ahonen-Väisänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennusmestarin tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Henna Ahonen-Väisänen	
Työn nimi Maneesin rakentamisen kustannusvertailu. Kun metsästä tulee pankki ja sahatavaraa saa helposti ja halvalla.	
Päiväys 24.11.2023	Sivumäärä/Liitteet 91/8
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Yksityinen tilaaja	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida, mitkä ovat maneesin rakentamisen kustannukset. Tarkoituksena oli vertailla omasta metsästä tuotetusta sahatavarasta rakennetun maneesin kustannuksia ostosahatavarasta rakennetun maneesin rakentamiskustannuksiin ja valmiiseen maneesipakettiin. Vertailun tavoitteena oli selvittää, mitkä ovat mahdolliset säästöt, kun käytetään omaa sahatavaraa.</p> <p>Omasta metsästä tuotetun sahatavaran kustannuksiin laskettiin hakkuista johtuva metsän arvonalenema ja tulomenetykset käyttämällä puutavara omaan rakennushankkeeseen sen myymisen sijaan. Lisäksi kustannuksiin laskettiin koneiden ja laitteiden käyttökustannukset sekä rakennushankkeen vaatimat työtunnit ja laskennalliset työkustannukset. Vertailukohtina käytettiin jo olemassa olevien suomalaisten maneesien rakentamiskustannuksia ja rakennetoimittajaryityksiltä saatuja tarjouksia valmismaneesien kustannuksista. Lisäksi Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla luotiin eri runkorakenteisten hallirakennusten kustannuslaskelmia, joista saatiin sekä vertailuarvoja hankkeen kokonaiskustannuksiin että tietoa tämänpäiväisistä rakennusmateriaalikustannuksista. Työssä hyödynnettiin laajasti Microsoft Excel-taulukkolaskelmaohjelmaa, AutoCAD®-suunnitteluohjelmaa sekä Revit®- ja Tekla Structures -mallinnusohjelmia. Opinnäytetyön aineisto kerättiin kirjallisuudesta ja henkilöhaastatteluin. Kustannuslaskennan lisäksi työssä pohdittiin hankkeen realistisuutta ja puunkaadon ympäristövaikutuksia. Merkittävimmät etukäteen arvioidut ongelmakohdat olivat rakennushankkeen työmäärä, vaadittava varastotila ja määräysten mukainen sahatavaran lujuslajittelu.</p> <p>Työn tuloksena saatiin suuntaa antava kustannusarvio siitä, paljonko omasta metsästä itse sahatulla sahatavaralla ilman ulkopuolista työvoimaa rakennettu maneesi maksaa. Lisäksi saatiin tietoa, mitä eroja on rakennusten osalta valmissahatavarasta rakennetun maneesin, valmiin maneesipaketin ja omasta sahatavarasta rakennetun rakennuksen välillä. Laskelmiin perustuen todettiin rakentamisen omasta metsästä tuotetulla sahatavaralla mahdollistavan merkittäviä säästöjä rakennushankkeen kustannuksiin. Itsetuotettuun sahatavaraan liittyy kuitenkin niin aikataulullisia kuin laadullisiakin haasteita, jotka tulee huomioida ennen rakennushankkeeseen ryhtymistä. Opinnäytetyö tarjoaa hyödyllistä tietoa niin metsänomistajille kuin rakennusalan ammattilaisillekin hallirakennuksen materiaalikustannuksista ja kustannusvaihtelun suuruudesta eri menetelmien välillä. Lisäksi se havainnollistaa metsässä kasvavien tukkipuiden arvoa puut itse käyttämällä tai myymällä ne sahateollisuudelle.</p>	
Avainsanat kustannusvertailu, puuntuotanto, sahatavara, maneesi	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Construction Management	
Author Henna Ahonen-Väisänen	
Title of Thesis Cost comparison of a riding hall construction. When forest becomes a bank and sawn timber can be obtained easily and cheaply.	
Date 24 November 2023	Pages/Appendices 91/8
Client Organisation /Partner Private client	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to estimate the costs of building a riding hall. The aim was to compare the costs of a riding hall built from sawn timber produced from one's own forest with the construction costs of a riding hall built from purchased sawn timber and the complete riding hall package. The aim of the comparison was to find out what the potential savings are when using one's own sawn timber.</p> <p>The costs of sawn timber produced from the company's own forest included the depreciation of the forest and income losses caused by using the timber for one's own construction project instead of selling it. In addition, the operating costs of machinery and equipment, as well as the working hours and estimated labor costs required for the construction project were included in the costs. The construction costs of already existing Finnish riding halls and offers received from structural supplier companies for the costs of ready-made riding halls were used as benchmarks. In addition, the Ratu -cost accounting software was used to create cost calculations for different frame hall buildings, which provided both benchmarks for the total costs of the project and information on today's construction material costs. The work made extensive use of Microsoft Excel -spreadsheet software, AutoCAD® -design software, and Revit® and Tekla Structures -modeling programs. The material for the thesis was collected from literature and personal interviews. In addition to cost accounting, the realism of the project and the environmental impacts of felling were considered. The most significant problem areas assessed in advance were the workload of the construction project, the required storage space and the strength grading of sawn timber in accordance with regulations.</p> <p>As a result of the work, an indicative cost estimate was obtained on how much a riding hall built from one's own forest with sawn timber without outside labor would cost. In addition, information was obtained on the differences in terms of costs between a riding hall built of ready-made sawn timber, a complete riding hall package and a building built from own sawn timber. Based on the calculations, it was found that construction with sawn timber produced from the company's own forest would enable significant savings in the costs of the construction project. However, self-produced sawn timber involves both scheduling and qualitative challenges that must be taken into account before embarking on a construction project. The thesis provides useful information for both forest owners and construction industry professionals about the material costs of a hall building and the magnitude of cost variation between different methods. In addition, it illustrates the value of log trees growing in the forest by using the trees themselves or selling them to the sawmill industry.</p>	
<p>Keywords</p> <p>cost comparison, wood production, sawn timber, riding hall</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	SAHATAVARASTA RAKENTAMINEN	9
2.1	Suomalainen sahateollisuus	9
2.1.1	Sahateollisuuden kustannusrakenne ja sahatavaran saanto	9
2.1.2	Sahatavaran tuotannosuunnittelu	12
2.1.3	Lainsäädäntö.....	12
2.2	Puu rakennusmateriaalina	13
2.2.1	Puun ominaisuudet	14
2.2.2	Pohjoismainen havusahatavara.....	20
2.3	Sahatavaran tuottaminen omasta metsästä	21
2.3.1	Metsästä tuotteeksi: sahatavaran synty.....	22
2.3.2	Oman sahatavaran tuottamisen haasteet	37
2.3.3	Tukkipuun arvo ja saanto	43
3	RAKENNUSHANKE	48
3.1	Hankesuunnittelu	48
3.2	Rakennushankkeen kustannustekijät	49
4	MANEESIN RAKENNUSHANKE.....	54
4.1	Lähtötiedot.....	55
4.2	Maneesin rakentamiskustannukset	61
4.2.1	Teräsrunkoinen maneesi	61
4.2.2	Puurunkoinen maneesi.....	62
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	67
6	POHDINTA.....	71
	LÄHTEET	73
	LIITE 1: TERÄSRUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN.....	84
	LIITE 2: TARJOUS TERÄSRUNKOISEN MANEESIN RAKENNUSMATERIAALEISTA, LUOTTAMUKSELLINEN.....	85
	LIITE 3: LIIMAPUURUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN	86
	LIITE 4: MASSIIVIPUURUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN	87
	LIITE 5: MATERIAALIMENEKIT OMASTA PUUTAVARASTA RAKENNETULLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN.....	88

LIITE 6: PUUTAVARAMENEKIT RANKARUNKOISELLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN.....	89
LIITE 7: TYÖMENEKIT OMASTA PUUTAVARASTA RAKENNETULLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN.....	90
LIITE 8: KUSTANNUSVERTAILU, LUOTTAMUKSELLINEN	91

KUVALUETTELO

KUVA 1. Sahatavaraosaanto suhteessa sivutuotteiden saantoon

KUVA 2. Puunrungon poikkileikkaus (muokattu lähteestä Siikanen 2016, 24)

KUVA 3. Puun erisuuntaisten kutistumien suuruudet puun kuivussa (muokattu lähteestä Leppänen 2017, 131)

KUVA 4. Puun soluonteloiden vapaan veden poistuminen ja kyllästymispisteen saavuttaminen (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)

KUVA 5. Soluseinämiin sitoutuneen veden vähenemisen aiheuttama kutistuma (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)

KUVA 6. Puukappaleen suhteellisuus-, elastisuus- ja murtoraja sekä lujuus (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 67)

KUVA 7. Puukappaleen syiden suunta ja syiden vastaiset suunnat (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 67)

KUVA 8. Puunhankinnan suunnittelun elementit ja tasot (muokattu lähteestä Pajuoja & Räsänen 2017, 50)

KUVA 9. Pelkkasahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

KUVA 10. Jakosahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

KUVA 11. Sahaustavat vasemmalta oikealle: läpisahaus, tähtisahaus ja ympärisahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

KUVA 12. Pyörösahauksen toimintaperiaate (Kauppinen & Ropilo 2017, 95)

KUVA 13. Vannesahauksen toimintaperiaate (Kauppinen & Ropilo 2017, 97)

KUVA 14. Pohjoismainen sahatavara – Nordic Timber – Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet -laatulajitteluohjeen uusin painos vuodelta 2016, eli niin sanottu Harmaa kirja (Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys 2023)

KUVA 15. Sahatavarakappaleen osia (muokattu lähteestä Siikanen 2016, 97)

KUVA 16. Sahavaran oksatyyppejä ja laatuviikoja (Puuinfo 2020)

KUVA 17. Ote INSTA 142:n mukaisesta tiivistetystä lujuuslajitteluohjeesta (Parviainen 2010, 26)

KUVA 18. Taapelin aloittaminen (Voutilainen ym. 2018, 128)

KUVA 19. Sahatavarakappaleet taapeliksi pinottuna (Voutilainen ym. 2018, 128)

KUVA 20. Valmis taapeli, joka on suojattu katoksella ja kevytpeitteellä (Voutilainen ym. 2018, 128).

KUVA 21. Eri halkaisutapojen vaikutus puun kuivumiskäyttäytymiseen (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)

- KUVA 22. Kevyen rangan siirtämistä hevosella (Ahonen-Väisänen 2022, CC BY-NC-SA)
- KUVA 23. Kestävyyden eri osa-alueiden suhteiden kuvaamistapoja (muokattu lähteestä Jalonen 2006, 43)
- KUVA 24. Hömötiainen *Poecile montanus* luonnollisessa elinympäristössään (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 25. Kohdetilan metsää nykytilassaan (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 26. Uhanalaisten lajien esiintyminen avainbiotooppien edustamissa elinympäristöissä (muokattu lähteestä Hanski 2006, 203)
- KUVA 27. Summa-arvon kehittyminen puun kasvaessa (Liljeroos 2021, 204)
- KUVA 38. Kuusitukin keskimääräinen kuutiohinta Savo-Karjalassa 43/2023. Pylväsdiagrammit vasemmalta lukien: uudistushakkuu, harvennushakkuu, ensiharvennus (UPM Metsä, 2023)
- KUVA 29. Keppimenetelmän suoritusperiaate (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 30. Keppimenetelmän mukaan puun pituutta arvioitaessa ihmisen etäisyys puusta vastaa puun pituutta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 31. Rakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Tilaajan ohje 2016, 1)
- KUVA 32. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa (RT 10-11226 Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Tilaajan ohje 2016, 1)
- KUVA 33. Rakennushankkeen kustannusten muodostuminen (muokattu lähteestä Kaukinen 2021, 19)
- KUVA 34. Kuvaleike Tekla Structures -mallinnusohjelmasta: rankarunkoisen hallin periaatteelliset runkorakenteet ilman jäykistäviä rakenteita (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 35. Lomalaudoituksen periaatekuva (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 36. Talon ja piharakennusten sijainnit. Maneesille valittu rakennuspaikka on merkattu kuvaan valkoisella katkoviivalla. Sinisellä on esitetty kuvan 36 katsontapaikka ja -suunta. (muokattu lähteestä Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Karttatiedot 2023.)
- KUVA 37. Maneesille valittu rakennuspaikka asuinrakennuksesta etelään päin katsottuna. Maneesi rakennetaan tien oikealla puolella sijaitsevan pellon vasempaan reunaan. (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA.)
- KUVA 38. Ote Kuopion kaava-alueista (muokattu lähteestä Kuopion karttapalvelu 2023)
- KUVA 39. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila luoteesta päin katsottuna (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 40. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila koillisesta päin katsottuna (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 41. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: maneesin pääsisäänkäynti (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)
- KUVA 42. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: luonnos maneesin sisätiloista (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

KUVA 43. Teräsrunkoinen maneesi, Kimmon talli, Kuvansi (Ahonen-Väisänen 2011, CC BY-NC-SA)

KUVA 44. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosapohjaisesta liimapuurunkoisen maneesin kustannuslaskennasta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

KUVA 45. Riitan tallin maneesi helmikuussa 2023 (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

KUVA 46. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosapohjaisesta rankarunkoisen maneesin kustannuslaskennasta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

KUVA 47. 1,5 metrin korkeudelta mitattuna ympäröimitaltaan 171-senttimetrinen kuusi, eli puun halkaisija on 54,4 cm (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA).

1 JOHDANTO

Rakentamiskustannusten raju nousu ja talouden suhdannevaihtelut ovat vaikuttaneet rakennusalaan romahduttavasti viime vuosina. Maaliskuussa 2023 rakennusmateriaalien hinnat olivat nousseet 9,4 prosenttia vuodentakaiseen hintatasoon verrattuna (Suomen virallinen tilasto (SVT)). Vaikka sahatavaran äkillisesti noussut hinta on sittemmin lähtenyt laskuun, pitkällä aikavälillä hintojen nousu jatkuu kestävän kehityksen mukaisen puurakentamisen suosion kasvaessa, ja ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvien sään ääri-ilmiöiden tuhotessa puuraaka-aineen määrää maailmanlaajuisesti.

Kallistuneet rakennusmateriaalit ja yleinen ostovoiman lasku pakottavat kuluttajat miettimään vaihtoehtoisia toteutustapoja rakennushankkeissaan. Tämä lisää metsänomistajien kiinnostusta oman sahatavaran tuottamista kohtaan. Omasta metsästä tuotetulla sahatavaralla rakentaminen voi olla mahdollista rakentamiskustannusten noususta ja negatiiviseksi kääntyneestä ostovoimasta huolimatta.

Muiden rakennushankkeiden tapaan myös maneesien, eli ympärivuotiseen ratsastukseen sopivien ratsastushallien, rakentamiskustannukset ovat nousseet entisestään. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada selville, kuinka paljon rakentamiskustannuksissa voidaan säästää käyttämällä rakennushankkeessa omasta metsästä tuotettua sahatavaraa ostetun sahatavaran tai valmiin maneesipaketin ostamisen sijaan.

Opinnäytetyössä laaditaan hanketason suunnitelmat tilaajan maatilalle kustannusvertailua varten. Kohdetila on Pohjois-Savossa sijaitseva pientila, jonka pinta-alasta valtaosa on tukkipuukokoista metsää. Tilalla on tarkoitus harjoittaa tulevaisuudessa hevostoimintaa, kuten suomalaisten lämminveristen ratsuhevosten (FWB, engl. Finnish warmblood), kasvattamista. Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen epävakaistuneet talviolosuhteet tekevät suuret investoinnit välttämättömiksi: paksun koko talven kestävän lumipeitteen sijaan heittelevien lämpötilojen seurauksena esiintyvät liukkaat maapohjat estävät hevosten turvallisen liikuttamisen ulkotiloissa talvikausilla.

Omasta metsästä tuotetusta sahatavarasta rakennetun maneesin rakentamiskustannuksia ja rakentamisen työmäärää vertaillaan jo rakennettujen suomalaisten maneesien rakentamiskustannuksiin, jotta saadaan selville mahdolliset kustannussäästöt ja suuntaa antava arvio hankkeen kustannuksista. Tulosten pohjalta selvitetään hankkeen realistisuus sekä vaadittavat työmäärälliset resurssit.

2 SAHATAVARASTA RAKENTAMINEN

Suomi ei ole pelkästään tuhansien järvien, vaan myös kymmenienmiljoonien metsähehtaarien maa. Vuonna 2020 Suomen maapinta-alasta 86 prosenttia oli metsätalouden maata, eli tuottavaa metsämaata, vähätuottoista kitumaata ja tuottamatonta joutomaata. Tuottavan metsämaan osuus koko Suomen pinta-alasti oli 67 prosenttia. Suomi onkin pinta-alaansa suhteutettuna Euroopan metsäisin valtio. Suomen metsämaan osuus maan pinta-alasta on myös maailmanlaajuisesti merkittävä: vaikka Suomen väestö muodostaa vain promillen koko maailman väestöstä, maailman metsistä puoli prosenttia on suomalaista metsää. (Kuisma 2017, 13; Luonnonvarakeskus 2021.)

2.1 Suomalainen sahateollisuus

Runsas puuston myötä puuteollisuus on ollut aina tärkeä, jopa tärkein, tekijä Suomen kansantaloudessa. Suomalaisesta sahasta on ensimmäinen luotettava merkintä jo vuodelta 1533 ja seuraavien parinkymmenen vuoden aikana sahalaitoksia oli rakennettu Suomeen 15. Länsi-Euroopan kaupunkien kasvaessa ja teollistuessa 1700-luvulla Suomen rannikkokaupunkien tärkeimmät vientituotteet olivat puuta ja puujalosteita, joita kuljetettiin niin Britanniaan, Alankomaihin kuin Välimerenmaihiinkin. Vaikka Suomi on menneillä vuosisadoilla lukeutunut Euroopan köyhimpiin valtioihin, viimeisten vuosikymmenten aikana Suomi on noussut maailman vauraimpien kansakuntien joukkoon. Muutos on johtunut teollistumisesta ja uudenaikaistumisesta, jossa puunjalostusteollisuudella on ollut merkittävä rooli. Tänä päivänä puuteollisuus työllistää lähes 50 000 ihmistä Suomessa. (Kuisma 2017, 13–17; Voutilainen ym. 2018, 12–16.)

Vaikka metsäsektorin osuus bruttokansantuotteesta on laskenut tasaisesti 1980-luvulta lähtien, metsät ja metsäteollisuus ovat säilyttäneet paikkansa Suomessa. Markkinoiden rakennemuutokset, kansainvälistyminen sekä ilmasto- ja energiapolitiikka ovat vaikuttaneet suomalaisen metsäteollisuuden kehitykseen, kapasiteettiin ja tuotantomääriin, mutta suomalainen havupuu on tänäkin päivänä globaalisti tunnettua erinomaista rakennusmateriaalia lukuisiin käyttökohteisiin. Suomen luonnon lyhyt kasvukausi, joka paikoitellen kestää jopa vain kolme kuukautta, aiheuttaa puiden hitaan kasvun. Hidas kasvu takaa hyvälaatuisen, sitkeän ja kovan puun: puut ovat suorita ja vähäoksaisia sekä sydänpuun osuus suhteessa puun tilavuuteen on suuri. (Merivuori 2017, 18–20; Ilmatieteenlaitos 2023.)

Suomen nykyiset metsävarat kasvavat vuodessa 103 miljoonaa kuutiometriä. Koska metsien hoito ei nykyisellään keskity pelkästään tuotannon maksimointiin, vaan metsiä pyritään hyödyntämään monipuolisesti, metsien puusto on kasvanut kokonaisuudessaan 2,5 miljardiin kuutiometriin (2022). Yhdellä hehtaarilla metsämaata puuston keskitilavuus on 122 m³. Yksi tukkipuu puolestaan on kooltaan keskimäärin 0,6–1 m³. Kuusitukin tavoiteltava koko on kuution luokkaa. (Merivuori 2017, 20; Skyttä 2020; Luonnonvarakeskus 2022.)

2.1.1 Sahateollisuuden kustannusrakenne ja sahatavaran saanto

Termiä sahatavara käytetään yleisnimityksenä neljältä tai useammalta sivulta sahatulle puutavaralle, ja sahateollisuus on sitä valmistava tuotantoala. Sahateollisuuden kustannusrakenne vaihtelee eri sahojen välillä merkittävästi. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistyksen vuoden 2017 julkaisussa *Sahateollisuus* esimerkkisahan kustannukset jakaantuvat seuraavasti: raaka-aineen hinta 52 %,

puun korjuu ja siirto tienvarteen 8 %, kuljetus sahalle 5 % ja sahatavaran rahtikulut 9 %. Loput kustannukset muodostuvat muun muassa energiasta, palkoista ja pääomakuluista. Esimerkkilaskelmasta huomataan raaka-aineen osuuden olevan huimat 65 % kokonaiskustannuksista. Korjuu- ja kuljetuskustannusten suuren osuuden (yhteensä 22 %) takia sahateollisuuden kulurakenteeseen vaikuttaa suuresti myös vallitseva energia- ja liikennepolitiikka. Esimerkkilaskelma voi poiketa suurestikin toisten sahojen kulurakenteesta, sillä esimerkiksi pientä ja lyhyttä tukkia sahaamalla raaka-ainekustannukset pienenevät selvästi, mutta toisaalta taas kyseisissä tapauksissa tuotantokustannukset voivat nousta ja myyntitulot laskea selvästi. Myös henkilökustannusten osuus voi vaihdella rajusti: nykyaikaisilla sahoilla yksi henkilö huolehtii automatisoidusta linjasta, kun taas vanhemmilla sahoilla työskentelee useita henkilöitä saman työvaiheen parissa. Kustannusrakenteen sijaan myyntituottojen osuus on yhdenmukaisempaa. Keskimäärin sahateollisuuden liikevaihdosta sahatavaran osuus on noin 80 %, ja sivutuotteiden, eli hakkeen, purun ja kuoren myynnin, osuudet ovat yhteensä noin 20 %. (Merivuori 2017, 29–31; Tornainen 2017, 180.)

Suurten metsäteollisuuskonsernien harjoittaessa sahateollisuuden liiketoimintaa osana sulautettua toimintamalliaan, piensahat ovat tyypillisesti yrittäjien omistamia, korkeintaan parin henkilön opeoimiamia tukkisirkkeleitä tai vannesahoja, joiden tuotantomäärät ovat yleensä satoja tai korkeintaan tuhansia kuutioita vuosittain. Monet piensahat sahaavat oman tuotantonsa lisäksi myös lähistöltä puutavaraa tuovien metsänomistajien tukkeja, jolloin metsänomistaja maksaa työkustannuksista sahurille ja saa tukeista tehdyn sahatavaran omaan käyttöönsä. Piensahojen osuus on arvioiden mukaan alle 5 % Suomen kokonaissahatavaratuotannosta. (Merivuori 2017, 32; Sahateollisuus 2023.)

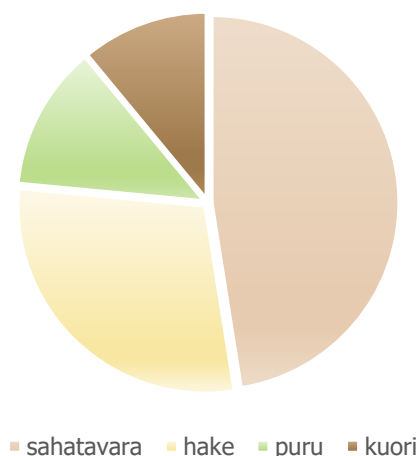
Sahateollisuudessa käytetään raaka-aineena pääasiassa kuusta, mäntyä ja koivua. Siinä missä puulaji vaikuttaa puun ominaisuuksiin, myös puun ikä, kasvupaikka ja -nopeus sekä vallinnut ilmasto vaikuttavat puuainekseen. Lisäksi puuaineksen ominaisuudet muuttuvat yhden puun sisällä sekä puun poikkileikkauksen että puun pituussuunnan suhteen. Oksat, niiden määrä, koko ja sijainti, vaikuttavat merkittävästi sahatavaran laatuun. Oksat heikentävät puun lujuutta ja aiheuttavat muutoksia sahatavaran kuivauksen aikana. Lisäksi ne vaikuttavat lopullisen tuotteen ulkonäköön. Oksien lisäksi puutavaran vikaisuuksia ovat muun muassa rungon mutkaisuus tai puuaineen viat, kuten laho tai reaktiopuun eli lylyn esiintyvyys. Reaktiopuu on puun vinoudesta johtuvaa puusolujen epämuodostumaa, jota syntyy puun pyrkiessä suoristumaan. Muodostuva solukko on kierteistä ja siinä tapahtuu normaalista suurempia muodonmuutoksia sahauksen jälkeen. (Pajuoja & Räsänen 2017, 38; Puuproffa julkaisuaika tuntematon.)

Suomen metsäteollisuuden raaka-aineista ja energiaksi käytettävästä puusta suurin osa ostetaan yksityismetsistä. Yksityisten henkilöiden kanssa puukauppa voi olla pysty-, hankinta-, käteis- tai toimituskauppaa, joista ensimmäiseksi mainittu on yleisintä. Pystykaupassa ostaja ja myyjä sopivat alueen tai tietyn määrän sovitun laista puuta, ja ostaja saa oikeuden hakata ja kuljettaa puut pois sopimuksessa päätetyn ajan kuluessa. Puutavaran kuutiometrihinnoitteluun vaikuttavat muun muassa hakkuutapa ja korjuukelpoisuusajankohta. Koska puukauppaa koskevia yhteisiä sopimusehtoja ei Suomessa ole, puunostajilla on itselaaditut sopimusehdot, jotka kuitenkin vakiintuneiden kauppatajien takia ovat yleensä eri ostajien välillä hyvin samankaltaisia. Sopimuksen tärkein osa on ostajan

laatimat mitta- ja laatuvaatimukset kullekin puutavaralajille. Yleisesti käytössä olevia mittoja tukkipuulle ovat: pituus 310–610 cm ja minimilatvaläpimitta 15–20 cm. (Pajuoja & Räsänen 2017, 38–42.)

Hakattavaksi sovitulta metsäalueelta, eli leimikosta, ei sovi kauppahintaa etukäteen, sillä hinnan määrittäminen kaatamattomasta puusta on hyvin epävarmaa tai toisaalta kallista määrittää tarkasti. Lopullisen tukin hinnan määrittävät puutuotteen ominaisuudet, kuten dimensiot ja oksaisuus. Suunniteltuun puutavaraan vaaditaan tietynlaiset mitat ja laatuvaatimukset täyttäviä tukkeja. Tukin suuri koko takaa suuremman sahatavaraosaannon ja siten tukki sopii myös useampaan erilaiseen tuotteen laatuvaatimusten kannalta. Kuudessa laatuominaisuudet vaihtelevat mäntyä vähemmän, mistä syystä kuusen järeydellä on jalostusarvon kannalta suurempi painoarvo kuin männyllä. Kuusten rungossa oksatonta pituutta on huomattavasti vähemmän esimerkiksi mäntyyn ja koivuun verrattuna, mikä osaltaan vaikuttaa kuusisahtavaran arvoon ja käyttökohteisiin. (Pajuoja & Räsänen 2017, 42–45; Suomen Metsäyhdistys julkaisuaika tuntematon.)

Sahauksen saannolla kuvataan sahauksen käyttösuhdetta, eli kuorellisesta tukkipuusta saatavan sahatavaran määrää suhteessa käytetyn raaka-aineen määrään. Vaikka sahojen sahausprosessin sivutuotteiden arvo on liikevaihdollisesti korkeintaan viidennes, määrällisesti sivutuotteita syntyy reilusti: keskimäärin tukista saadaan sahatavaraa noin 45–50 % ja lopputilavuudesta saadaan haketta (28–30 %), sahanpurua (10–15 %) ja kuorta (10–12 %). Sivutuotteista arvokkainta on hake, joka on sellaisenaan massa- ja selluteollisuudelle sopivaa raaka-ainetta. Purun ja kuoren myynnillä ei ole hakkeen veroista taloudellista hyötyä, mutta niitäkin voidaan käyttää niin energiaraka-aineina kuin esimerkiksi pellettien valmistuksessa. Saantosuhdetta esitetään kuvassa 1. (Korhonen 2015, 5–6; Pajuoja & Räsänen 2017, 46–47; Puuteollisuus 2023.)



KUVA 1. Sahatavaraosaanto suhteessa sivutuotteiden saantoon

Sahateollisuudessa saanto voidaan laskea useilla eri tavoilla, mutta yleisimmin käytetään tilavuus- tai arvosaantoa. Tilavuussaannolla tarkoitetaan laskentatapaa, jossa verrataan käytetyn tukkipuumateriaalin tilavuutta saadun sahatavaran tilavuuteen. Arvosaannossa pyritään optimoimaan tuotteiden

valmistus markkinatilanteen tai tilausten perusteella arvottamalla tuotteita eriarvoisiksi. Arvosaanossa voidaan huomioida myös hakkeen ja sahanpurun osuudet. Koska syntyvien sivutuotteiden tarkkaa määrää ei voida arvioida, saanto on vaikea laskea täysin tarkasti. (Kauppinen & Ropilo 2017, 100.)

Yhden kuution sahatavaraa saadakseen tarvitaan keskimäärin vähintään kaksi kuutiota tukkipuuta. Saantoon vaikuttaa lukuisia tekijöitä, jotka eivät yleensä yksinään vaikuta saantoon huomattavasti – yleensä 1–2 prosenttia – mutta eri tekijät yhdessä voivat vaikuttaa saantoon merkittävästi. Saantoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa raaka-aineen ominaisuudet, kuten tukkien suoruus, halkaisija ja lenkous eli tasainen käyryys, sahakoneen tai -linjan ja työkalujen ominaisuudet sekä tukin stabiilius mittauksen aikana. Lisäksi saantoon vaikuttavat esimerkiksi tukin pyöritys ja suuntaus, tuotteiden vajaasärmäehdot sekä sahan mahdolliset rajoitteet tukin syöttöasennolle. (Korhonen 2015, 8; Kauppinen & Ropilo 2017, 100.)

2.1.2 Sahatavaran tuotannosuunnittelu

Sahatavaran tuotannosuunnittelulla pyritään optimoimaan tukkiraaka-aineen käyttö niin, että tukeista ja siitä tehtävästä sahatavarasta saadaan mahdollisimman suuri taloudellinen hyöty: raaka-aine hyödynnetään optimaalisesti, tuotteet myyvät, toimitusaikataulut pitävät ja tuotteiden laatu on sovitun lainen. Tuotannosuunnittelun osia ovat pitkän, keskipitkän ja lyhyen aikavälin suunnittelu. Pitkän aikavälin suunnittelussa tarkastellaan tavallisesti vuoden pituista ajanjaksoa. Tällöin voidaan puhua vuosisuunnittelusta, jossa edellisen vuoden tietojen pohjalta pyritään optimoimaan käyttöön tuleva tukkiraaka-aine suhteessa myynnin tarpeisiin. Keskipitkällä suunnittelulla tarkoitetaan kuukausisuunnittelua tai yhden sahausjakson suunnittelua. Keskipitkässä suunnittelussa sahausessa käytettävä raaka-aineen määrä, läpimitat ja pituudet ovat selvillä, ja suunnitelmissa tulee huomioida myynnin toiveet ja varastossa oleva sahatavara sekä jo tehdyt ja sovitut kaupat. Lyhyen aikavälin suunnittelu on viikkosuunnittelua, jossa laaditaan yksityiskohtaisia sahaussuunnitelmia viikoksi kerrallaan muun muassa tukkivaraston, lähetysten ajankohtien ja tuotantoketjun sujuvuuden perusteella. (Virtanen 2017, 59–61.)

2.1.3 Lainsäädäntö

Metsien käyttöä Suomessa on säädelty laein 1800-luvulta lähtien. Ensimmäinen metsälaki laadittiin viranomaisten huolestuttua metsien mahdollisesta liiallisesta käytöstä, jolloin lailla haluttiin turvata metsien säilyminen ja se, että metsät ehtivät uudistua luonnollisesti. Vielä 1970-luvulla Suomessa oli käytössä erilaisia hakkuulaskentakaavoja, joiden avulla pyrittiin tasaamaan puuntuotantoa. Esimerkki hakkuulaskentakaavasta näkyy kaavassa 1. Ajan saatossa metsälakia on uudistettu ja muokattu yhteiskunnan tarpeita vastaavaksi. 1. tammikuuta vuonna 2014 asetettiin voimaan muutoksia, jotka lisäsivät huomattavasti metsänomistajien vapauksia ja omaa vastuuta metsien käytön ja hoidon suhteen. Uuden lain mukaan esimerkiksi metsän uudistamiselle ei ole rajoitteita, jotka perustuisivat puuston ikään tai läpimittaan. Näillä muutoksilla pyrittiin kasvattamaan metsänomistajien motivaatiota metsiensä hoitoon, parantamaan metsätalouden kannattavuutta ja lisäämään metsien monimuotoisuutta, sekä näiden kautta turvaamaan metsäteollisuuden kasvava raaka-ainetarve. (Metsälaki 1093/1996, 2 luku 5–9 §; Tahvonen 2006, 46; Merivuori 2017, 19–20; Metsäkeskus 2022.)

Austrian Formula -hakkuulaskentakaava on peräisin vuodelta 1788 (kaava 1). Kaavan mukaan kaatomäärä laskettaessa metsä kehittyy kiertoajan kuluessa normaalimetsäksi, ja tämän jälkeen vakiomääräiset hakkuut vanhimpiin puihin kohdistamalla puuntuotanto säilyy tasaisena vuodesta toiseen:

$$H_T = I_T + \frac{G_T - G}{T} \quad (1)$$

missä

H_T on hakkuumäärä

I_T on metsän kasvu

G_T on puuvarannon koko vuonna t

G on tavoitteeksi asetettu normaalimetsän tilavuus

T on kiertoaika

(Tahvonen 2006, 46.)

2.2 Puu rakennusmateriaalina

Puusta rakennettaessa tulee tarkastella erityisesti sen ekologisia, kosteusteknisiä ja teknisiä ominaisuuksia. Rakennusmateriaalina puu on ekologinen, kestävän kehityksen mukainen uusiutuva ja kierrätettävä materiaali, ja metsäteollisuus onkin osa biotaloutta. Biotaloutteen luetaan kuuluvaksi uusiutuvia luonnonvaroja tuottavat ja käyttävät tuotantotavat sekä kyseisillä menetelmillä valmistettujen materiaalien kuluttaminen. Puu sitoo itseensä hiiltä koko käyttöikänsä, eli jopa satojen vuosien, ajaksi. Elinkaarensa aikana puumateriaalin käyttökohteita voi muuttaa ja lopuksi sitä voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Tällöin vapautuva hiilidioksidin määrä on se, minkä puu on eläessään itseensä varastoinut. Kierrätettävyys ja hiilensitovuus yhdistettynä puumateriaalien laskennalliseen käyttöikään tekevät puusta ympäristöystävällisen materiaalin, mikä korostuu entisestään, jos puulla korvataan materiaaleja, joiden valmistuksessa tai elinkaaren aikana syntyy merkittäviä päästöjä. Puutuotteet ovat harvoja rakennusmateriaaleja, joiden tuottaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin mitä ne sitovat itseensä. Eri materiaalien valmistuksen hiilidioksidipäästöjä esitellään taulukossa 1. Puusta ja puupohjaisista biomassoista voidaan valmistaa niin perinteisiksi ajateltuja metsäteollisuuden tuotteita, kuten sahatavaraa ja paperia, mutta myös laajasti erilaisia jatkojalosteita, kuten biopolttoaineita, kangaskuituja, komposiitteja ja jopa kosmetiikkaa ja funktionaalisia elintarvikkeita. Teollisuuden sivutuotteena syntyy muun muassa haketta ja purua, jotka voidaan myös hyödyntää esimerkiksi energiantuotantoon tai tuotantoeläinten tarpeisiin. (Merivuori 2017, 18–19; Voutilainen ym. 2018, 31–32.)

TAULUKKO 1. Materiaalien valmistuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä tuotettua kilogrammaa kohti. Negatiiviset arvot tarkoittavat, että materiaaliin sitoutuu enemmän hiiltä kuin sen valmistuksessa syntyy. (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 32.)

ERI MATERIAALIEN VALMISTUKSEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	
PUU	-1,41
PUUKUITU, PUHALLETTAVA	-0,91
VANERI	-0,68
PUUKUITULEVY	-0,58
BETONIELEMENTTI	0,12
RAKENNETERÄS	0,20
PUNATIILI	0,22
LASIVILLA	1,47
POLYURETAANI	4,40
ALUMIINI	11,92

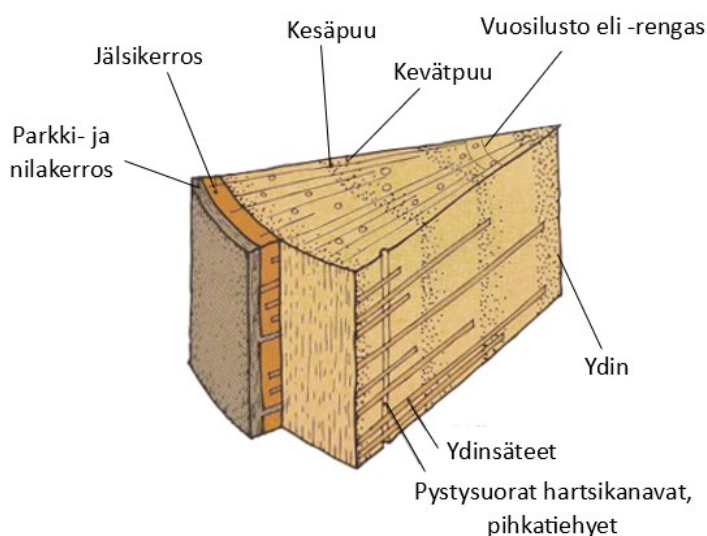
2.2.1 Puun ominaisuudet

Havu- ja lehtipuiden ominaisuudet eroavat merkittävästi toisistaan jo solutasolla. Esimerkiksi lehtipuiden putkisolut ovat vain millimetrin pituisia siinä, missä havupuilla niiden pituus voi olla jopa 6–7 mm. Eriäinen solurakenne eli anatomia vaikuttaa merkittävästi kasvuun, ominaisuuksiin ja jalostukseen, kuten kuivumiseen. Puun ikääntyessä sen mekaaniset ominaisuudet, eli esimerkiksi lujuus ja kimmoisuus, paranevat. Tämä johtuu puun tiheyden lisääntymisestä sen mikrofibrillikulmien pienenemisessä. Mikrofiibrillit ovat puun soluseinien kuitumaisia rakenneosia, jotka eivät ole täysin samansuuntaisia solujen kanssa. Mikrofiibrillien ja solun asennon välistä kulmaa kutsutaan mikrofiibrillikulmaksi. Monet puun ominaisuudet, kuten lujuus ja kuivumisen aikainen vääristyminen, pohjautuvat mikrofiibrilleihin. Ikääntyessään puu alkaa muodostaa myös erilaista puuainesta kuin nuoruudessaan: puun nuoruusvaiheessa muodostama puuainesta eli nuorpuu on lähinnä ydintä sijaitsevaa ainesta, ja myöhemmin muodostuva aikuispuu sijaitsee kauempana ytimeästä. Nuorpuu muuttuu muotoaan aikuispuuta herkemmin kuivuessaan, jonka lisäksi sen lujuusominaisuudet ovat suuremman mikrofiibrillikulman takia heikommät. Näin ollen nuorpuu soveltuu parhaiten polttopuuksi tai paperi-/selluloosateollisuuden raaka-aineeksi. (Voutilainen ym. 2018, 51–59.)

Puuvartisilla kasveilla on kaksiosainen kuori, joka koostuu sisä- ja ulkokuoresta. Ulkokuori eli kaarna on kuollutta ainesta, mutta sisäkuori eli nila on elävää solukkoa. Puun kuoren ja puuaineksen välissä on jälsi (kuva 2), joka kasvaa sekä paksuus- että tangentin suuntaan. Jälsi aiheuttaa puun paksuuskasvun muodostaen erityyppisiä puusoluja, jotka solujen laajentumisen päätteeksi puutuvat.

Puusolut alkavat puutumisen jälkeen muuntua ja muodostaa sydänpuuta. Fysiologinen sydänpuu on puun keskellä sijaitsevaa solukkoa, jossa kaikki solut ovat kuolleita. Havupuilla sydänpuun muodostumiseen liittyy solujen aspiroituminen eli umpeutuminen, mikä pienentää sydänpuuaineksen vedenläpäisevyyttä. Tämän seurauksena sydänpuun kuivaaminen on pintapuuta vaikeampaa, mutta toisaalta sydänpuu ei myöskään kuivumisen jälkeen kastu enää niin helposti kuin pintapuuta. Matalan

vedenläpäisevyyden lisäksi sydänpuun ominaisuuksia ovat pintapuuta parempi lahonkestävyys ja tiheys, mikä johtuu sydänpuuhun kertyneistä uuteaineista. Sydänpuu on tavallisesti rungon arvokkain osa. Männyllä ja kuusella on lehtikuuseen verrattuna sydänpuuta prosentuaalisesti vähemmän: vanhoissakaan kuusissa tai männyissä sydänpuun osuus ei yleensä ole yli 50 prosenttia, toisin kuin lehtikuusilla osuus voi olla jopa 80 %. Sydänpuun aspiroitumisen lisäksi myös puun pintakerrosten solut voivat aspiroitua puun kuivumisen yhteydessä. Tätä tapahtuu erityisen voimakkaasti kuusilla. Voimakas aspiroituminen tekee kuusesta materiaalina kestävän. Kuusisahatavara ei ime itseensä vettä, joten sen kosteuseläminen on vähäistä, eivätkä haitalliset mikrobit pääse kulkeutumaan puuhun yhtä helposti kuin muista puulajeista valmistettuun puumateriaaliin. (Siikanen 2016, 24–25; Voutilainen ym. 2018, 56–58.)

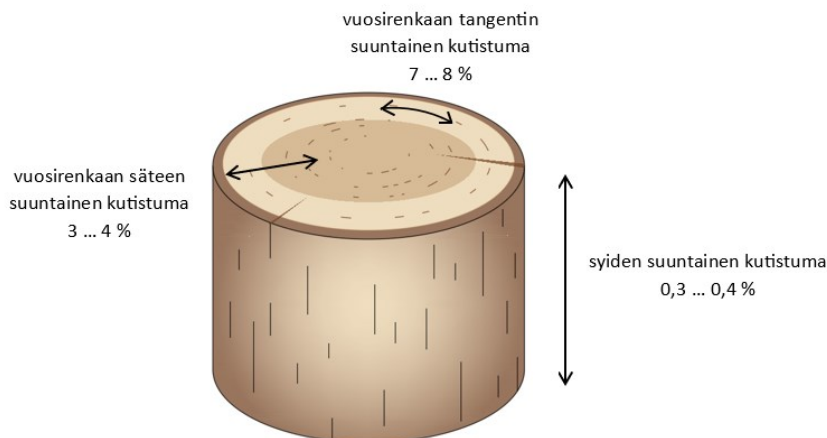


KUVA 2. Puunrungon poikkileikkaus (muokattu lähteestä Siikanen 2016, 24)

Puun kosteusteknisistä ominaisuuksista rakentamisen kannalta merkittäviä ovat hygroskooppisuus ja anisotrooppisuus. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan puun kykyä sitoa itseensä vettä ja luovuttaa sitä, ja anisotrooppisuudella puun ominaisuuksien vaihtelua eri suuntiin. Puun kosteuspitoisuus kuvaa puun sisältämän veden painon ja puun absoluuttisen kuivapainon suhdetta toisiinsa. Vastasahatun puun kosteuspitoisuus on tavallisesti 40–200 %. Kosteuspitoisuuteen vaikuttavat muun muassa puulaji, puun osa, korjuuajankohta ja korjuupaikka. Havupuiden kosteuspitoisuuden vaihtelu on lehtipuista pienempää. Käytettävän sahatavaran tulisi olla kosteuspitoisuudeltaan 8–25 prosentissa. Koska puu on hygroskooppinen materiaali, sen kosteuspitoisuus ei pysy vakiona, vaan se vaihtelee ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Pintakäsittely voi hidastaa puussa tapahtuvia kosteuden muutoksia, mutta se ei estä niitä tapahtumasta. (Hilli 2017; Leppänen 2017, 129–131.)

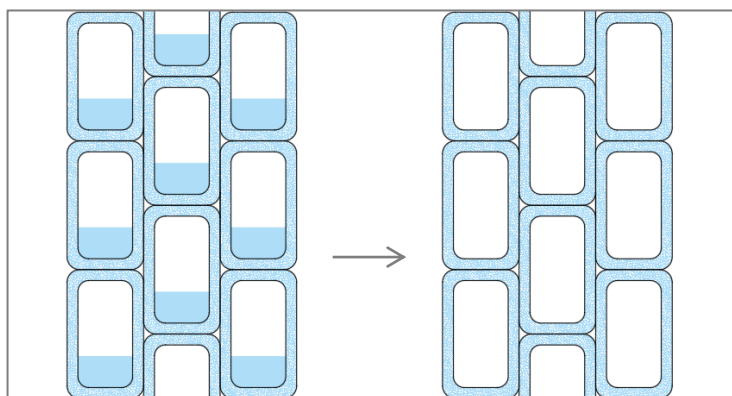
Kuivuessaan puu kutistuu sekä vuosirenkaiden tangentin ja säteen suunnassa että rungon syiden suunnassa. Anisotrooppisuus, eli se, että puun sydensuuntainen kosteuseläminen ei ole kovinkaan merkittävää, toisin kuin kosteuseläminen puun poikkileikkauksen suunnassa, aiheuttaa hankaluuksia puun kuivaamisessa. Puun kosteuselämisen suuruutta rungon eri suunnissa on esitelty kuvassa 3.

Lisäksi sydänpuu on pintapuuta kuivempaa, jolloin kuivumiskutistuminen ei ole tasaista myöskään puun eri osien kesken. Nämä tekijät yhdessä aiheuttavat puun kieroutumista, vääntymistä ja halkeilua niin sahatavaran kuivumisen aikana kuin myös myöhemmin ilmankosteuden muutosten yhteydessä jo rakennetuissa rakenteissa. Esimerkiksi laudan leveys muuttuu keskimäärin 0,2 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden. (Leppänen 2017, 129–131; Puuinfo 2020.)

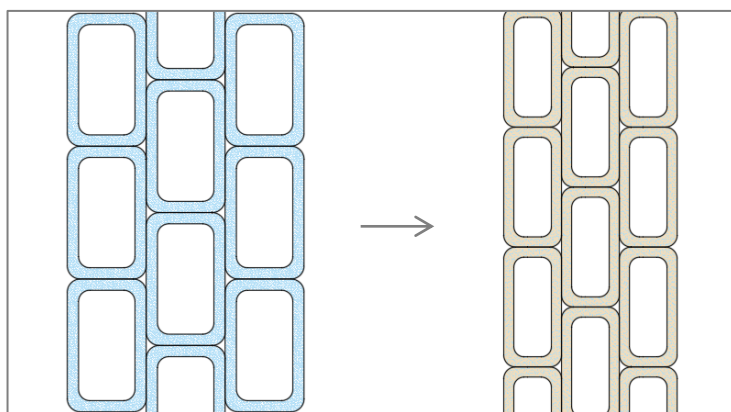


KUVA 3. Puun erisuuntaisten kutistumien suuruudet puun kuivuessa (muokattu lähteestä Leppänen 2017, 131)

Puun syiden kyllästymispisteeksi kutsutaan tilaa, jossa soluonteloiden vapaa vesi on poistunut, mutta soluseinämiin on varastoinut yhä enimmäismäärä vettä. Tilannetta havainnollistetaan kuvassa 4. Kyllästymispisteessä puun kosteuspitoisuus on noin 30 %. Jos puu jatkaa kuivumistaan kyllästymispisteen saavutettuaan, vesi alkaa poistua myös soluseinämistä. Tämä aiheuttaa puun kutistumisen. Tapahtuma on esitetty kuvassa 5. Puun kosteuspitoisuudella on vaikutuksia sekä puun tekniisiin ominaisuuksiin että puun säilymiseen. Alle 20 % kosteuspitoisuudessa puu ei tavallisesti pääse home- tai lahovaurioitumaan. Pysyvä kosteuspitoisuuden nousu yhdistettynä ympäröivän ilman otolisiin olosuhteisiin voi aiheuttaa puuhun home-, laho- ja sienivaurioita jo muutamassa kuukaudessa. Kuivan puun paremman säilyvyyden lisäksi kuivemmallalla puulla on merkittävästi paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet kosteuspitoisuudeltaan korkeaan puumateriaaliin verrattuna. Lujuusominaisuudet parantuvat puun alittaessa kyllästymispisteen. Kun puu kuivuu tuoreen puun kosteuspitoisuudesta 12–15 %:iin, sen puristus- ja taivutuslujuus voi jopa kaksinkertaistua. Myös vetolujuus kasvaa puun kuivuessa, ollessaan suurimmillaan kosteuspitoisuudessa 6–12 %. Kuusen ja männyn lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat samansuuntaisia, mutta kuusi reagoi mäntyä hitaammin ulkopuolisen kosteuden vaihteluihin, mikä on kuusimateriaalin etu ulkokäyttökohteissa. (Leppänen 2017, 131; Puuinfo 2020.)



KUVA 4. Puun soluonteloiden vapaan veden poistuminen ja kyllästymispisteen saavuttaminen (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)



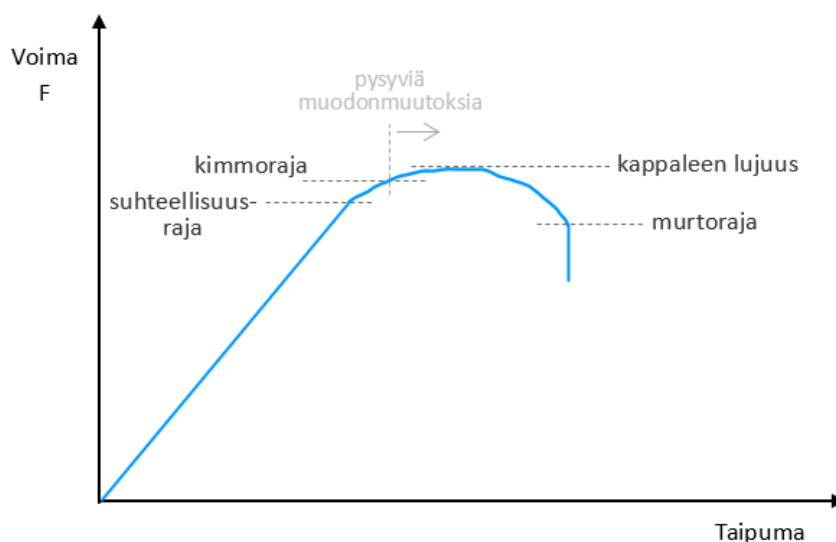
KUVA 5. Soluseinämiin sitoutuneen veden vähenemisen aiheuttama kutistuma (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)

Puuaines on painoonsa ja tiheyteensä suhteutettuna lujaa. Tiheydellä kuvataan materiaalin massan ja tilavuuden suhdetta. Koska puu voi sisältää merkittävän määrän vettä, mikä lisää sen painoa, tiheyden määrittäminen ei ole puulle täysin yksiselitteistä: esimerkiksi kuuselle voidaan saada tiheysarvoja välillä 385–800 kg/m³. Usein puiden tiheysmääränä käytetään kuiva-tuoretiheyttä (basic density). Se on täysin laskennallinen tiheysmäärä, joka kuvaa puun absoluuttisen kuivapainon suhdetta tuoretilavuuteen. Kuiva-tuoretiheysmäärää käytettäessä tuoretilavuus mitataan kyllästymispisteen yläpuolelta, jolloin puun tilavuus on suurimmillaan. Tällä kosteusalueella pysyttäessä puun tilavuus pysyy vakiokokoisena, mutta puun sisältämän vesimäärän vaihtelu aiheuttaa muutoksia puun massaansa. Tämän takia puun massaana käytetään puun painoa absoluuttisen kuivana. (Voutilainen ym. 2018, 65–66.)

Puun tiheyteen vaikuttavat puulaji, kasvunopeus, puuaineksen kambiaalinen ikä sekä geneettiset ja maantieteelliset tekijät. Kambiaalinen ikä kuvaa puuaineksen ytimeästä alkaen vuosilustojen eli vuosirenkaiden mukaan laskettua ikää. Erityisesti havupuilla kambiaalinen ikä vaikuttaa puuaineksen tiheyteen: nuorpuu on aikuispuuta kevyempää, ja suuri kasvunopeus madaltaa puuaineksen tiheyttä, sillä vuosiluston leveyden kasvaessa kesäpuuta kevyemmän kevätpuun osuus lisääntyy. Lujuuden

lisäksi puun tiheys vaikuttaa myös sen kutistumiseen. Jos puuainees on tiheää, se sisältää enemmän selluloosaa, joka puolestaan sitoo vettä. Veden poistuessa puu kutistuu. Näin ollen puu kutistuu sitä enemmän, mitä tiheämpää se on. (Pihlajamaa & Jantunen 1995, 8; Voutilainen ym. 2018, 66.)

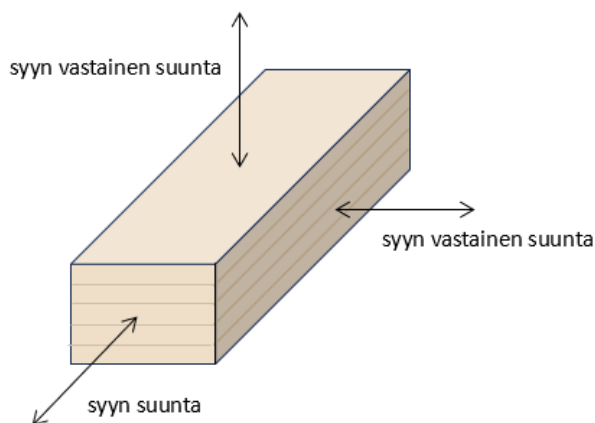
Painoonsa suhteutettuna korkean tiheyden ja lujuuden lisäksi puu on myös kimmoisaa eli elastista materiaalia ja voi palautua takaisin alkuperäiseen muotoonsa taipumisen jälkeen. Puuta kuormitettaessa sen taipuman suhde on aluksi vakio kuormitukseen suhteutettuna, eli kuvaajaan piirretty viiva on tasaisesti nouseva suora. Suhteellisuusrajan saavutettuaan muodonmuutoksen määrä alkaa kasvaa jo pienemmästäkin kuormituksen lisäämisestä, jolloin kuvaajan kulmakerroin pienentyy ja se alkaa taittua oikealle. Jos kuormitusta lisätään vielä suhteellisuusrajan saavuttamisen jälkeen, saavutetaan puun kimmo- eli elastisuusraja. Elastisuusraja tarkoittaa sitä pistettä, minkä jälkeen puussa tapahtuvat muodonmuutokset eivät enää ole palautuvia, eli elastisuusrajan saavutettuaan puu ei palaudu kuormituksen aiheuttamasta taipumasta, vaan saa pysyviä muodonmuutoksia. Kuormituksen jatkuessa vielä elastisuusrajan jälkeen päästään puun murtorajaan. Tällöin materiaalin lujuus on ylitetty ja materiaali vaurioituu ja rikkoontuu peruuttamattomasti. Suhteellisuus-, elastisuus- ja murtorajoja havainnollistetaan kuvassa 6. (Voutilainen ym. 2018, 66.)



KUVA 6. Puukappaleen suhteellisuus-, elastisuus- ja murtoraja sekä lujuus (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 67)

Kappaleen ominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi lujuuden lisäksi jäykkyys. Jäykkyyttä kuvataan kimmokertoimella eli kimmomoduulilla, joka kuvaa, kuinka suuri kappaleen muodonmuutos on tietynsuuruisen voiman kohdistuessa siihen. Puun ominaisuuksia ovat muun muassa veto-, puristus-, taivutus-, leikkaus- ja kiertojäännitykset sekä ruuvin- ja naulanpitävyys. Näistä veto-, puristus- ja taivutusjäännityksessä kimmokerroin on likimain samansuuruinen. Puun lujuus vaihtelee merkittävästi sen suhteen, missä suunnassa puuta kuormitetaan, eli kohdistuu ko rasitus syiden suuntaan vai syitä

vastaan (kuva 7). Lisäksi kesä- ja kevätpuun sekä sydän- ja pintapuun ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Puun vetolujuus syiden suunnassa on 10–20 kertaa syitä vastaan kohtisuoraa lujuutta suurempi, leikkauslujuus on noin 10–15 prosenttia vetolujuudesta syiden suuntaan, ja esimerkiksi männyn kesäpuun vetolujuus on kuusinkertainen kevätpuuhun verrattuna. Syitä vastaan kohtisuora kimmokerroin voi olla ainoastaan sadasosan syiden suuntaisesta kimmokertoimesta ja tangentin suuntainen kimmokerroin on puolet säteen suuntaisesta kimmokertoimesta. (Voutilainen ym. 2018, 66–67; Puuinfo 2020.)



KUVA 7. Puukappaleen syiden suunta ja syiden vastaiset suunnat (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 67)

Tiheys on suurin yksittäinen puun lujuuteen vaikuttava tekijä, kun taas esimerkiksi oksat, lahovauriot, halkeamat ja korkea vesipitoisuus heikentävät puun lujuutta. Näiden lisäksi puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat myös lämpötila ja aika. Puun lämpötilan kohotessa sen lujuusominaisuudet heikenevät, ja lämpötilan ollessa pitkäkestoisesti yli sadassa celsiusasteessa tai lämpötilan toistuvien vaihteluiden seurauksena lujuusominaisuudet voivat heiketä pysyvästi. Käytössä olevassa puutavaraassa tulee huomioida myös puun viruminen. Viruminen kuvaa ulkoisen voiman ajan mittaan aiheuttamaa pysyvää muodonmuutosta. Viruminen on voimakkaampaa, jos puu sisältää kosteutta ja kuivuu rasituksen alaisena. Myös kimmokerroin vaikuttaa virumaan: mitä alhaisempi kappaleen kimmokerroin on, sitä suurempaa viruma on. (Voutilainen ym. 2018, 66–67.)

Puun ominaisuuksia tarkastellessa tulee huomioida myös termiset, palotekniset, akustiset ja sähköiset ominaisuudet. Termisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan lämpöön liittyviä ominaisuuksia, kuten lämpölaajenemista, hygrotermisiä muodonmuutoksia, ominaislämpökapasiteettia, lämmönjohtavuutta ja lämpöarvoa. Ominaislämpökapasiteettia lukuun ottamatta edellä luetellut ominaisuudet ovat anisotrooppisia. Puun lämpölaajeneminen on huomattavaa syiden vastaisessa suunnassa, mutta koska lämpötilan noustessa puusta yleensä haihtuu vettä, lämpölaajenemista ei yleensä huomaa, ja lämpötilan palautuessa puukin palautuu takaisin lähtömittoihinsa. Lämpölaajenemisesta poiketen hygrotermisen muodonmuutoksen aikaansaamat muutokset ovat palautumattomia. Hygrotermiset muodonmuutokset ovat lämmön ja kosteuden yhteisvaikutuksesta aiheutuvia muodonmuutoksia. Ilmiö saa puun laajenemaan tangentin suunnassa ja kutistumaan säteen suunnassa, jolloin aiemmat halkeamat voivat suurentua entisestään. (Voutilainen ym. 2018, 67–68.)

Puun ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat pieniä. Ominaislämpökapasiteetti kuvaa aineen itseensä sitomaa lämpöenergian määrää massayksikköä kohti lämpötilan noustessa yhden celsiusasteen verran. Jos ominaislämpökapasiteetti on matala, aine ei varastoi lämpöä merkittävässä määrin. Lämmönjohtavuudella mitataan aineen kykyä johtaa lämpöä. Koska puun ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat matalia, puu voi riittää jo yksinään lämmöneristeeksi (esimerkiksi täyshirsirakennukset), se ei muodosta moniin muihin materiaaleihin verrattuna yhtä merkittäviä kylmäsiltoja rakenteisiin, ja puurakenteet eivät tunnu epämiellyttäviltä ihoa vasten kylmissä tai kuumissakaan olosuhteissa, kuten saunassa. Puun lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona (λ_U) käytetään 0,12–0,18 W/mK. Sahanpurulla λ_U on 0,08–0,12 W/mK. Luku kuvaa lämpöhäviötä materiaalin paksuuden ja lämpötilan muutoksen suhteessa. Mitä pienempi arvo on, sitä vähemmän lämpöä pääsee siirtymään, eli sitä parempana eristeenä materiaali toimii. Vertailun vuoksi mainittakoon, että esimerkiksi mineraalivillan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo on 0,05 W/mK ja alumiinin 160 W/mK. (Siikanen 2016, 145–147; Voutilainen ym. 2018, 67–68.)

Materiaalin lämpöarvolla kuvataan energiamäärää, joka vapautuu polttamalla tietyn massan verran materiaalia. Toisin kuin voisi luulla, puun lämpöarvo ei ole järin korkea. Pihka ja uuteaineet lisäävät puumateriaalin lämpöarvoa, minkä seurauksena enemmän uuteaineita sisältävän kuoren lämpöarvo on runkopuun lämpöarvoa korkeampi. Osa puun palamisessa vapautuvasta lämpöenergiasta kuluu puun sisältämän veden höyrytymiseen, mikä laskee materiaalin lämpöarvoa. 120 celsiusasteen lämpötilan saavutettuaan puusta alkaa haihtua syttyviä kaasuja. Haihtuvat kaasut saavat puun syttymään itsestään hapellisissa olosuhteissa, jos lämpötila kohoaa riittävän korkeaksi. 180 °C:ssa puun itsestään syttymiseen kuluu 15–20 minuuttia, 250 °C:ssa syttymiseen menee 5–10 minuuttia ja 430 °C:ssa kestää vain 30 sekuntia, että puu syttyy. Vaikka puu on verrattain helposti syttyvä ja palava materiaali, sen käyttäytyminen palossa on säännönmukaista, joten rakenteiden palomitoitus on yksinkertaista. Erilaisten puumateriaalien palamisnopeudet tunnetaan, esimerkiksi havupuinen palo- suojaamaton sahatavara hiiltyy noin 0,8 mm:n minuuttinopeudella ja liimapuu 0,7 mm minuutissa. Pintaan muodostuva hiiltymä eristää puuta palolta ja täten hidastaa palamista. Koska palamisnopeus on vakio, rakenteen poikkileikkausta kasvattamalla voidaan mitoittaa rakenteille tarpeeksi lujuutta myös palotilanteisiin. (Siikanen 2016, 48, 184; Voutilainen ym. 2018, 68; Puuinfo 2020.)

Puun eri aineosat reagoivat kemiallisiin rasituksiin eri tavoin. Auringon ultraviolett- eli UV-säteilyn vaikutuksesta ensimmäisenä puussa hajoavat ligniini ja hemiselluloosa, kun taas selluloosa kestää UV-säteilyä puun aineosista parhaiten. Eri aineosien kestävyyserojen vuoksi solujen suuntautuneisuus näkyy valorapautuneen eli foto-oksidoituneen puun pinnassa: vaurioitumaton selluloosa erottuu puun pinnassa harjanteina. Sade vaikuttaa valorapautumisen voimakkuuteen lisäten sitä veden ja mikrobien tunkeutuessa halkeilleen puumateriaalin sisälle. Foto-oksidaatio rapauttaa puun pintaa nopeudella 1–2 millimetriä sataa vuotta kohti. Pintakäsittelyllä saadaan parannettua puun kestävyyttä kemiallisia rasituksia kohtaan merkittävästi. (Voutilainen ym. 2018, 69.)

2.2.2 Pohjoismainen havusahatavara

Suomen yleisimpiä rakennuspuulajeja ovat kuusi ja mänty. Mänty on kuusta hieman kovempaa ja tiheämpää (370–550 kg/m³, kun taas suomalaisen kuusen tiheys on 300–470 kg/m³), mutta kuusi

on mäntyä sitkeämpää, ja niiden ominaisuudet ovat pääpiirteittäin melko samankaltaisia ja sahatavaran sallitut jännitykset ovat yhtä suuria molemmilla lajeilla. Selvimät erot mänty- ja kuusisahatavarrassa on puuaineksen väri ja oksien ominaisuudet. Kuusi on väriltään tasaisen vaalea ja sen terveiden oksien väri ei eroa muun puuaineksen väristä, joskin jäätyneenä sydänpuu erottuu selvästi pintapuusta ollessaan pintapuuta kuivempaa. Männyn pintapuuta on kuusta kellertävämpää ja sydänpuu on punertavaa, ja männyn oksat ovat usein ympäröivää ainetta tummempia. Toisaalta männyn alaosista saadaan pitkiä oksattomia sahatavarakappaleita. Männyn sydänpuu on luontaisesti lahonkestävää, mikä tekee siitä hyvin runkorakentamiseen soveltuvan materiaalin. Kuusta käytetään mäntyä enemmän ulko-olosuhteissa, kuten ulkoverhousmateriaalina, sillä sen kosteuseläminen on mäntyä vähäisempää. (Siikanen 2016, 34; Voutilainen ym. 2018, 71; Puuinfo 2020.)

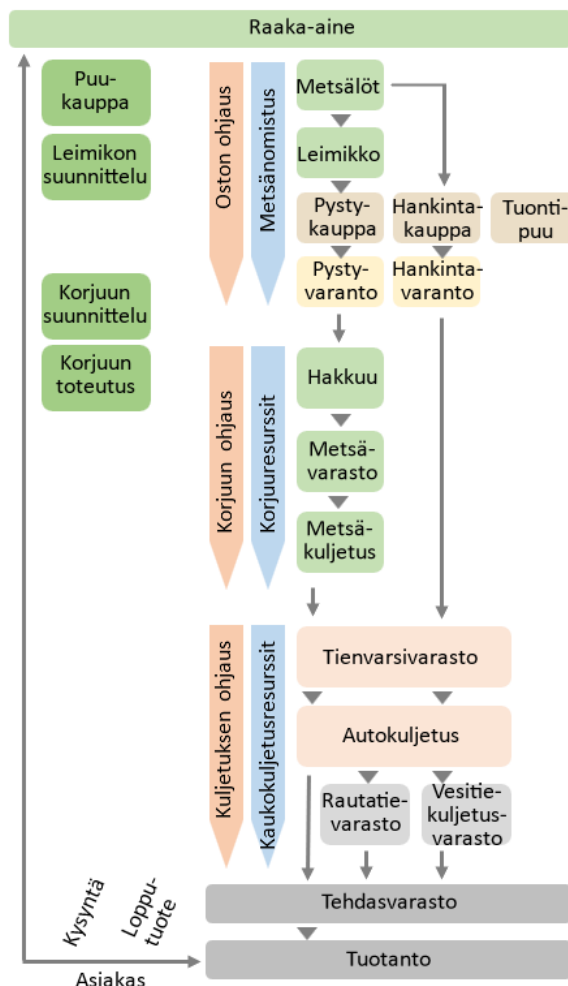
Pohjoismaisen havusahatavaran tunnusmerkki on korkea tekninen laatu, joka pohjautuu hyvään mitatarkkuuteen, tasaiseen sahausjälkeen ja käyttötarkoitusta vastaavaan kuivausasteeseen. Näiden tekijöiden ansiosta sahatavaran käyttäminen on mahdollista monissa kohteissa ilman ylimääräisiä lisätoimenpiteitä. Tiiviiksi kasvanut puumateriaali yhdistettynä esteettiseen ulkonäköön ja sydänpuun suureen osuuteen tekevät pohjoismaisen havusahatavaran sopivaksi materiaaliksi huonekalu- ja puusepänteollisuuden tuotteisiin muiden käyttökohteiden lisäksi. Havusahatavara on tiivissä, mikä kasvattaa sen kosteus- ja lämpöteknistä toimivuutta ja sen lujuus-paino -suhteen edullisuus tekee siitä kysyttyä rakennusmateriaalia moninaisten tilojen runkorakenteisiin. Pohjoismainen sahauskäytäntö vähentää kappaleissa tapahtuvia muodonmuutoksia sydänhalkaisun ansiosta. Edellä mainitut tekijät yhdistettynä puun ekologisuuteen tekevät pohjoismaisesta havusahatavarasta erittäin käyttökelpoisen rakennusmateriaalivaihtoehdon. (Torniainen 2017, 180.)

2.3 Sahatavaran tuottaminen omasta metsästä

Vanha rakennustuotedirektiivi 89/106/ETY korvattiin 01.07.2013 EU:n rakennustuoteasetuksella. Rakennustuoteasetus pyrkii turvaamaan rakennustuotteiden turvallisuuden ja kestävän kehityksen periaatteiden noudattamisen. Rakennustuotteella tarkoitetaan pysyvää rakennetta, rakennusosaa tai niihin kiinteästi liitettyä tuotetta, tarviketta tai laitetta, jolle on määritetty teknisiä vaatimuksia Maankäyttö- ja rakennuslaissa. Tällaisia ovat 80 % Suomessa käytettävistä rakennustuotteista, esimerkiksi betonielementit, lujuuslajiteltu sahatavara sekä ulko-ovet ja ikkunat. Asetus vaatii CE-sertifiointia lähes kaikelle sahatavaralle. Sellaiset tuotteet, joille ei ole määriteltyä harmonisoitua tuotestandardia (hEN) tai joita ei saateta markkinoille, voidaan jättää CE-sertifioimatta. Näin ollen omaan käyttöön tulevaa sahatavaraa ei ole kaikissa tapauksissa välttämätöntä sertifioida, jos sahatavaran omistus säilyy metsänomistajalla koko tuotteen hankinta- ja rakennusketjun ajan. Tulee kuitenkin huomioida, että rakennustuotteiden CE-sertifiointia koskevat säädökset eivät vaikuta sahatavaran lujuuslajitteluvaatimukseen, eli lujuuslajittelu voi olla pakollista myös edellä mainituissa tapauksissa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2014; Toratti 2020, 5–9; Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

2.3.1 Metsästä tuotteeksi: sahatavaran synty

Sahatavaran tuottamisen keskeisiä vaiheita piensahalla ovat puun kaato, tukkien varastointi, kuorinta, sahaus, sahatavaran lajittelu, kuivaus ja varastointi. Puunhankinnan suunnittelun vaiheita ja tasoja on esitetty kuvassa 8. (Voutilainen ym. 2018, 114.)



KUVA 8. Puunhankinnan suunnittelun elementit ja tasot (muokattu lähteestä Pajuoja & Räsänen 2017, 50)

2.3.1.1 Kaataminen, kuljetus ja välivarastointi

Puun korjuulla voidaan vaikuttaa merkittävästi puun laatuun ja siten sen myöhempään käyttöön. Soveltuvin aika puun kaadolle on sydäntalvi, jolloin puut ovat jäätyneitä ja lepotilassa. Lisäksi talvella ilman kosteusprosentti on yleisesti muita vuodenaikojaa alhaisempi, mikä osaltaan parantaa puuaineksen laatua. Vanhojen kansanuskomusten mukaan puun laatuun vaikuttaa myös kuunkierto. Kuu vaikuttaa nesteiden liikkumiseen Maassa (esimerkiksi vuorovesi-ilmiö), joten uskomusten mukaan Kuu saa myös puissa nesteen painumaan tiettyinä aikoina puun alaosiin. Tällöin puun muut osat olisivat kuivempia ja terveempiä, ja kaadettaessa laatu olisi parempaa. Uskomusten sijaan kan-

nattanee kuitenkin luottaa tutkittuun nykytietoon puunkaadon oikean ajankohdan suhteen: esimerkiksi lumisen maan aikaan puuta kaadettaessa näkyvyys on parempi ja jäänytynyt lumipeitteinen maa ei kärsi kaatotyöstä. On kuitenkin huomioitava, ettei optimaalisin kaatoaika ole aivan yksiselitteinen asia. Kaadoista 90 % tehdään Suomessa hakkuukoneella. Metsurityönä tehtävä kaato sopii kuitenkin hyvin pieniin kaatomääriin ja paikkoihin, joihin on hankalat kulkuyhteydet. Metsurityössä on ehdottoman tärkeää kiinnittää huomiota työturvallisuuteen. Puun kaadossa tulee olla asianmukaiset suojaruuvit: kypärä, käsineet ja turvahaalari sekä silmä- ja kuulosuojaimet. Moottorisahan terän tulee olla teroitettu säännöllisesti. (SIT 24-610010. Puunrakenne ja sahaus 2005, 5; Voutilainen ym. 2018, 118; Metsäkuutio julkaisuaika tuntematon.)

Ennen sahauksen aloittamista puuta, sen oksistoa ja ympäröivää maastoa tarkastellaan. Puu pyrkii kaatumaan sinne suuntaan, minne se on kallellaan tai millä puolella on eniten oksia. Lisäksi maastonmuodot vaikuttavat siihen, minne puu lähtee kaatumaan. Myös lahovauriot voivat saada puun kaatumaan arvaamattomaan suuntaan. Puu tarvitsee sekä leveys- että pituussuunnassa tarpeeksi tilaa kaatuakseen. Metsurin tulee myös suunnitella poistumisreitti etukäteen, jotta pystyy tarvittaessa väistämään arvaamattomaan suuntaan kaatuvaa puuta. Kaadettavan puun ympärillä ei saa olla sähkölinjoja, rakennuksia tai muita esteitä, joiden päälle puu voi kaatua. (UPM Metsä julkaisuaika tuntematon; Metsäkuutio julkaisuaika tuntematon.)

Kaato aloitetaan tekemällä puuhun kaatolovi puun sille puolelle, minne se halutaan kaataa. Loven syvyys saa olla neljänneksen puun paksuudesta, ja ylä- ja alasahausten tulee muodostaa noin 60 asteen kulma. Loveuksen jälkeen puuta aletaan sahata loven vastakkaiselta puolelta (niin sanottu kaatosahaus). Puuta ei sahata poikki koko poikkileikkauksensa suhteen, vaan kaatoloven ja sahauksen väliin jätetään muutaman sentin suuruinen pitopuu. Puun lähtiessä kaatumaan metsurin tulee etäännyttävästi riittävän kauas puusta. Puu saattaa kaatuessaan ponnahtaa tai kierähtää yllättävään suuntaan, joten riittävä suojaetäisyys on välttämätöntä turvallisuuden takaamiseksi. Puun kaaduttua pitopuu sahataan poikki. Kaadon jälkeen puutavara karsitaan, eli sen oksat katkotaan, tukit sahataan haluttuun mittaan ja puutavara kuljetetaan koneellisesti varastoon tai jatkokuljetusyhteyksien varrelle. (SIT 24-610010. Puunrakenne ja sahaus 2005, 5; Metsäkuutio julkaisuaika tuntematon.)

Tukkipuut tulee varastoida tukkipinoon riittävän korkeiden aluspuiden päälle. Tukkipinoa ei saa sijoittaa lähelle tietä eikä esimerkiksi sähkölinjan alle. Tulevia työvaiheita helpottaa, jos tukit lajitellaan varastoon latvaläpimitan mukaan. Maa-ainesten ja lumen tarttumista tukkeihin on vältettävä. Myöhemmän mittauksen helpottamiseksi tukit voi pinota niin, että niiden päät ovat hieman eri tasoilla. Halkeilun vähentämiseksi tukkien päät voidaan käsitellä liimalla tai parafiinilla. Tukkipuuta ei saa varastoida liian pitkään ja puiden kunnosta tulee huolehtia varastoinnin aikana, jotta niihin ei tule hyönteisvaurioita, ja arvo ei pääse laskemaan. Vuodenvaihteen jälkeen kaadetut tukit tulee sahata hyönteisten parveiluajojen takia viimeistään juhannuksen tienoilla. Mieluiten tukit tulisi kuitenkin sahata jo reilusti ennen tätä. Laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013) pykälä 3 § määrää puutavaran poistettavaksi hakkuupaikalta ja välivarastosta tiettyyn päivämäärään mennessä tuhohyönteisten välttämiseksi. Pohjois-Savo kuuluu B-alueeseen, jossa kuusipuu tulee siirtää 24.07. ja mäntypuu

01.07. mennessä. (Metsäteho 2005; SIT 24-610010. Puunrakenne ja sahaus 2005, 6; Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013, 3 §; Voutilainen ym. 2018, 118.)

2.3.1.2 Kuorinta ja sahaus

Ennen sahausta tukit voidaan kuoria sahanterien maa-ainesvaurioiden välttämiseksi. Irrotetun kuoriaineksen voi hyödyntää katemateriaalina tai energiantuotannossa. Piensahoilla käytetään pääasiassa yksilöllistä sahaustapaa, eli tukki sahataan viipale kerrallaan. Menetelmän suuresta työmäärästä ja hitaudesta huolimatta siinä on etunsa: koska tukkia ja saheita, eli tukista sahattuja lautoja, lankkuja ja muuta sahatavaraa, voidaan tarkastella työn jokaisessa vaiheessa, tukista voidaan valmistaa lukuisia erikokoisia tuotteita. Työn aikana voidaan havaita ja huomioida mahdolliset puun sisäiset laatupoikkeamat ja kehnommastakin tukkipuusta voidaan saada laadukasta sahatavaraa. Edellä mainitut tekijät mahdollistavat piensahoilla yhdestä puusta saatavan sahatavaran suuremman määrän teolliseen sahaukseen verrattuna, teollisten sahojen pykiessä määrätehokkaaseen ja nopeaan tuotantoon. (Voutilainen ym. 2018, 116.)

Piensahalla sahauksen vaiheita ovat asetteen suunnittelu, tukkien asemointi, varsinainen sahaus ja tarvittava särmäys, eli pintalautojen sahaus laudoiksi, sekä valmiiden sahatavarakappaleiden niputus. Sahattava tukki asemoidaan suunnitellun asetteen mukaisesti optimaalisimpaan sahausasentoon. Jos tukissa on vikoja tai vaurioita, esimerkiksi poikkeavia muotoja, halkeamia tai hajottajien aiheuttamia pintavaurioita, asemointi tulee tehdä viat huomioiden, etukäteen laaditun asetesuunnitelman noudattamisen sijaan. Hyvin suurten tukkien kohdalla tyveä voi joutua ohentamaan eli sievistämään, jotta sahaus on mahdollista. (Voutilainen ym. 2018, 120.)

Sahaus aloitetaan nostamalla tukki sahauspöydälle. Jos sahassa ei ole hydraulista nostinta, tukki täytyy vierittää sahauspöydälle asettamalla tukin alle pitkittäisiä kannattimia. Tukkien nostossa ja siirrossa tulee kiinnittää erityistä huomiota työturvallisuuteen ja ergonomiaan. Tukin siirron jälkeen tukki asemoidaan oikeaan sahausasentoon ja kiinnitetään huolellisesti sahausta varten. (Voutilainen ym. 2018, 120.)

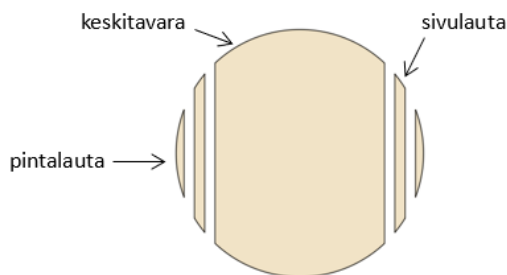
Tukkipuun tärkeimmät ominaisuudet ovat dimensiot, eli tukin pituus ja läpimitta, sekä oksien määrä ja laatu. Kookkaasta tukista on mahdollista sahata laajasti eri kokoisia sahatavarakappaleita ja siitä syntyy pientä tukkia vähemmän hukkaa. Sahatun tukin suhdetta tukista saatuun sahatavaraan kuvataan käyttösuhdeluvulla. Havusahatavaran yleisesti käytetty käyttösuhdeluku on 2,2, eli yhden sahatavarakuution tuottamiseen tarvitaan keskimäärin 2,2 tukkikuutiota. Prosentteina suhde 1:2,2 on 45,45 %, joka tarkoittaa sitä, että tukista saatavan sahatavaran osuus on 45,45 prosenttia, ja sivutuotteita, kuten purua, haketta ja kuorta, syntyy 54,55 prosenttia. Ammattimaisella saha-asetesuunnittelulla pystyy vaikuttamaan tukin käyttösuhdeprosenttiin sitä kasvattavasti. Piensahoilla voidaan valita sahaustapoja, joilla puu saadaan hyödynnettyä tehokkaammin, jolloin käyttösuhdeluvuksi voidaan saada jopa alle 1,9, eli sahatavaran osuus voi nousta yli 50 prosenttiin, joissain tapauksissa jopa 70:een. (Voutilainen ym. 2018, 117–119, 131.)

Sahauksen tärkeimpiä osa-alueita on mittatarkkuus ja sen hallinta. Sahatavaran jatkokäytön helpotumisen lisäksi mittatarkkuus säästää raaka-ainetta. Mittatarkkuutta voi tarkkailla esimerkiksi tarkastamalla jokaisen sahauskerran alussa muutaman ensimmäisen saheen vastaavuuden toistensa suhteen. Sahatavarakappaleet mitataan työntömitalla molemmista päistä molempien lappeiden ja syrjien suhteen, tulokset kirjataan ylös ja eri kappaleiden mittoja verrataan toisiinsa. Tarkastusmittauksia tulisi suorittaa myös sahauksen aikana, esimerkiksi aina parin tunnin sahausjakson jälkeen. Jos mittapoikkeamat ovat sallittuja toleransseja suurempia, virheen syy täytyy selvittää ja korjata ennen sahauksen jatkamista. Mittatarkkojen sahatavarakappaleiden tuottaminen edellyttää muun muassa sahakoneen, sahan teräkselin ja jakoveitsen oikeita linjauksia ja linjausten pysymistä, terän oikeaoppista asentamista ja terälaippojen hyväkuntoisuutta, mittavasteen oikeaa säätöä ja linjausta sekä oikein jännitettyä terää. Lisäksi raaka-aine ja sahurin sahaustekniikka vaikuttavat lopputuloksen mittatarkkuuteen. (Voutilainen ym. 2018, 123–124.)

Selkeiden työturvallisuusriskien, kuten sahalaitteiston terän ja jakoveitsen sekä massiivisten tukkien siirtämisen ja nostamisen, lisäksi sahausessa tulee kiinnittää huomiota puupölyyn. Puupöly voi jo pienissäkin altistustapauksissa aiheuttaa ylä- ja alahengitysteiden sairauksia, kuten astmaa, iho- ja silmänsairauksia sekä syöpää. Hengityselimille haitallista puupölyä muodostuu mitä tahansa puulajia sahatessa. Iho-ongelmia voivat aiheuttaa erityisesti mänty ja kuusi sekä kaikki lämpökäsitellyt puumateriaalit. Suomalaisista havupuulajeista ei nykytiedon mukaan yksikään ole silmille erityisen haitallinen tai syöpää aiheuttava. Jos pölynpoistolaitteistojen käyttö sahausyhteydessä ei ole mahdollista tai pölynpoistojärjestelmä on puutteellinen, sahaustyössä tulee suojautua käyttötarkoitukseen sopivia tarpeeksi korkean suojaustason hengityssuojaimia. Lisäksi tulee varustautua asianmukaisin silmäsuojaimin, ja kuulosuojaimin vähintään aina melutason ylittäessä 85 dB. (Voutilainen ym. 2018, 198–120.)

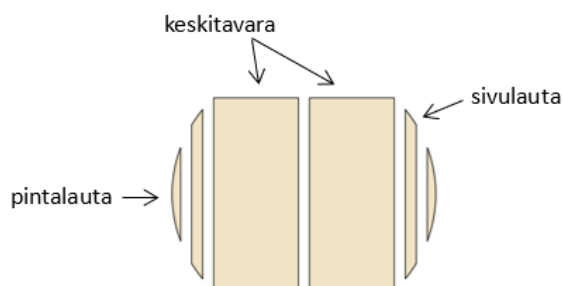
Sahatavarakappaleet voidaan lajitella dimensiolajittelussa eli tuorelajittelussa heti sahauksen jälkeen. Sekä tuore- että kuivalajittelussa lajittelu tapahtuu sekä sahatavarakappaleiden kaikilta sivuilta että niiden päädyistä. Vaikka sahatavara kävisi läpi tuorelajittelun, se tulee lajitella uudelleen vielä kuivauksen jälkeen mahdollisten kuivausvirheiden havaitsemiseksi ja lopullisen pituuden varmistamiseksi. (Kenola 2017, 172–174; Voutilainen ym. 2018, 119.)

Suomessa käytetään yleisesti pohjoismaista sahaustapaa, jossa tukista sahataan ensin pelkka. Toisessa sahausvaiheessa, jakosahauksessa, pelkka jaetaan keskitavaroiksi ja laudoiksi. Pelkka- ja jakosahauksen menetelmäkuvat on esitetty kuvissa 9 ja 10. Yleisimmin käytetään niin sanottua nelisahausmenetelmää, jossa tukkia sahataan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tukin kaksi vastakkaista sivua haketetaan ja kyseisiltä sivuilta erotetaan haluttu määrä pinta- ja sivulautoja, jolloin saadaan aikaiseksi pelkka. Pelkkaa käännetään 90 astetta, jonka jälkeen haketus ja lautojen erotus suoritetaan toisille kahdelle sivulle. Haketuksen ja lautojen erottamisen jälkeen keskitavarasta sahataan halutun kokoista sahatavaraa. Jakosahaus on työvaiheena vaativa ja saadut sahatavarakappaleet ovat myyntihinnaltaan arvokkaimpia. (Kauppinen & Ropilo 2017, 84–88.)



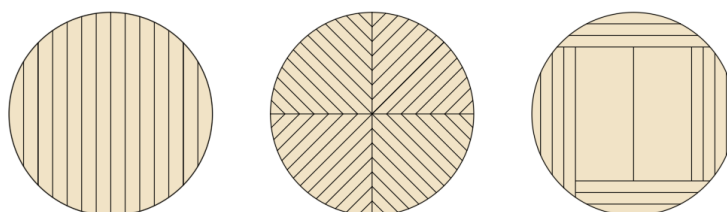
KUVA 9. Pelkkasahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

Pyöröjakosahalla voidaan erottaa yhdellä kerralla 6–10 erillistä sahetta, kun taas vannesahalla saheita voidaan yleensä tuottaa 4–5. Vannesahalla saatava pienempi sahemäärä johtuu vannesahayksikön vaatimasta tilasta ja pelkan vaatimasta tuesta, jotta lopputulos säilyy mittatarkkana. Jakosahausta voidaan käyttää myös ainoana sahausmenetelmänä ilman pelkkasahausvaihetta. Näin menetellessä tukki haketetaan neljältä sivulta, mutta sivulautoja erotellaan neljän sivun sijaan vain kahdelta puolelta. (Kauppinen & Ropilo 2017, 87–88.)



KUVA 10. Jakosahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

Jos tukin ydin ja ytimen mahdolliset viat halutaan poistaa keskitavarasta, pelkan keskiosasta sahaetaan kapea sahatavarakappale ennen keskitavaran muuta sahaamista. Tukin ytimen poistavaa sahausmenetelmää kutsutaan sydänvapaaksi sahaukseksi. Muita käytettyjä sahausmenetelmiä ovat muun muassa läpi-, tähti- ja ympärisahaus, joiden poikkileikkaukset on esitetty kuvassa 11. (Kauppinen & Ropilo 2017, 84.)



KUVA 11. Sahaustavat vasemmalta oikealle: läpisahaus, tähtisahaus ja ympärisahaus (muokattu lähteestä Kauppinen & Ropilo 2017, 84)

Sahatavara ryhmitellään poikkileikkauksen mukaan. Ryhmiä ovat muun muassa parru, lankku, soiro, rima ja lauta. Parrun paksuus ja leveys ovat vähintään 75 mm, ja lankku on paksuudeltaan 38–100 mm ja leveydeltään yli 75 mm. Lankut ovat hieman soiroja järeämpiä soirojen ollessa paksuudeltaan 38–50 mm ja leveydeltään 75–150 mm. Rimaksi luokitellaan sahatavara, jolla sekä paksuus että leveys ovat alle 75 mm ja lautaa ovat paksuudeltaan enintään 38 mm ja leveydeltään vähintään 75 mm kokoiset sahatavarakappaleet. Sahatavaran yleisimpiä poikkileikkausmittoja esitetään taulukossa 2. Mitallistettua sahatavaraa ovat kappaleet, jotka on karkeahöylätty tai hienosahattu mittatarkaksi. (Siikanen 2016, 97–98.)

TAULUKKO 2. Sahapintaisen sahatavaran yleisimpiä poikkileikkausmittoja kosteuspitoisuudessa 20 % (muokattu lähteestä Siikanen 2016, 98)

Leveys Paksuus [mm]	50	75	100	125	150	175	200	225	250
19 ¹									
22 ²	JH	JH							
25 ¹									
32									
38									
44 ²									
50		JH							
63									
75		JH							
100									
125									
150									

¹ yleensä mäntyä

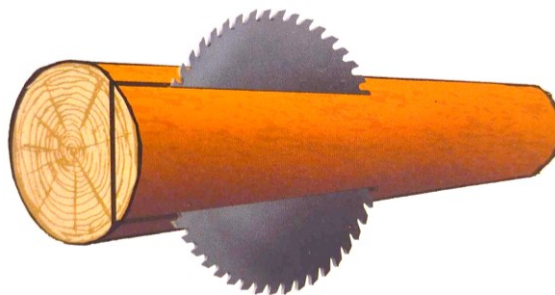
 vakiokoko

² yleensä kuusta

 harvemmin tuotettava koko

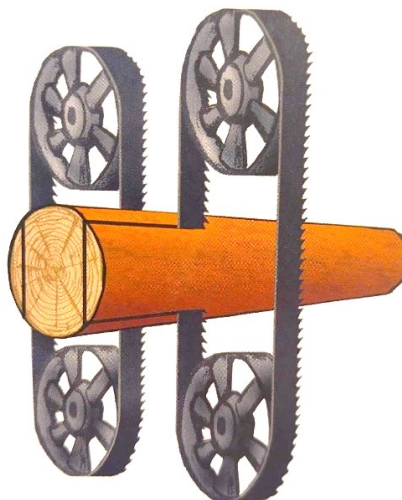
JH = tehdään yleensä jälkihalkaisemalla, jolloin leveys on 2 mm pienempi kuin nimellisleveys

Pyörösahat ovat suosittuja sahattaessa tukkeja ja pelkkoja sahatavaraksi. Pyörösahoja on sekä yksittäisiä kaksiakselisiä, joista jälkimmäiset ovat kasvattaneet suosiotaan viime vuosina. Yksi tärkeä kaksiakselisten ohjaimettomien pyörösahojen eduista on hyvä mittatarkkuus. Niillä päästään alle 0,3 millimetrin keskihajontaan. Lisäksi niillä on suuri syöttönopeusalue, sahatusta pinnasta saadaan hyvälaatuinen ja terillä on pitkä käyttöaika. Pyörösahojen terä on valmistettu yleensä teräseoksesta ja hampaat kovametallista. Terän halkaisija on tavallisesti 400–600 mm. Samoilla terillä pystytään hyvässä sahausolosuhteissa sahaamaan jopa 15 000 tukkia pelkkaa. Kuvassa 12 on esitetty pyörösahauksen toimintaperiaate. (Kauppinen & Ropilo 2017, 95–96.)



KUVA 12. Pyörösahauksen toimintaperiaate (Kauppinen & Ropilo 2017, 95)

Vannesahan toiminta perustuu nauhamaiseen sahanterään, joka kiertää teräpyöriä leikaten pyöriesään läpisyötettävää puuta. Vannesahoja on sekä pysty- että vaakasuoria. Pystysuorissa sahoissa teräpyörät ovat päällekkäin, jolloin leikkusuunta on ylhäältä alaspäin. Vaakasuorissa sahoissa teräpyörät ovat rinnakkain, joten tukki sahautuu ylä- tai alapuolta. Pohjoismaisessa sahateollisuudessa pystysuorat vannesahat ovat vaakasuoria yleisempiä. Pystysuoran vannesahan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 13. (Kauppinen & Ropilo 2017, 95.)



KUVA 13. Vannesahauksen toimintaperiaate (Kauppinen & Ropilo 2017, 97)

Vannesahat eivät ole syöttönopeudeltaan aivan pyörösahojen vertaisia, mutta syöttönopeus on kuitenkin kohtuullinen. Siinä, missä pyörösahalla päästään jopa 220 m/min syöttönopeuteen, vannesahaan syötetään tukki 30–120 m/min nopeudella. Vannesahojen hyviä puolia ovat vakioleikkausnopeus ja terän leikkauskulman säilyminen stabiilina sahauksen aikana sekä kelvallinen mittatarkkuus ja sahauspintojen laatu. Vannesahojen terä on kapea, keskimäärin 1,47 mm, joka mahdollistaa kapeat sahausraot. Vannesahat ovat myös tehontarpeeltaan pieniä ja niiden asetteiden vaihto on nopeaa, jolloin asetteet voidaan vaihtaa lyhyemmässäkin tukkivälissä. Toisaalta vannesahat ovat massiivisia ja painavia. Lisäksi sahojen ja terien huolto voi olla pyörösahaan verrattuna haasteellista ja työlästä. (Kauppinen & Ropilo 2017, 97–98.)

2.3.1.3 Laatu- ja lujuuslajittelu

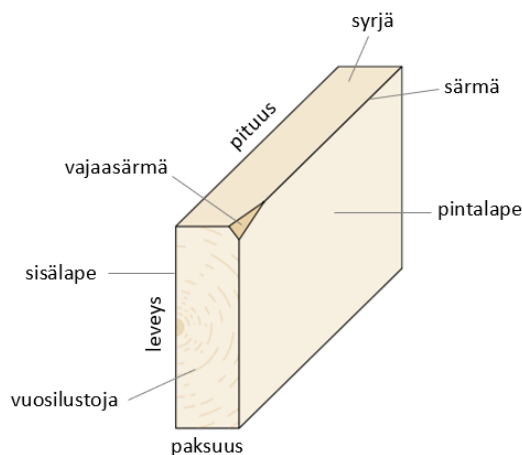
Pohjoismaiset yhdistykset Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys, Svenskt Trätekniskt Forum ja Treindustriens Tekniske Forening ovat laatineet yhteispohjoismaisen männyn ja kuusen laatulajitteluohjeen Pohjoismainen sahatavara – Nordic Timber – Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. Uusin, vuonna 2016, julkaistu ohje tunnetaan myös Harmaana kirjana (kuva 14). Ohje määrittelee sahatavarakappaleiden laadun puun ominaisuuksiin perustuen ja ominaisuuksien hyväksytyt vaihteluvälit eri sahatavaraalaaduille. Ohjeessa esitetty terminologia, määritelmät ja mittausmenetelmät on yhdenmukaistettu muualla Euroopassa käytettävien vastaavien kanssa. Ohjeen laatujaako ei ole sitova, vaan se muodostaa viitekehyksen eri laaduille, joista voidaan laatia esimerkiksi sahan ja asiakkaan tarpeita vastaavia asiakaslaatuja päälaatuja yhdistelemällä. (Torniainen 2017, 179.)



KUVA 14. Pohjoismainen sahatavara – Nordic Timber – Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet - laatulajitteluohjeen uusin painos vuodelta 2016, eli niin sanottu Harmaa kirja (Turun Kansallinen Kirjakauppa Oy 2023)

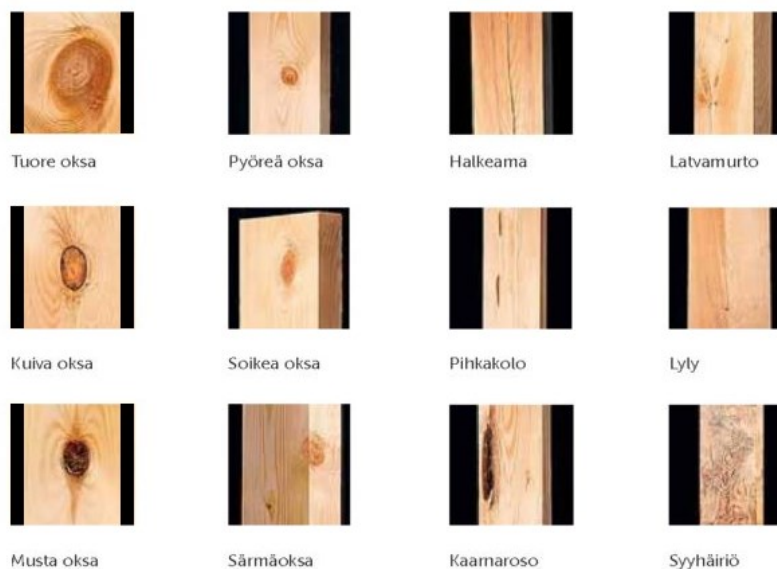
Laatuluokittelu perustuu sahatavarakappaleen ulkonäköön. Tärkeimpiä kriteereitä ovat oksien koko ja määrä sekä niiden sijoittuminen sahatavarakappaleessa. Kappaleesta tarkastellaan erikseen jokainen sivu, ja laatu määritellään pintalappeeseen ja syrjiin perustuen. Sahatavarakappaleen osien nimityksiä esitetään kuvassa 15. Päälaatuluokkia ovat luokat US, V, VI, VII ja näiden yhdistelmät. Laatuluokittelun perusteina ovat sallitut raja-arvot oksien määrälle kappaleen huonoimmalla metrin pituisella osuudella, lape- ja syrjäöksien koko, muiden oksien koot sekä muut mahdolliset ominaisuudet, kuten muotoviat. Laatuluokka US ("unsorted") on luokista korkein ja se jaetaan edelleen alaluokkiin US I – US IV, joista US I on laadullisesti korkein. Laatuluokka VII:ssä sahatavaraa ei ole määritetty ollenkaan numeerisia arvoja ja puulle sallitaan kaikki ominaisuudet, kunhan kappale pysyy koossa ja sahanterä on koskettanut vähintään kahta kolmasosaa kappaleen pituudesta. Vajaasärmällä tarkoitetaan sellaista osaa sahatavaran pinnasta, johon sahanterä ei ole koskenut. Pintalautoja ovat vajaasärmäiset laudat, jotka ovat leveydeltään 75–125 mm, vakiopaksuisia ja täyttävät

vähintään VII laatuluokan vaatimukset. Vajaasärmäisessä keskitavarassa sahauspintaa tulee olla vähintään yksi kolmasosa kappaleen paksuudesta kappaleen molemmissa syrjissä koko pituudella ja kappaleen tulee täyttää laatuluokan VI vaatimukset. Ulkoverhoukseen sopiva laatuluokka on luokka V ja runkorakenteisiin, kattotuoleihin ja kannatteisiin voi yleensä käyttää laatuluokkien VI, V tai US IV sahatavarakappaleita. (Torniainen 2017, 181–183; Puuinfo 2020.)



KUVA 15. Sahatavarakappaleen osia (muokattu lähteestä Siikanen 2016, 97)

Sahatavaran sallitut mittapoikkeamat paksuuden ja leveyden suhteen ovat muissa kuin laatuluokassa VII seuraavat: 100 mm ja sitä pienemmissä poikkileikkauksissa - 1 mm ja + 3 mm, ja yli 100 mm poikkileikkauksissa - 2 mm ja + 4 mm. Kappaleen pituuden ollessa 1800–6000 mm pituudessa sallitaan mittapoikkeamaa pituutta lisäten 50 mm, lyhentäen 0 mm. Oksaisuuden ja mittatarkkuuden lisäksi muita sahatavaran laatuun vaikuttavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi halkeamat ja murtumat, muotoviat, kuten lape- tai syrjävääräisyys, kuperuus tai kierous, kosteusaste, värimuutokset sekä käsittely- ja hyönteisvauriot. Erilaisia oksatyyppejä ja laatuviikoja näkyy kuvassa 16. (Torniainen 2017, 183, 186–189.)



KUVA 16. Sahavaran oksatyyppejä ja laatuviikoja (Puuinfo 2020)

Rakennesahatavaraksi kutsutaan kantavana rakenteena tai kantavan rakenteen osana käytettävää havusahatavaraa. Tällöin sahatavarakappaleiden lujuus- ja kimmo-ominaisuuksilla on vähimmäisvaatimuksia ja kappaleet tulee lujuuslajitella. Lujuuslajittelu voidaan suorittaa joko koneellisesti tai visuaalisesti. Lujuusluokkia on C14 ... C50, joista luokat C35 ... C50 voidaan lajitella ainoastaan koneellisesti. Lujuusluokan C24 sahatavara on yleisintä rakentamisessa käytettyä sahatavaraa. Teollisuudessa käytetään koneellista lujuuslajittelua, jossa kone mittaa mekaanisesti sahatavarakappaleiden jäykkyyttä tai tiheyttä sekä oksaisuutta. Perinteisin menetelmä on taivutusmenetelmä, mutta nykyisin voidaan lujuuslajitella sahatavaraa myös koneilla, jotka käyttävät lajittelussa apunaan esimerkiksi röntgensäteitä tai ultraääntä. Jokainen koneellisesti lujuuslajiteltu sahatavarakappale saa CE-merkin. Pienemmissä kohteissa lajittelu suoritetaan usein visuaalisesti. Visuaalisesti sahatavaraa lujuuslajittelevan henkilön tulee olla ammattitaitoinen, ja hänen tulee olla suorittanut lujuuslajittelukurssi ja näyttökoe hyväksytysti. Silmämääräisesti lujuuslajitellut sahatavarakappaleet tulee merkitä pakettikohtaisesti ja kappaleista tulee esittää suoritustasoilmoitus (DoP eli Declaration of Performance), josta käy ilmi tuotteen tarkemmat ominaisuudet. Lajittelijoiden pätevyyttä ja koneellisen lujuuslajittelun vaatimustenmukaisuutta valvotaan kansallisesti. (Torniainen 2017, 194; Puuinfo 2020.)

Visuaalinen lajittelu suoritetaan Suomessa yleensä yhteispohjoismaisen INSTA 142 -standardin mukaisesti. INSTA 142 noudattaa rakennesahatavaran ja puurakenteiden standardeissa EN 1912 ja EN 14081-1 esitettyjä lajitteluvaatimuksia. Visuaalisessa lajittelussa etsitään sahatavarakappaleista silmämääräisesti vikoja tai ominaisuuksia, jotka voivat heikentää kappaleiden lujuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi syyhäiriöt ja kohtisuoraan syysuuntaa vastaan olevat oksat. Syyhäiriöihin kuuluu puun vino- ja poikkisyisyys. Nämä havaitaan helpoiten sahatavarakappaleen sisälappelta. Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan olevat oksat heikentävät ympäröivän puun lujuutta. Oksien heikentävän vaikutuksen suuruuteen vaikuttaa oksien koko, sijainti ja määrä, mutta oksien ominaisuudet, kuten se, ovatko oksat terveitä, lahoja, kuorioksia vai oksan reikiä, eivät vaikuta puun lujuusominaisuuksiin. Muita puun lujuutta heikentäviä ominaisuuksia ovat lahovauriot, halkeamat, reaktiopuu eli lyly, muotovikaisuudet, vajaasärmäisyys, kuori, hyönteisten jäljet ja mekaaniset viat sekä sinistymät, väriviat, pihkataskut, pihkapuu ja muut esimerkiksi sään mahdollisesti aiheuttamat värimuutokset. Edellä mainitut vaikuttavat sahatavarakappaleen lujuusominaisuuksiin siten, että esimerkiksi lahottajasiementen sahatavaralle aiheuttama 5 prosentin painohäviö heikentää puun lujuutta lähes 50 %, sahatavarakappaleen vajaasärmäisyys pienentää kappaleen nimellispoikkipinta-alaa, ja kuorta ei sallita sen hyönteisvaurioille altistavien ominaisuuksien takia. (Torniainen 2017, 195–196; Puuinfo 2020.)

Suomessa rakennesahatavara valmistetaan pääasiassa männystä tai kuusesta. Standardien mukaan lujuuslajiteltua sahatavaraa kutsutaan T-sahatavaraksi. INSTA 142:n mukaisessa lajittelussa käytetään lujuusluokkia T3 ... T0, jotka vastaavat EN 338 -standardin mukaisia lujuusarvoja C30, C24, C18 ja C14, eli taivutuslujuuden arvoja 30, 24, 18 ja 14 N/mm². Lujuusluokkaan kuuluvan sahatavarakappaleen taivutusmurtolujuus on vähintään luokan osoittaman arvon verran hetkellisessä (noin viisi minuuttia kestävässä) rasituksessa 12 prosentin kosteudessa. Esimerkiksi lujuusluokassa T3 (C30) sahatavarakappaleen taivutusmurtolujuus on vähintään 30 N/mm² hetkellisen kuormituksen suhteen, kun kappaleen kosteuspitoisuus on 12 %. Osa INSTA 142:n lujuuslajittelun tiivistetyistä ohjeista on esitetty kuvassa 17. Sahatavarakappale täytyy lujuuslajitella uudelleen, jos se halkaistaan lujuuslajittelun jälkeen. (Torniainen 2017, 196.)

INSTA 142-LAJITTELUN TIIVISTETYT OHJEET (SAHATAVARA VÄH. 45 * 70)

Ominaisuuden nimi	Ominaisuuden suurin sallittu määrä				
	T3	T2	T1	T0	
Oksat	Syrjäoksa	$t/3$	$t/2$	$4t/5$	t
	Lapeoksa	$b/6$	$b/4, \text{ max } 50 \text{ mm}$	$2b/5, \text{ max } 75 \text{ mm}$	$b/2$
	Oksat parruissa	$s/5, \text{ max } 50 \text{ mm}$	$2s/5, 50 \text{ mm}$	$3s/5, 75 \text{ mm}$	$4s/5$
Oksasumma	Suurimman sallitun sytjä- ja lapeoksan mittalukujen summa				
Poikaoksa (pieni kulma)	Ei sallita	Sytjä: pituus = b		Sallitaan	
Latvavika, syyhäiriö	Keskellä $b/4$	Keskellä $b/2$		$3b/4$	
Vuosirengasväli	4 mm	6 mm	ei rajoituksia	ei rajoituksia	
Vinosyisyys	1 : 10	1 : 8	1 : 6	1 : 4	
Halkeamat	Kuivaushalkeama	Lappeella $L/2$, ei jatkuvaa, syvyys < t	Pituus L, ei jatkuvana, syvyys < t, ei särmiä rikkovaa	Sallitaan	
	Rengashalkeama	Ei sallita	Syvyys 25 mm, pituus 500 mm	Pituus 1000 mm	
	Kaatohalkeama	Ei sallita	Ei lappeen ¼ ulko-osaan ulottuvaa	Sallitaan	
Muotoviat 2 m:n matkalla					
Syrjävääritys	8 mm		12 mm		
Lapevääritys	10 mm		20 mm		
Kierous	$b/25$		$2b/25$		
Koveruus	Sallitaan		Sallitaan		

KUVA 17. Ote INSTA 142:n mukaisesta tiivistetystä lujuuslajitteluohjeesta (Parviainen 2010, 26)

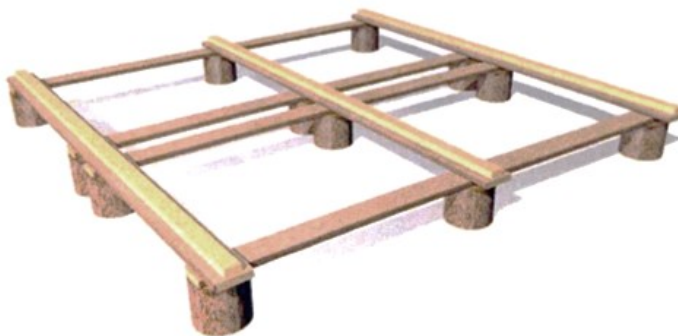
INSTA 142 -lujuuslajittelukursseja järjestää ainakin yhteistyössä LujaDigi-hanke ja Suomen Sahayrittäjät ry. Lujuuslajittelukurssi kestää tavallisesti neljä arkipäivää, joista viimeisenä suoritetaan lajitteluosaamisen testit. Kurssin hinta on syksyllä 2023 ollut 100 € jokaista kurssipäivää kohden (alv. 0 %). (Silvast 2023.)

2.3.1.4 Kuivatus ja varastointi

Lajittelun jälkeen sahatavara tasataan, rimoitetaan ja kuivataan. Sahauksen jälkeen tehty tuorelajittelu helpottaa kuivaamista, koska laatuvaatimuksia täyttämättömät kappaleet voidaan poistaa muiden joukosta ennen kappaleiden kuivausta. Tasauksella tarkoitetaan sahatavarakappaleiden katkaisua haluttuun pituuteen. Yleisesti käytetään 300 millimetrin välein kulkevia pituusmittoja 2,7 ja 6,0 metrin väliltä. Samanpituista sahaista kasataan kuivausta varten rimanippuja. Rimanippu on tietystä sahatavarakoosta kasattu nippu, joka voi olla kooltaan esimerkiksi 1 m x 1 m x 5 m. (Voutilainen ym. 2018, 119–120; Puuinfo 2020.)

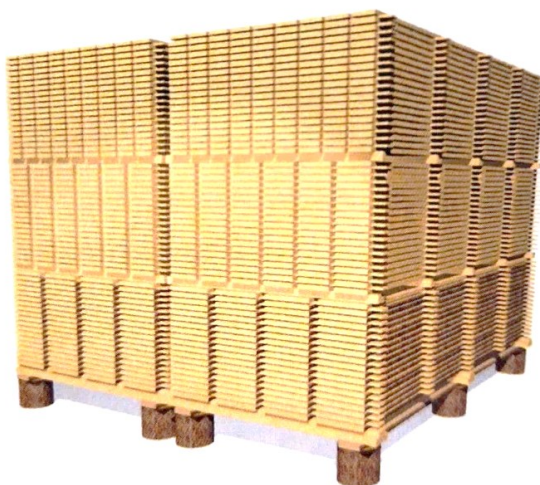
Katettua rimanippujen kokonaisuutta kutsutaan taapeliksi. Taapelille otollisin sijainti on lähiympäristön korkein kohta, joka on tasainen ja avoin. Metsänreuna ei ole taapelille suotuisa paikka, mutta järven tai muun vesistön läheisyys voi estää sahatavaran liian nopeaa kuivumista ja näin ollen olla hyväksi. Taapelin alle jäävä maa-alue tulee karsia heinistä, yms. kasvillisuudesta ja maanpintaan olisi tarkoituksenmukaista ajaa karkeaa sepeliä, eli kalliosta louhinnan ja murskauksen jälkeen seuloittua kiviaineista, jotta maaperän kosteus ei pääse siirtymään pinon alimpiin sahatavarakappaleisiin. Taapelin rakentaminen aloitetaan alustolppien pystyttämällä. Alustolpat voivat olla esimerkiksi tukkipätkiä. Vähimmäispituus alustolpille on 500 mm. Maaperästä riippuen voi olla tarpeen asettaa alustolppien alle esimerkiksi betonilaatat, jotta tolpat eivät lähde painumaan maan sisään. Tolpat

tuetaan toisiinsa tukevasti laudoilla. Tolppien ja lautojen väliin kiinnitetään kosteussulkuksi huopapaplat. Alustolppien ja välilautojen esimerkkirakenne näkyy kuvassa 18. (Voutilainen ym. 2018, 128; Rudus julkaisuaika tuntematon.)



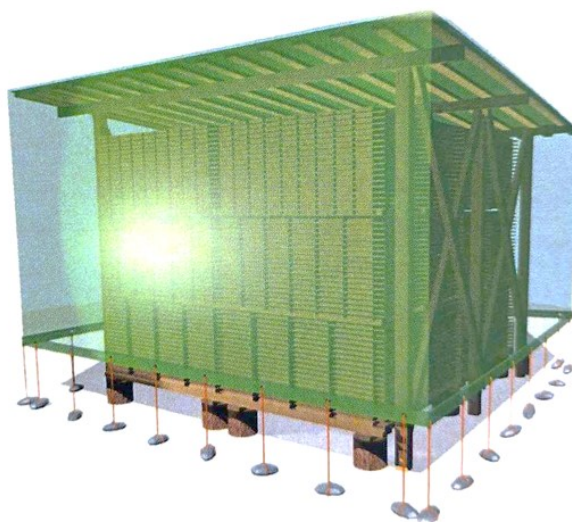
KUVA 18. Taapelin aloittaminen (Voutilainen ym. 2018, 128)

Saheet sijoitellaan taapeliin niin, että niiden pitkät sivut ovat kohtisuoraan tuulta vasten, jotta saheidden väliset rimat eivät pysäytä ilmavirtaa, vaan tuuli pääsee puhaltamaan koko rimanipun lävitse. Sahatavarakappaleet ladotaan kerroksittain pinoiksi. Jokaisen sahatavarakerroksen väliin asetetaan tasapaksuja, kuivia, poikkileikkaukseltaan esimerkiksi 25 mm x 32 mm suuruisia rimoja, jotta sahatavarakappaleet pysyvät erillään toisistaan ja ilmarako on samansuuruinen läpi nipun. Rimojen aseointi tulee suunnitella järkevästi saheidten muodonmuutosten minimoimiseksi. Jos puut kuivataan ilmakeivillä, sahatavarakappaleiden väliin jätetään ilmarat myös leveysuunnassa, jotta lämmin ilma pääsee nousemaan alhaalta ylös ja poistamaan kosteutta. Rakojen tulisi olla kappaleiden leveyttä vastaavia ja niiden tulee jatkua yhtenäisinä alhaalta ylös saakka. Sahatavarakappaleet pinotaan taapeliin samansuuntaisesti, eli sydänpuoli on kaikissa joko ylös- tai alaspäin. Valmis taapeli näkyy kuvassa 19. (Voutilainen ym. 2018, 120, 128.)



KUVA 19. Sahatavarakappaleet taapeliksi pinottuna (Voutilainen ym. 2018, 128)

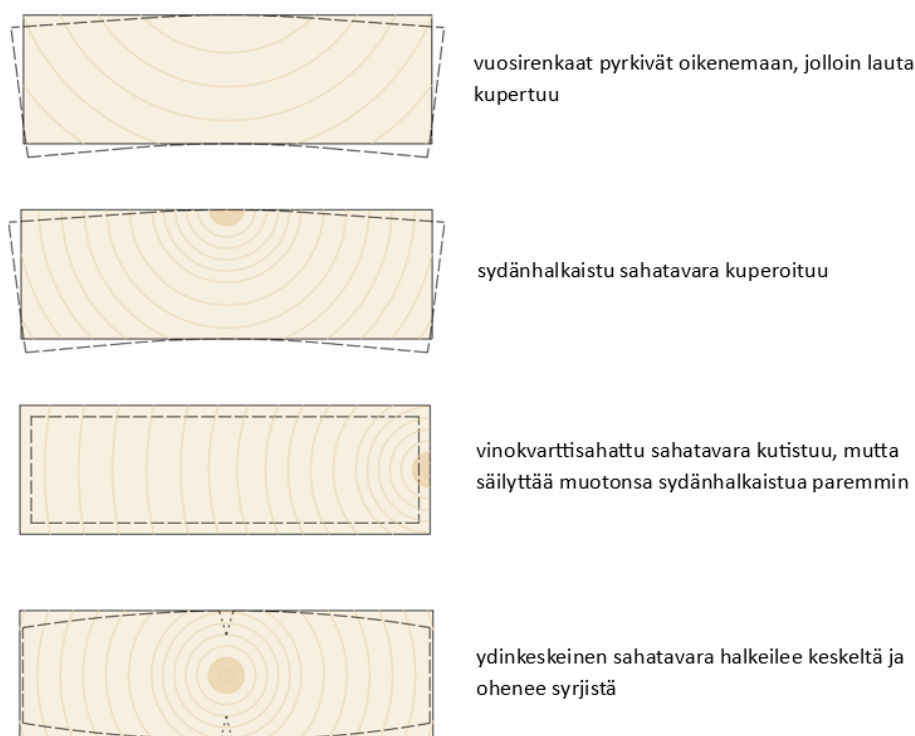
Kun sahatavara on pinottu halutun kokoiseksi taapeliksi, taapeli katetaan sahatavaran suojaamiseksi sateelta ja Auringon UV-säteilyltä. Katoksen tulee olla selvästi ylimpiä sahatavarakappaleita korkeammalla, jotta ilma pääsee kiertämään ja poistumaan ylimpien kappaleiden yläpuolelta. Katoksen reunojen tulee ulottua vähintään puoli metriä taapelin reunojen ulkopuolelle. Lopuksi katoksen päälle on hyvä virittää esimerkiksi kevytpeite suojaamaan saheita sivusuunnassa kuvan 20 mukaisesti. (Voutilainen ym. 2018, 128.)



KUVA 20. Valmis taapeli, joka on suojattu katoksella ja kevytpeitteellä (Voutilainen ym. 2018, 128).

Suomessa noudatetaan pohjoismaisia lajitteluohjeita sahatavaran kuivauslaadusta. Lajitteluohjeiden mukaan sahatavarakappaleiden kosteusprosentti saa olla korkeintaan 24 % sahatavaramitoista riippumatta, ja kunkin sahatavaraerän sahatavarakappaleista 93,5 prosentin on täytettävä standardin EN 14298 vaatimukset kosteusraja-arvoista. Tuoreen havupuun kosteuspitoisuus on yleensä kyllästymispitoisuuden luokkaa (noin 30 %). Sahatavara tulee kuivata käyttötarkoituksen mukaan 8–25 % kosteuteen. Runkotavaraksi tulevan sahatavaran tulisi olla kosteuspitoisuudeltaan alle 24 % ja ulko-verhousmateriaalin alle 18 %. Yleensä rakentamisessa pyritään käyttämään puutavaraa, jonka kosteus on 10–14 %, eli puu on niin sanotusti rakennus-puusepätkuiva. Kosteussuhteen ollessa 15–24 % puun sanotaan olevan laivauskuiva. Tällöin home- ja sieni-itiöt eivät pysty kasvamaan puuainessa ja sahatavara voidaan kuljettaa ilman homevaurioita. Yritysten myymä sahatavara on pääasiassa koneellisesti kuivattua, mutta puuta pystyy kuivamaan myös jopa taivasalla. Ilmakuivaamalla puutavaran kosteus saadaan 15–25 prosenttiin. Ilmakuivauksella ei kuitenkaan päästä aina riittävän alhaiseen kosteuspitoisuuteen. Joka tapauksessa pitkä ulkona lautataapelissa tapahtuva alkukuivaus rajoittaa puussa tapahtuvia muodonmuutoksia alentamalla puun sisäisiä jännityksiä. Alkukuivaus voi kestää jopa kaksi vuotta. Tätä kuivemmaksi puu saadaan vain keinokuivausmenetelmillä, kuten esimerkiksi kanavakuivauksella. Teollisten kuivausmenetelmien etuja ovat muun muassa nopeus, pienempi varastotilojen tarve, kuivauksen laatu ja työmäärän jakautuminen tasaisesti vuoden ympäri. (Siikanen 2016, 49; Leppänen 2017, 127; Pitkänen 2017, 131, 142; Voutilainen ym. 2018, 78–79; Puuinfo 2020.)

Kuivatuksessa pyritään pitämään laatutappiot mahdollisimman pieninä ja minimoimaan kuivatuksen aiheuttamat kustannukset. Kuivauksen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi puulaji, puun dimensiot, kuorman muoto ja kuivauskaava, ja laadun osatekijöitä ovat puun sisäinen kosteusjakauma, halkeilu, muodonmuutokset, pinnan kovettuminen ja pihkaantuminen sekä värimuutokset. Puun kuivaamisessa ja varastoinnissa tulee huomioida myös puun halkaisutapa: eri tavoilla halkaisutut puut pyrkivät muuttamaan muotoaan eri tavoin kuivuessaan. Halkaisutavoista riippuvia muodonmuutoksia on esitetty kuvassa 21. (Siikanen 2016, 49; Voutilainen ym. 2018, 78–79.)



KUVA 21. Eri halkaisutapojen vaikutus puun kuivumiskäyttäytymiseen (muokattu lähteestä Puuinfo 2020)

Sahatavaran laatuun yleisimmin vaikuttavia vikoja ovat halkeamat. Halkeamat voidaan jakaa eri tyypeihin: pääty-, sydän-, pinta-, sisä-, oksa- ja mikrohalkeamiin, joista viimeiseksi mainitut saattavat tulla havaituiksi vasta höylätessä tai pintakäsitellessä puuta. Pääosa halkeamista syntyy puun kuivausvaiheessa ja yleisin syy halkeamiselle on puun liian nopea kuivuminen. Lisäksi halkeiluun vaikuttaa puulaji, kuivausolosuhteet, varastointi, sydänpuun osuus ja mahdollinen reaktiopuu. Halkeilua voi aiheutua myös ennen varsinaista kuivumista tapahtuvan spontaanin kuivumisen takia. Halkeilua voi estää halkeamatyypistä riippuen erilaisilla menetelmillä. Päätyhalkeamia voi vähentää kotiolosuhteissa sijoittamalla reunimmat rimat mahdollisimman lähelle kuivattavien sahatavarakappaleiden päätyjä ja käsittelemällä kappaleiden päät puunsuojavahalla tai maalilla ennen kuivausta. Pinta- ja sisähalkeamien syntyyn vaikuttaa erityisesti sahatavaran suuri kosteusgradientti, eli materiaalissa tapahtuvat suuret kosteuspitoisuuden muutokset pienen alueen sisällä, joten näitä halkeamatyyppejä voidaan ennaltaehkäistä säilyttämällä puun pinnan ja keskiosan välillä mahdollisimman pieni

kosteusgradientti. Oksahalkeamien estäminen on hankalaa, mutta korkeita lämpötiloja ja liian kuivaa puun pintaa välttämällä oksahalkeamia on mahdollista rajoittaa. Myös hitaampi kuivausnopeus auttaa oksahalkeamien rajoittamisessa. (Pitkänen 2017, 139–141; Voutilainen ym. 2018, 126.)

Muita kuivausvikoja halkeamien lisäksi ovat puun erilaiset muodonmuutokset, kuten kiertyminen ja vääntymisen. Kiertymistä voi tapahtua sahauksen, kuivauksen ja varastoinnin aikana, mutta useimmiten kiertyminen ilmenee puun kuivussa. Kiertyminen johtuu puuaineksen vinosyisyydestä, jolloin pituuskutistuma on eri suuruista poikkileikkauksen eri osissa. Vinosyisen materiaalin kohdalla oikeaoppinen rimoitus on ensisijaisen tärkeää, jotta kiertymiltä vältyttäisiin. Huonosti toteutettu tai suunniteltu rimoitus altistaa puutavaran kiertymisen lisäksi erilaisille vääntymille. Kupertuminen on myös tyyppillinen kuivauksesta aiheutuva muodonmuutos. Se johtuu kiertymien tapaan puun anisotropiasta. Koska puun poikkileikkauksen tangentin suuntainen kutistuminen on noin kaksi kertaa suurempaa kuin poikkileikkauksen säteen suuntainen kutistuminen, sahatavarakappaleen reunat alkavat kaareutua. Muista muodonmuutoksista poiketen kupertumisen katsotaan kuitenkin olevan kuivauksessa luonnollinen reaktio, eikä sitä näin ollen katsota kuivausviaksi. (Pitkänen 2017, 141.)

Kuivumisnopeuteen vaikuttavat puulajin lisäksi muun muassa puun tiheys ja lähtökosteus, solurakenne ja syysuunta, kuivattavan kappaleen paksuus ja leveys, puutyyppi eli esimerkiksi nuorpuu, sydänpuu tai kesäpuu sekä ympäröivät ilmasto-olosuhteet. Ilmakuivaamalla kuivatun puun kuivumisajat vaihtelevat sahauksesta ja kuivumaan laittamisesta myyntikuivaksi kuivumiseen yhden ja kymmenen kuukauden välillä. Sahausajankohdan ja kuivumisajan välisiä yhteyksiä on esitetty taulukossa 3. (Voutilainen ym. 2018, 83, 130.)

TAULUKKO 3. Sahatavaran sahausajankohdan vaikutus kuivumisajan pituuteen (muokattu lähteestä Voutilainen ym. 2018, 130)

Sahatavaran kuivumisajat ilmakeivauksessa (<i>air dried = ad</i>)		
Tavaran sahaus ja kuivumaan laitto	Valmis myyntiin	Kuivausaika kuukausina
tammi-maalis	touko-heinä	2–6
huhti	kesä-elo	2–4
touko	kesä-elo	1–3
kesä	heinä-syys	1–3
heinä	elo-loka	1–3
elo	marras-tammi	3–5
syys-joulu	touko-heinä	8–10

Kuivauksen jälkeen sahalaitoksilla kuivauksessa olevat kuormat puretaan ja siirretään lajittelulaitokselle laatulajittelua, mittapituuteen katkaisua, paketointia ja varastointia varten. Omaan käyttöön tuleva kuivunut puutavara varastoidaan odottamaan käyttöä. (Miettinen 2017, 148.)

2.3.2 Oman sahatavaran tuottamisen haasteet

Omasta metsästä tuotettavan sahatavaran merkittävämpiä haasteita ovat työmäärään liittyvät tekijät. Koko sahatavaran tuotantoketju puun kaadosta kuljetuksen, sahauksen ja kuivatuksen kautta varastointeihin kuluttaa merkittävästi enemmän sekä ajallisia että työvoimallisia resursseja kuin rakennustarvikeliikkeestä kotipihaan tilatun sahatavaran ostaminen kuluttaisi. Helsingin yliopiston metsäkirjaston ja Suomen Metsätieteellisen Seuran vuoden 1989 julkaisussa *Kirjojen ja tutkimusten metsä* kerrotaan ikimetsästä perinteisin menetelmien suoritettuna puunkaadon työmenekistä seuraavaa: metsän kaadossa yhdeltä tynnyrialalta kuluu 5–7 miestyöpäivää. Tynnyriala on vanha, 1800-luvun loppupuolelle asti Pohjoismaissa käytössä ollut pinta-alan mitta, joka on saanut alkunsa siitä alasta, mille kuluu kylväessä tynnyriäinen jyviä. Tynnyrialan suuruus on vaihdellut eri vuosisatojen aikana, mutta teoksessa *Kirjojen ja tutkimusten metsä* tynnyriala käytetään suuruutta 0,41 ha. (Leikola 1989, 11.)

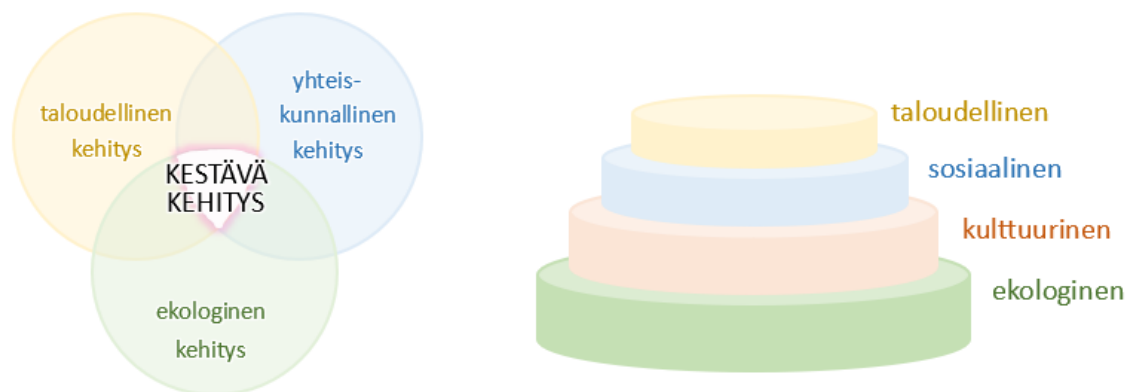
Edellä mainittuja työmenekkejä hyödyntäen yhden hehtaarin puunkaadon työmenekiksi saadaan 12–17 työmiespäivää. Yhden hehtaarin alueella kasvaa keskimäärin 720 puuta, eli yhden puun kaatamisen työmenekiksi voidaan arvioida 0,017–0,024. 1800-luvulla työmiespäivä on ollut yleisesti 11–12 -tuntinen, joten yhden puun kaatamiselle saadaan työmenekiksi 0,25–0,36 tuntia eli 15–22 minuuttia. Nykyaikaisissa laskelmissa puunkaadolle ja siitä aiheutuville muille töille, kuten oksien karsinnalle ja pois siirrolle on merkattu työmenekiksi 2 h/kpl. Puutavaran siirrot traktorilla alle 50 metrin matkoilla ovat 0,25 tth/siirto eli 15 min/siirto. Tästä voidaan päätellä, että puun kaato, oksien karsinta ja tukin siirto raivausalueelta pois ottaa kokonaisuudessaan noin 2 tth/kpl. Jos käytössä on traktori ja metsäkuormaaja, siirto sujuu nopeammin, sillä yhteen kuormaan saa lastattua useampia runkoja. Jos tukkien siirrot tehdään hevosavusteisesti (kuva 22), työmenekki nousee edellä mainitusta. Suurten tukkipuiden ollessa kyseessä yhdellä hevosella ei voi vedättää lukuisia runkoja kerrallaan, mikä pienentää työsaavutusta. Vaikka koulutetuilla ja työhön tottuneilla suomenhevosilla voikin vetää jopa kaksi kertaa hevosen massan suuruista kuormaa, kuormat jäävät selvästi metsäkärryn ker-takuormia pienemmiksi. Toisaalta hevonen ei vaadi leveää kulkureittiä vetääkseen tukit pois metsästä, eikä sen massa riko maaperää ja puiden juuristoa massiivisen traktorin tavoin, joten hevosen käyttäminen puiden siirrossa säästää traktorin vaatimien kulkureittien raivaukselta ja on ympäristölle säästeliäisempi vaihtoehto. (Sangi 2014, 82; Tiihonen 2016; Ratu Rakennustöiden menekit 2020, 92; Lampila 2020; Koivuporras julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 22. Kevyen rangan siirtämistä hevosella (Ahonen-Väisänen 2022, CC BY-NC-SA)

Hevosen käyttämistä tukkien siirrossa traktorin ja metsäkuormaajan sijaan on hyvä miettiä erityisesti, jos metsää kaadetaan niin sanotusti harsimalla eli poimintahakkuulla. Harsinta on kansankielinen, jopa hieman halventava, nimitys kaatomenetelmälle, jonka mukaan metsästä kaadetaan suurimmat ja siten arvokkaimmat puut, ja pienempi puusto jätetään kasvamaan. Metsälaki kielsi harsimisen vuonna 1927, koska puiden geneettisen perimän pelättiin heikkenevän. Vuonna 2014 voimaan astuneet asetukset kuitenkin sallivat harsinnan jälleen. Monien harsimisen ekologisesti merkittävien etujen lisäksi harsiminen on pitkällä aikatahtaimella taloudellisesti avohakkuuta kannattavampi vaihtoehto. 50 vuoden tarkastelujaksolla harsimalla kaadettu metsä voi tuoda jopa lähes neljänneksen suuremmat myyntituotot. Sipin (2022) laskelmien mukaan rahamäärällinen ero on lähes 7 500 € metsähehtaaria kohti. (Sipi 2022; Suomen Metsäyhdistys julkaisuaika tuntematon.)

Metsien hakkuussa tulee huomioida sekä ympäristövaikutukset että kaikki kestävän kehityksen osa-alueet: taloudellinen kestävyys, kulttuurinen kestävyys, sosiaalinen kestävyys ja ekologinen kestävyys. Näistä viimeksi mainitun tärkeyttä on alettu korostaa viime vuosina. Erilaisissa kestävän kehityksen osa-alueita kuvaavissa malleissa ekologinen kestävyys asetetaan usein muiden osa-alueiden perustaksi, vaikka toisten toimijoiden mielestä taloudellisen kestävyuden tulisi olla kaiken metsäteollisuuden lähtökohtana. Toisiaan sivuavien renkaiden mallissa korostetaan osa-alueiden välistä tasapainoa. Rengasmallissa ekologinen kestävyys nähdään kestävyuden perusulottuvuutena. (Kuva 23.) Luonnon kantokyky tulee kuitenkin huomioida niin metsän hakkuu- kuin hoitotöissäkin - luonnonvaroja ei pystytä loputtomiin hyödyntämään niiden uusiutumista nopeammin. (Jalonen & Pelkonen 2006, 26–27; Tahvonen 2006, 45; Voutilainen ym. 2018, 27.)



KUVA 23. Kestävyyden eri osa-alueiden suhteiden kuvaamistapoja (muokattu lähteestä Jalonen 2006, 43)

Vuosittain metsää hakataan maailmassa noin 200 000 km² eli jalkapallokentän verran joka sekunti. Suomessa, toisin kuin monissa muissa maissa, on kuitenkin onnistuttu säilyttämään metsävarat intensiivisestä puutuotannosta huolimatta. Suomen metsät ovat merkittävä hiilinielu: hiilinielu vastaa vuotuisesta vaihtelusta riippuen keskimäärin kolmasosaa Suomen kokonaishiilidioksidipäästöistä. Hakkuutyöt aiheuttavat suuria vuotuisia vaihteluita metsien hiilidioksidin sitomiskykyyn, ja metsiin sitoutuvan vuotuisen hiilidioksidin määrä on vuoden 1990 jälkeen vaihdellut 17:stä 47 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttonniin. Hiilidioksidiekvivalentti kuvaa kasvihuonekaasujen yhteismäärää. Sen avulla pystytään laskemaan kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamaa kasvihuoneilmiön voimistumista. Puunhakkuun yhteydessä tulee miettiä kompensatioiden tarpeellisuutta ja mahdollisuuksia. Kompensatiotoimia voivat olla esimerkiksi kasvatusmetsien lannoitus tai joutoalueiden metsittäminen. (Tahvonen 2006, 45; Voutilainen ym. 2018, 27; Liljeroos 2021, 43–44, 79–80; Suomen virallinen tilasto (SVT).)

Ikimetsien, eli vanhojen luonnontilaisten metsien, joiden on annettu kasvaa ilman ihmisen vaikutusta, hiilidioksidinsitomiskyky on huomattavasti talousmetsiä suurempi. Talousmetsillä tarkoitetaan metsää, josta on kaadettu alkuperäinen puusto ja istutettu tilalle ihmisen valitsemaa puulajia. Lisäksi yli puolet suomalaisista eläimistä käyttää metsiä elinympäristöinään. Tämä tarkoittaa yli 20 000 erinäköä-, lintu- kasvi- ja sienilajia. Ikimetsien lajikirjo on merkittävästi talousmetsiä suurempi, ja niiden varassa elää moni vaarantunut, uhanalainen ja jopa erittäin uhanalainen laji, kuten hömötiainen *Poecile montanus* (kuva 24). Hömötiainen on yksi niistä lajeista, jota on aiemmin esiintynyt Suomessa runsain määrin, mutta sittemmin niiden määrä on romahtanut radikaalisti. Pääsyy lajikannan taantumalle on metsien avohakkuut, eli päätehakkuut, joissa puusto tai valtaosa puustosta kaadetaan, ja siten lajin luonnollisen elinympäristön, luonnontilaisten metsien, tuhoutuminen. (Luonnonperintösäätiö 2019; Luontoportti 2023; WWF julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 24. Hömötiainen *Poecile montanus* luonnollisessa elinympäristössään (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

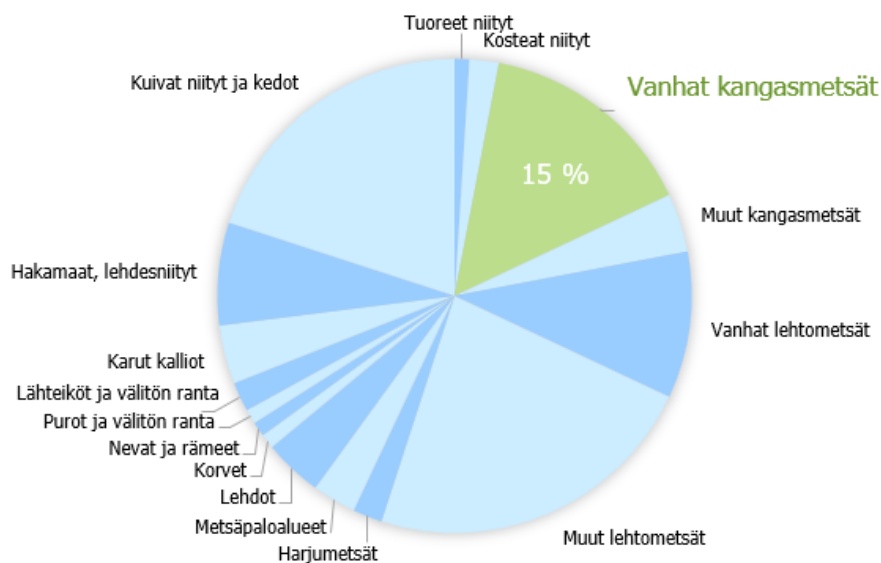
Koska kohdetilan metsät ovat pääosin vanhaa kangasmetsää (kuva 25), joissa ei ole suoritettu minikäänlaisia hakkuita, ja tiluksilla esiintyy monimuotoista eliökuntaa, kuten hömötiaisia, puunhakkuiden tulee olla suunnitelmallisia ja ne tulee suorittaa ympäristöä kunnioittaen.



KUVA 25. Kohdetilan metsää nykytilassaan (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

Vanha kangasmetsä on yksi suomalaisen luonnon avainbiotoopeista, eli sellaisista ympäristöistä, jotka kuuluvat metsälain mukaisiin erityisen tärkeisiin elinympäristöihin. Vanhoissa kangasmetsissä esiintyy 15 % Suomen uhanalaisista eliölajeista, mikä tarkoittaa, että siellä esiintyy eniten uhanalaisia lajeja heti kuivien niittyjen/ketojen ja muiden kuin vanhojen lehtometsien jälkeen (kuva 26).

Ekologisista syistä avohakkuuta vältetään, mikä kasvattaa työmäärää merkittävästi ja vaikuttaa näin ollen myös rakennushankkeen kustannuksiin, mutta toisaalta tukee vahvasti ajatusta ekologisesta kestävydestä ja luonnon monimuotoisuudesta eli biodiversiteetistä, ja kuten aiemmin jo todettiin, harsiminen avohakkuun sijaan tuo myös taloudellisia etuja. Näin voidaan täyttää jokaista henkilöä koskeva vastuu luonnon monimuotoisuuden suojelemisesta, joka kirjattiin jo vuonna 1886 metsälakiin (14 §) sanoilla: ”Metsämaata älköön autioksi hävitettävä.” (Hanski 2006, 203; Laine, Pihkala & Rytteri 2006, 110.)



KUVA 26. Uhanalaisten lajien esiintyminen avainbiotooppien edustamissa elinympäristöissä (muokattu lähteestä Hanski 2006, 203)

Ekologisuuden ja luonnon monimuotoisuuden lisäksi hakkuita suunnitellessa tulee huomioida niiden esteettiset vaikutukset. Pihapiirin ympäristössä tapahtuvat hakkuut voivat muuttaa maisemaa, viihtyisyyttä ja naapureihin tai maantielle olevia näköesteitä, ja siten niillä voi olla vaikutusta myös kiinteistön arvoon puuston arvon muuttumisen lisäksi. Vaikka usein hyvin hoidettuja talousmetsiä tai avaraa peltomaisemaa pidetään esteettisesti ikimetsiä miellyttävämpinä, myös ikimetsille osataan antaa esteettistä arvoa niiden usein ajatellusta synkkydestä ja pelottavuudesta huolimatta. Esimerkiksi Reino Kalliola on kuvannut vuoden 1955 teoksessaan *Suomen kaunis luonto* aarniometsää tunnelmaltaan sadunomaiseksi, salaperäiseksi ja mieltä kiehtovaksi vailla kesyttämistä ja alistamista. Estetiikkaa pohtiessa on hyvä ajatella myös ekologista estetiikkaa, eli ekosysteemien toiminnan, itseohjautuvuuden ja mukautuvuuden eleganssia. (Kuuluvainen & Nikinmaa 2006, 226; Sepänmaa 2006, 242–243.)

Avohakkuun välttäminen pidentää puun kaatamiseen ja kuljetukseen kuluvaa aikaa. Puita ei kaadeta metsän reunasta alkaen järjestelmällisesti, vaan ikimetsässä pujotellen. Tämä sekä hankaloittaa kaatamista että vaikeuttaa ja hidastaa tukkien kuljettamista metsästä pois. Oma metsää kaadettaessa

sahatavaraksi täytyy myös miettiä saatavan puutavaran määrää ja saatavuutta: riittääkö metsän puusto vastaamaan hankkeen vaatimaan sahatavaramenekkiin. Suurista kuusista voi saada jopa 6 kuutiometriä tukkipuuta, mutta yleinen vähimmäistavoite tukkipuulle on kuutiometrin sahatavara-saanto (Skyttä 2020). Jos sahatavarakuutioon tarvitaan keskimäärin 2,2 kuutiometriä tukkipuuta, niin kuutiometrin verran sahatavaraa saadakseen vaaditaan 2,2 kappaletta vähimmäistavoitteen mukaisia tukkipuita. Metrin pituinen pätkä ”kakkosnelosta”, eli 50 mm x 100 mm soiroa, on tilavuudeltaan 0,005 kuutiometriä (5,0 dm³ eli 5,0 litraa). Reilulla kahdella vähimmäistavoitteen täyttävällä tukkipuulla saisi siis 200 juoksumetriä 50 mm x 100 mm soiroa. 200 juoksumetriä on kuitenkin hallirakennuksen puutavaramenekkiin verrattuna häviävän pieni määrä: esimerkiksi Niemi kertoi vuoden 2023 haastattelussaan puurakenteisen maneesin sahatavaramenekin olleen 50 kilometriä. Tämä määrä vaatisi 550 kappaletta vähimmäiskokoista tukkipuuta 50 mm x 100 mm soiroilla laskettuna. Kuten tästä voidaan huomata, puun riittävyys ja saatavuus ovat erittäin merkittävässä roolissa oman sahatavaran käyttämistä suunnitellessa.

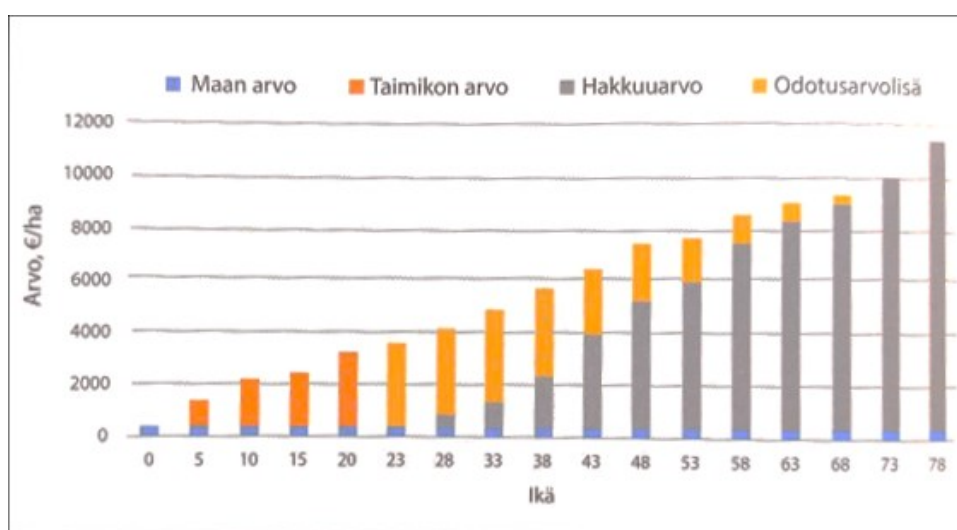
Hakkuutöihin liittyvät kysymykset eivät ole ainoita seikkoja, joita omasta metsästä sahatavaran tuotamista harkitessaan tulee ottaa huomioon. Vaadittavien mittavien aikataulullisten, työvoimallisten ja materiaalistien resurssien lisäksi tarvitaan omia koneita ja laitteita sekä laajat säilytys- ja kuivatustilat sahatavarakappaleille useiden kuukausien ajaksi. Esimerkiksi tuhat juoksumetriä 50 mm x 100 mm soiroa on tilavuudeltaan 5 m³ eli viiden metrin pituisiksi sahatavarakappaleiksi katkottuina niistä muodostuva lankkukasa olisi metrin korkuinen ja metrin leveä. Edellä mainitulla 50 kilometrin sahatavaramenekillä tämä tarkoittaisi viittäkymmentä 1 m x 1 m x 5 m sahatavarapinoa, joille tulisi löytyä asiallinen säilytystila. Kuivatukseen kuluva aika ja materiaalimenekit tulee myös osata ennakoida tarkasti tarpeeksi aikaisin, sillä omaa sahatavaraa käytettäessä kuivaa rakennusmateriaalia ”ei ole enempää kuin sitä on”, ja yllättävän tarpeen sattuessa kohdalle ei ole muuta vaihtoehtoa kuin turvautua ostomateriaaleihin.

Omalla sahatavaralla ei ole myöskään minkäänlaisia laatutakeita. Omasta metsästä saadun sahatavaran pystyy lujuslajittelemaan kuka tahansa lujuslajittelukurssin hyväksytysti suorittanut henkilö, esimerkiksi metsänomistaja itse. On kuitenkin syytä miettiä, riittääkö pelkän kurssin käyneellä lujuslajittelijalla, jolla ei ole lajittelukokemusta, taidot vaativiin rakenteisiin tulevien sahatavarakappaleiden lujuslajitteluun. Lujuslajittelun perusteella kelpaamattomat sahatavarat myös aiheuttavat hukkaa ja lisäävät puunkaatomäärää.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi omasta sahatavarasta rakentamista halajavan tulee huomioida kustannusten tarkan ennustamisen hankaluus ja työvoimaongelmien vaikutus työn kestoon ja etenemiseen. Koneet ja laitteet kuluvat käytössä ja ikääntyvät, joten niiden arvonalenema tulee huomioida osana materiaalikustannuksia. Koneiden ja laitteiden, kuten traktorin, käyttökustannuksia on myös mahdoton arvioida luotettavasti, joten työn aikana kertyneiden kustannusten suuruus saattaa yllättää. Lisäksi itse töitä tehdessä säästää luonnollisesti työvoimakustannuksissa, mutta toisaalta esimerkiksi sairastuminen tai loukkaantuminen voi vaikuttaa radikaalisti töiden ja sitä kautta koko hankkeen etenemiseen ja aikataulussa pysymiseen.

2.3.3 Tukkipuun arvo ja saanto

Metsä on pitkäaikainen sijoitus, jonka arvo kasvaa hitaasti. Keskimäärin metsäsijoituksen reaali- vuosi- tuotto on 2–5 %. Jos tukkipuut jättäisi metsään kasvamaan, niistä voisi saada myöhemmin parem- man tuoton kuin kaatamalla ne nyt. Toisaalta kohdetilan lähes satavuotiaat tukkipuut ovat liki saa- vuttaneet täyden mittansa, joten sen arvokasvu, eli kasvavan puuston vuotuinen tuotto (€/ha/v), alkaa olla taantunut. Arvokasvuprosentti suhteuttaa arvokasvun puuston hakkuuarvoon. Vanhan metsän ollessa kyseessä arvokasvuprosentti pienenee vuosittain, joten hakkuutyöt voivat olla aiheel- lisiä taloudelliselta kantilta mietittynä. (Liljeroos 2021, 76, 85.)



KUVA 27. Summa-arvon kehittyminen puun kasvaessa (Liljeroos 2021, 204)

Edellisten termien lisäksi puuston arvoa voidaan mitata esimerkiksi hakkuuarvon, kantohinnan ja summa-arvon perusteella. Puuston hakkuuarvo kertoo, paljonko puusto tuottaisi, jos se hakattaisiin kokonaan tarkasteluhetkellä. Tähän vaikuttaa puuston määrä, puutavaralajijakauma ja senhetkinen kantohinta. Kantohinta kuvaa sitä hintaa, mikä puusta maksettaisiin sen vielä pystyssä ollessa, eli pystykauppana myytessä. Summa-arvo puolestaan sisältää sekä maan ja taimikon arvon että puus- ton hakkuu- ja odotusarvot. Summa-arvon kehittymistä kuvaavasta pylväsdiagrammista (kuva 27) huomataan, että hakkuuarvon osuus summa-arvosta kasvaa radikaalisti puun ikääntyessä. (Liljeroos 2021, 197–198.)

Kohdetilan vanhimmat puut ovat epäilemättä lähes satavuotiaita, joten niiden voidaan katsoa saa- vuttaneen niin suuren hakkuuarvon, että kasvuajan lisääminen ei enää tuottaisi merkittävää talou- dellista hyötyä. Tällöin metsän ajatellaan olevan uudistamiskypsä, eli kuuluvan kehitysluokkaan 04. Uudistuskypsä metsikkö on tilassa, jossa omistaja hyötyy taloudellisesti enemmän metsän uudista- misesta kuin kasvun jatkumista odottamalla. Metsän uudistamiskypsyyttä voidaan arvioida uudista- miskypsystaulukon perusteella (taulukko 4). (Liljeroos 2021, 345.)

TAULUKKO 4. Puiden uudistamiskypsyyss. Kun puuston keskiläpimitta vastaa 1,3 metrin korkeudella taulukon lukuarvoja, puusto katsotaan uudistamiskypsäksi. (Liljeroos 2021, 343)

Lämpösumma, d.d.	> 1 200 Etelä-Suomi	1 000–1 200 Väli-Suomi	750–1 000 Pohjois-Suomi
Metsikkökuvion pääpuulaji Kasvupaikka	Puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm		
Mänty Tuore tai viljavampi kangas, mustikkaturvekangas	26–32	24–28	23–27
Kuivahko kangas, puolukkaturvekangas	25–30	23–27	22–26
Kuiva kangas, varputurvekangas	22–26	22–25	21–25
Kuusi Lehtomainen tai viljavampi kangas, ruohoturvekangas	28–32	26–30	23–26
Tuore kangas, mustikkaturvekangas	26–30	25–28	22–25
Rauduskoivu Lehtomainen tai viljavampi kangas	28–32	27–30	21–23
Tuore kangas	27–30	26–28	21–23
Hieskoivu Suositellaan uudistettavaksi keski-ään perusteella	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
	Puuston keski-ikä, v		
Kivennäismaat	40–50	40–50	40–50
Turvemaat	50–60	50–60	50–60
<i>Uudistamista suositellaan iän perusteella epätasaisissa, pitkään harventamatta olleissa metsiköissä</i>			
Metsikkökuvion pääpuulaji Kasvupaikka	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
	Puuston keski-ikä, v		
Mänty Tuore tai viljavampi kangas	70+	80+	90+
Kuivahko kangas	80+	90+	100+
Kuiva kangas	90+	100+	120+
Kuusi Lehtomainen tai viljavampi kangas, ruohoturvekangas	60+	70+	100+
Tuore kangas, mustikkaturvekangas	70+	80+	110+
Rauduskoivu Kivennäismailla	60+	60+	60+

Uudistamiskypsyyssuostaulukosta huomataan, että Väli-Suomessa, johon Pohjois-Savo kuuluu, kuusi-metsä suositellaan uudistettavaksi, kun runkojen keskiläpimitta on 25–30 cm. Rungon läpimitta vaikuttaa havupuiden tukkiosuuteen merkittävästi silloin, kun puuston keskiläpimitta on 17–23 cm. Jos puu kasvaa hyvällä maapohjalla hoidetussa metsässä, se voi kasvattaa läpimittansa 17 senttimetristä 23 senttimetriin jopa vain kymmenessä vuodessa. Tämä onkin puuston arvon nopeinten kasvava vaihe. Läpimitan kasvaessa 17 cm:stä 23 cm:iin puuston tukkiosuuden määrä kasvaa 5–10 prosentista 40–50 prosenttiin (taulukko 5). Uudistamiskypsyyssuostaulukosta nähdään myös puuston saavuttaneen uudistamiskypsyyksensä silloin, kun pitkään harventamatta olleissa metsässä puut ovat yli 70–80 -vuotiaita. (Liljeroos 2021, 291.)

TAULUKKO 5. Metsän tukkipuuosuuden määrittäminen. Esimerkiksi puulajin tukkirunkojen pohjapinta-alan (vasemman reunan sarake) ollessa 14 ja puulajin pohjapinta-alojen (ylärivi) ollessa 24, tukkipuuosuus on 45–50. (Liljeroos 2021, 293.)

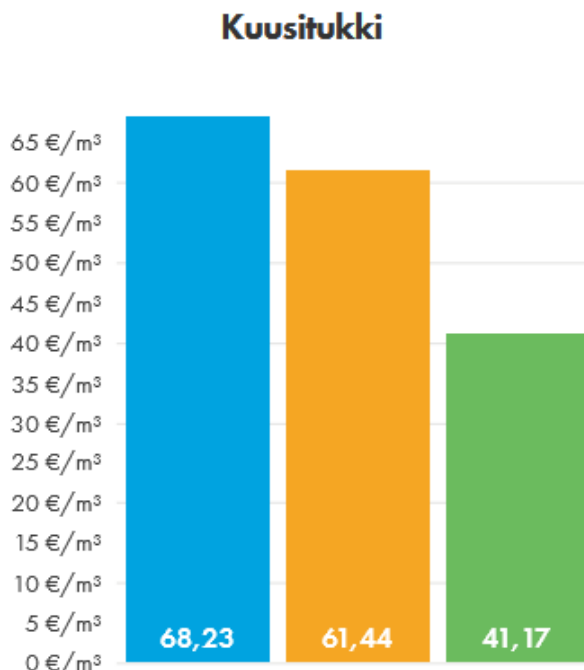
Tukit ppa	Puulajin pohjapinta-ala (tukki- ja kuutupuurungot)											d _{1,3} , cm	
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34		36
MÄNTY JA KUUSI, tukkipuuosuus													
28								80–90	73–85	70–80	66–74	60–67	21–31
26							80–90	73–85	68–78	63–70	60–65	57–61	21–31
24						80–90	73–85	68–78	63–70	60–65	55–58	52–55	21–31
22					80–90	72–82	68–78	62–66	58–60	54–58	52	50	21–31
20				80–90	72–82	65–75	62–66	56–58	52–55	50	47	44	21–31
18			80–90	72–82	65–72	60–65	58–62	50	48	45	42	40	21–31
16		80–90	70–80	65–70	55–60	50–55	50	45	42	40	38	35	21–31
14		70–80	60–70	55–60	50–55	45–50	40–45	40	36	34	32	30	21–29
12	70–75	60–65	50–55	50	45	40	36	33	32	30	28	26	19–27
10	55	50	45	40	35	32	30	28	26	24	23		17–25
8	45	40	35	32	28	26	24	22	20	20			17–23
6	34	30	26	24	22	20	18	16	16				17–23
4	22	20	18	16	14	12	12	10					< 21
2	12	10	10	8	8	5	5						< 19

Metsähehtaarin hinta on noussut Pohjois-Savossa tasaisesti viime vuosien aikana. Neljän viime vuoden aikana hinnannousu on ollut keskimäärin tuhat euroa hehtaaria kohti. Vuonna 2017 hehtaari on maksanut keskimäärin 3400 €, kun taas vuonna 2021 hinta on ollut 4400 €. Vertailukohteiden puustotunnukset, eli puumäärä kuutiota hehtaaria kohden ja tukkiosuus prosentteina, ovat vastanneet toisiaan. Puustokuution hinta taasen on vuonna 2021 ollut Pohjois-Savossa 44 €/m³ ja puustokuution hintakerroin 1,07. Hintakerroin kuvaa toteutuneen kauppahinnan suhdetta tila-arvion summaarvoon, eli toteutunut kauppahinta on ollut 7 % summa-arvoa suurempi. Puustokerroin kuvaa puuston osuutta kauppahinnasta. Pohjois-Savossa vuonna 2021 puustokerroin on ollut 1,26. Tämä tarkoittaa, että puuston osuus on ollut kauppahinnasta keskimäärin 79,4 %. Metsämarkkinoiden hintaseurantaa on esitetty taulukossa 6. (Liljeroos 2021, 133–140.)

TAULUKKO 6. Pohjois-Savon metsämarkkinoiden hintaseuranta 1/2017–6/2021 (Liljeroos 2021, 172)

	myyty kpl	myyty ha	taimikot %	hakkukypsät, %	puusto m ³ /ha	tukki- osuus, %	maksettu		hinta- kerroin
							e/ha	e/m ³	
2017	112	3 507	30	12	100	31	3 406	34	0,86
2018	81	2 885	26	14	109	32	3 886	36	0,90
2019	89	2 978	26	10	108	30	3 999	37	0,93
2020	106	3 387	24	10	111	32	4 368	39	0,96
2021	43	1 100	31	6	99	30	4 405	44	1,07

Puun hintaa ja metsän arvonalenemaa määrittäessä tukkipuun osuudella on merkittävin vaikutus arvon määrittämiseen. Mitä enemmän tukkipuuta on suhteessa sellupuuhun, sitä arvokkaampaa metsä on. Tukkipuusta maksetaan huomattavasti sellupuuta enemmän kuutiota kohti. Kuvassa 28 näkyy syksyn 2023 keskiarvoinen kuusitukin kuutiohinta Savo-Karjalan alueella.



KUVA 28. Kuusitukin keskimääräinen kuutiohinta Savo-Karjalassa 43/2023. Pylväsdiagrammit vasemmalta lukien: uudistushakkuu, harvennushakkuu, ensiharvennus (UPM Metsä, 2023)

Yksittäisen puun tilavuus voidaan arvioida myös laskentakaavalla (kaava 2). Kuusen kohdalla kokonaistilavuuden kaava on:

$$V = 0,022927 * d^{1,91505} * 0,99146^d * h^{2,82541} * (h - 1)^{-1,53547} \quad (2)$$

missä

V = puun kokonaistilavuus litroina eli kuutiodesimetreinä

d = puun läpimitta senttimetreinä

h = puun pituus metreinä

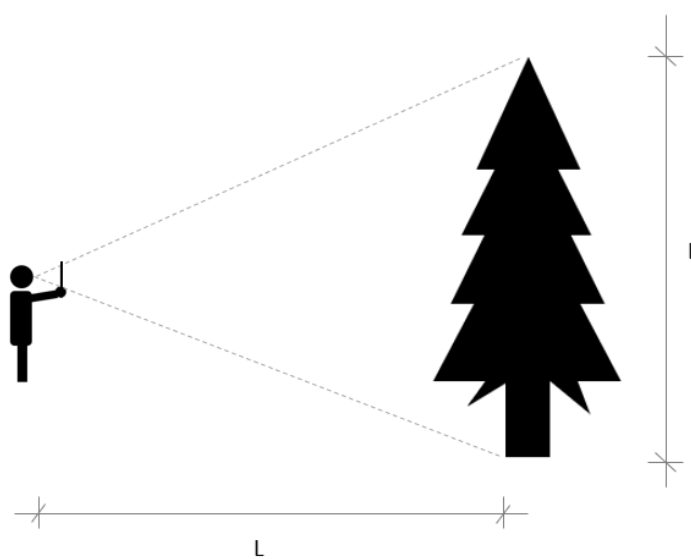
(Maanmittauslaitos 2019.)

Tukin halkaisijan lisäksi puun pituus ja latvaläpimitta vaikuttavat merkittävästi puusta saatavaan sahatavaramäärään. Puun pituus voidaan arvioida niin sanotulla keppimenetelmällä. Menetelmä perustuu perinteiseen geometriaan ja suhdelukuihin: valitaan keppi, jonka pituus on sama kuin kepin etäisyys katsojan silmiin, eli pituus vastaa katsojan käsivarren pituutta. Arvioitavasta puusta siirrytään

sille etäisyydelle, että kun kepin alaosa on puun juurten tasolla, kepin yläosa on puun latvan kohdalla. Tällöin puun pituus on yhtä paljon kuin katsojan etäisyys puusta. Keppimenetelmän suorittamista havainnollistetaan kuvissa 29 ja 30. (Liljeroos 2021, 286.)



KUVA 29. Keppimenetelmän suoritusperiaate (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)



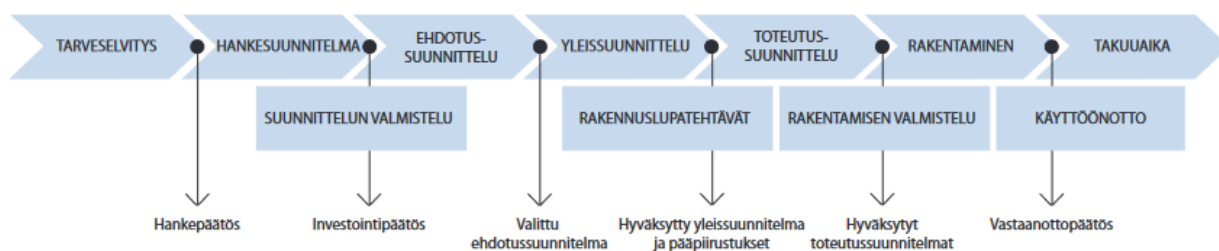
KUVA 30. Keppimenetelmän mukaan puun pituutta arvioitaessa ihmisen etäisyys puusta vastaa puun pituutta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

3 RAKENNUSHANKE

Rakennushanke tarkoittaa niitä toimenpiteitä, jotka tarvitaan lopputuloksen, kuten halutun rakennuksen, aikaansaamiseen, eli esimerkiksi kaikki suunnitelmien mukaisen maneesirakennuksen aikaansaamiseksi tarvittavat toimenpiteet aina rakennustarpeen toteamisesta takuutarkastukseen saakka (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 6).

3.1 Hankesuunnittelu

Rakennushanke alkaa tarvesuunnitteluvaiheella kasvun, muutoksen tai uuden toiminnan synnyttäessä tilantarpeen. Sitä seuraa hanke-, ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheet sekä rakentaminen, käyttöönotto ja takuu-aika (kuva 31). Tarvesuunnitteluvaiheessa laaditaan tarveselvitys, joka myöhemmin toimii hankesuunnittelun pohjana. Tarveselvityksen keskeisimpiä tehtäviä on selvittää ja perustella rakennushankkeen tarpeellisuus. Selvityksessä arvioidaan hankkeen laajuutta, laatua ja ajankohtaa, ja sitä kautta myös hankkeen kustannuksia. Tarveselvitykset voivat olla monimuotoisia ja eri laajuisia, mutta tarveselvitysvaihe tulee käydä aina hankkeen alussa läpi, sillä siinä voidaan määrittää rakennushankkeen kustannuksista jopa 70 prosenttia. (RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Tilaajan ohje 2016, 1; Valtioneuvosto julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 31. Rakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Tilaajan ohje 2016, 1)

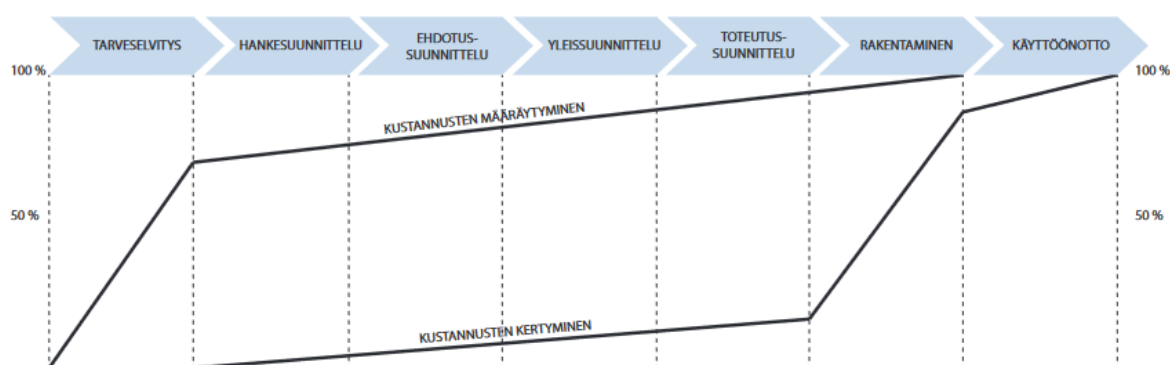
Keskeiset päätökset hankkeeseen liittyen tehdään hankesuunnitteluvaiheessa. Tällöin varmistetaan lähtötiedot, päätetään rakennuspaikka ja tilaratkaisut sekä laaditaan tilaohjelma, määritetään tekniset ja toiminnalliset tavoitteet, kuten käyttöikätaavoite, päätetään hankkeen tavoitteet ja aikataulun reunaehdot sekä laaditaan hankeaikataulu, määritellään omistus- ja toteutusmuodot sekä luodaan kustannusarvio. Edellä mainittujen selvitysten perusteella pystytään hankesuunnitteluvaiheen lopuksi tekemään mahdollinen investointipäätös ja hankkeessa edetään suunnittelun valmisteluvaiheeseen. (RT 10-11225 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulu. Tilaajan ohje 2016, 4; Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 9; Valtioneuvosto julkaisuaika tuntematon.)

3.2 Rakennushankkeen kustannustekijät

Rakennushankkeen kustannuksilla tarkoitetaan rakennushankkeeseen sisältyviä tuotannontekijöitä, joiden käyttöä tai kulutusta mitataan rahassa. Rakentamiskustannukset käsittävät tietyn työn, suoritteen tai palvelun aikaansaamiseen vaadittavan rahamäärän. Kustannukset voidaan jakaa kustannuslajeihin, joita ovat työ- ja materiaalikustannukset sekä muut kustannukset. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 6–7.)

Rakennushankkeen kustannukset vaihtelevat hankkeen laajuudesta, aikataulusta ja laatuvaatimuksesta riippuen. Onnistunut kustannushallinta vaatii realistisen kustannuspuitteen ja katkeamatonta kustannushallintaa koko rakennushankkeen keston ajan. Kustannuspuite sisältää arvion, millaisiin raameihin hankkeen kustannukset tulevat asettumaan. Arvio tehdään tarvesuunnitteluvaiheessa esimerkiksi kohdetta vastaavia kohteiden kustannustietoihin perustuen. Arviolla pyritään varmistamaan rakennushankkeen osapuolten, tilaajan ja rakennushankkeeseen ryhtyvän, taloudellisten päätösten tietoisuus ja tarkoituksenmukaisuus rakennushankkeessa. Tilaajalla tarkoitetaan YSE 1998 mukaisesti urakoitsijan sopimuskumppania, eli urakkasuorituksen tilannutta tahoja. Rakennushankkeeseen ryhtyvä on RT 10-11222 -korttia mukailleen luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka nimissä rakennusluvut haetaan. Päätöksiä tehdessä tulee huomioida, että samankaltaisillakin hankkeilla voi olla suuria kustannuseroja muun muassa kaavan tai markkinatilanteen vuoksi. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 6–7.)

Tarvesuunnitteluvaiheessa laadittua alustavaa kustannuspuitetta aletaan tarkentaa hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin laaditaan tilaajan kustannusarvio ja hankesuunnitelma. Tilaajan kustannusarviossa alustava kustannuspuite tarkentuu vastaamaan hankesuunnitelman sisältöä. Hankesuunnitteluvaiheessa otetaan huomioon erilaiset toteutusvaihtoehdot ja niiden investointi- ja elinkaarikustannukset, mahdolliset myynti- ja vuokratulot/-tuotot sekä tarvittava rahoitus. Eri vaihtoehtojen kartoituksen perusteella tehdään mahdollinen investointipäätös. Rakennushankkeen kustannusten määräytymistä kuvaava kuvaaja esitetään kuvassa 32. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 8–11.)



KUVA 32. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa (RT 10-11226 Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Tilaajan ohje 2016, 1)

Hankesuunnitteluvaiheen päätökset muodostavat kehykset ja tavoitteet hankkeen suunnitteluratkaisuille. Suunnitteluvaiheessa laadittavat suunnitelmaan tehdään hankesuunnittelupäätöksiin pohjautuen, mutta erilaiset suunnitteluratkaisut voivat aiheuttaa merkittäviäkin kustannuseroja. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi rakennuksen perustusolosuhteet ja sijoittelu tontille, varustelu- ja viimeistelytaso sekä rakennusosien määrien ja kustannusten vaihtelut. Rakennussuunnittelun alkuvaiheessa hahmotellaan rakennus pääpiirteittäin, eli suunnitellaan muun muassa muoto ja kerrosmäärä. Tällöin rakennushankkeen kustannuksia tarkastellaan tila- tai rakennusosapohjaisesti. Suunnittelun edetessä tarkentuu muun muassa materiaalivalinnat, jonka jälkeen kustannuksia päästään tarkastelemaan rakennusosa-arvion perusteella. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 11–12.)

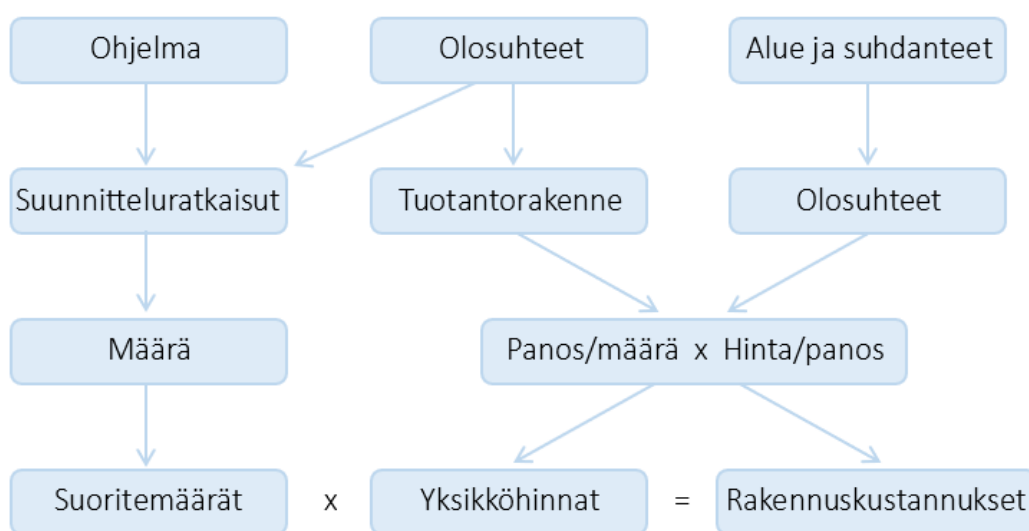
Rakennuksen investointi- eli perustamiskustannukset muodostuvat rakentamisen ja rakennuttamisen aiheuttamista kustannuksista, joiden suuruuteen vaikuttavat muun muassa hankkeen toteutusmuoto, olosuhteet, suunnitteluratkaisut, haluttu laatutaso, kaavamääräykset, valitut materiaalit sekä hankkeen laajuus, ajoitus ja aikataulu. Toteutusmuodon mukaan tilaajan mahdollisuudet hankkeen ohjaamiseen ja kustannuksiin vaikuttamiseen vaihtelevat. Perinteisiä toteutusmuotoja ovat pääurakkamuodot kokonaisurakka (KU) ja jaettu urakka (JU). Tällöin yksi urakoitsija on pääroolissa hankkeessa toteuttaen rakennustyöt tilaajan suunnitelmien mukaisesti. Pääurakkamuotoisen hankkeen kustannukset määräytyvät valtaosin rakennuttajan toteuttaman suunnittelun kustannusohjauksen onnistumisen mukaan: suunnitelmien tarkat tekniset toteutusratkaisut auttavat urakoitsijoita laatimaan tarkemmat tarjoukset, eikä tarjouksiin sisällytetä niin suuria riskivaruuksia kuin vaillinaisiin suunnitelmiin tarjouksia laatiessa sisällytettäisiin. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 10–16; Vesterinen 2019, 16.)

Pääurakkamuodon lisäksi erilaisia toteutusmuotoja ovat esimerkiksi erilaiset osaurakkamuodot ja suunnittelua sisältävät urakkamuodot. Kuten pääurakkamuotoisessa, niin myös osaurakkamuotoisessa hankkeessa suunnitteluratkaisut ja ratkaisuiden taloudellisuus vaikuttavat rakennushankkeen kokonaiskustannuksiin merkittävästi. Osaurakkamuotoiselle hankkeelle, esimerkiksi projektinjohtopalvelulle (PJP) ja projektinjohtourakalle (PJU), kustannussäästöjä voivat tuoda esimerkiksi pieniin osaurakoihin mahdollisesti saatavat tarjoukset pieniltä paikallisilta toimijoilta sekä hankkeen kokonaiskeston mahdollinen lyheneminen toisiin toteutusmuotoihin verrattuna. Kokonaiskustannukset tarkentuvat osaurakkamuotoisessa hankkeessa kuitenkin tavallisesti pääurakkamuotoista hanketta myöhemmin urakkatarjousten mahdollisten eriaikaisuuksien vuoksi. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 17.)

Suunnittelua sisältävissä urakkamuodoissa tilaaja ei vastaa hankkeen suunnitelmista. Esimerkiksi suunnittele ja rakenna -urakkamuodossa (SR) suunnittelusta vastaa pääurakoitsija tilaajan laatiman hankesuunnitelman ja asettamien tavoitteiden pohjalta. Siinä, missä kokonaisurakointimuotoisessa hankkeessa urakoitsija vastaa toteutuksen suunnitelmanmukaisuudesta, SR-urakassa urakoitsijan tulee vastata toteutuksen lisäksi myös suunnitteluratkaisusta ja niiden toimivuudesta. Toteutusmuodosta riippumatta hankkeeseen sopiva ja oikein valittu toteutusmuoto auttaa hankkeen kustannusten hallinnassa. Toteutusmuodosta riippuvainen hankkeen organisaatio ja organisointi vaikuttaa niin

rakennuskustannuksiin ja kustannusten hallintaan kuin kustannushallintamenettelyihin ja kustannusten ajoittumiseenkin. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 17, 22.)

Uudisrakentamisessa merkittävin kustannuksiin vaikuttava tekijä on tilaajan tarpeiden mukaan laadittu hankeohjelma. Hankeohjelmassa määritellään rakennettavan rakennuksen tarvittavat tilat ja niiden ominaisuudet: tilojen määrä, laajuudet ja varustelutasot. Vaikka rakentamisen kustannukset konkretisoituvat tavallisesti vasta hankkeen myöhemmissä vaiheissa, jo hankkeen alussa hankeohjelmassa määritellyt laajuudet ja laatuvaatimukset, eli se, *mitä* rakennetaan, määrittävät kustannuksista valtaosan, kuten kuvassa 32 on esitetty. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 20; Kaukinen 2021, 19.)



KUVA 33. Rakennushankkeen kustannusten muodostuminen (muokattu lähteestä Kaukinen 2021, 19)

Hankeohjelman ohella rakennushankkeen aikaiset olosuhteet, eli se, *milloin* rakennetaan ja *minne* rakennetaan, vaikuttavat oleellisesti hankkeen kustannuksiin (kuva 33). Olosuhteisiin voidaan lukea muun muassa rakennusalueen kaavoitus, kiinteistön olosuhteet ja vallitseva markkinatilanne. Kaavoitus ohjaa ja rajoittaa maankäyttöä. Asemakaavaan kuuluvilla alueilla voi olla esimerkiksi reunaehdot rakennuksen sijoittumiselle, muodolle ja korkeudelle sekä julkisivumateriaaleille ja -väriykselle. Kaavassa voidaan tuoda ilmi myös muita kiinteistöä koskevia vaateita ja rasitteita, kuten autopaikkojen lukumääriä tai viereisen kiinteistön haltijan oikeuksia käyttää esimerkiksi rakennettavan kiinteistön alueelle kuuluvaa kulkuväylää. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 20–21.)

Maantieteellinen sijainti, alueen pinnanmuodot ja perustamisolosuhteet voivat aiheuttaa samankaltaisiinkin rakennushankkeisiin ratkaisevia kustannusvaihteluja. Perinteisesti kasvukeskusten välittömästä tuntumasta tai esimerkiksi järvenrannalta ei saa kiinteistöä yhtä edullisesti kuin syrjemässä,

kauempana palveluista ja niin sanotuista vetovoimatekijöistä sijaitsevaa vastaavankokoista maa-alueita. Kiinteistön ostokustannusten lisäksi maantieteellinen sijainti vaikuttaa myös esimerkiksi materiaalien kuljetuskustannuksiin ja työvoiman saatavuuteen. Välimatkojen pidentyessä kuljetuskustannukset- ja ajat kasvavat sekä tarjolla olevan työvoiman määrä voi vähentyä. Toimijoiden kuljetusalueissa on myös huomattavia alueellisia eroja, eikä jokaiseen kohteeseen tarjota kuljetuspalvelua välttämättä lainkaan. Vaikka kasvukeskuksista kauemmas rakentaminen voi aiheuttaa muun muassa kuljetus- ja siirtymämatkojen takia kaupunkirakentamista suurempia kustannuksia, kaupungin keskusta rakentaessa pienet tilat ja viereisten kiinteistöjen läheisyys voi aiheuttaa omanlaisiaan haasteita. Kun rakennuspaikan ympärillä ei ole ylimääräistä tilaa tai sitä on vain niukasti, työmaatoimintojen sijoittaminen hankaloituu, eikä rakennusmateriaaleille voida taata pitkäaikaisia varastotiloja. Rakennuksen sijainti vaikuttaa myös oleellisesti sen perustamiskustannuksiin: jos kantavan maaperän päältä joudutaan poistamaan vain joitain kymmeniä senttimetrejä pintamaata, on perustamiskustannukset arvatenkin täysin eri luokkaa kuin alueella, jossa rakennuksen alle vaaditaan kymmenien metrien pituisia paaluja. Joissain tapauksissa maaperäolosuhteet voivat olla niinkin sopimattomat, että suunniteltua rakennusta ei ole kustannussyistä kannattavaa ajatella rakennettavaksi ollenkaan kyseiselle alueelle. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 21; Geona 2023.)

Rakennushankkeen työkustannukset ovat suoraan verrannollisia työmenekkeihin. Työmenekkeihin vaikuttavat muun muassa työntekijöiden ammattitaito, suunnitteluratkaisut, suoritemäärät sekä työmenetelmät ja -välineet. Lisäksi esimerkiksi rakennuspaikalla, rakennuspaikkaan ja -aikaan liittyvillä olosuhteilla sekä työpaikan ilmapiirillä ja työntekijöiden asennoitumisella on vaikutusta työmenekkeihin. Suunnitteluratkaisuilla voi vaikuttaa huomattavasti työmenekkeihin: suoritemäärien kasvaessa työmenekit yksikköä kohti pienenevät, ja vaativat, monimuotoiset ratkaisut kasvattavat yksikköä kohden tarvittavaa työmenekkiä. Yksinkertaisilla ja selkeillä sekä esivalmisteisilla ja toistuvilla rakenteilla ja suunnitteluratkaisuilla voi lisätä suoritemäärien keskimääräistä kokoa, pienentää työmenekkiä ja sitä kautta myös säästää työkustannuksissa, kun taas runsaat työmaalla toteutettavat yksityiskohtaiset rakenneratkaisut lisäävät työmäärää. (Möttönen 2009, 10; Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 21; Kolari 2021, 19.)

Vallitseva markkinatilanne voi vaikuttaa rakennushankkeen kustannuksiin joko niitä kasvattavasti tai niitä hillitsevästi. Talouden suhdannevaihtelut vaikuttavat rakentamisessa sekä työvoimakustannuksiin ja -saatavuuteen että materiaalien hintoihin ja niiden saatavuuteen. Suhdanteet muuttuvat ja vaihtelevat sekä alueittain että yhteiskunnallisesti. Rakennusteollisuus RT:n pääekonomisti Jouni Vihmo kertoo vuoden 2021 haastattelussaan Suomen rakennusalan kulkevan ääripäiden kautta: lasku- ja noususuhdanteiden aikaiset muutokset rakentamisalalla ovat Suomessa muita Pohjoismaita suurempia. Yksittäistä rakennushanketta toteutettaessa suhdannevaihteluiden vaikutuksia voidaan yrittää hillitä esimerkiksi käyttämällä hankkeessa erilaisia toteutus-, urakka tai sopimusmuotoja. Yleinen kustannustason nousu, epävakaa talousnäkyvät ja niitä seuraava rakentamisen hiipuminen vaikuttaa erityisesti uudisrakentamiseen. Uusien asuntojen kysyntä laskee ihmisten maksukyvyyn laskun myötä. Korjausrakentamiseen suhdannevaihtelut eivät vaikuta yhtä radikaalisti, sillä peruskorjaukset on tehtävä säännöllisesti kansantalouden tilanteista huolimatta, jotta rakennuksiin ei kerry

merkittävää korjausvelkaa. Tästä huolimatta suhdannevaihtelut hidastavat myös korjausrakentamishankkeita kustannusten nousun seurauksena. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 21; Pajala 2021, 3; Rakennusteollisuus RT ry 2021; Valtiovarainministeriö 2022; Valtioneuvosto 2023.)

Paitsi rakennushankkeen ajoittuminen talouden suhdannevaihteluihin, niin myös hankkeen ajoittuminen vuodenaikoihin nähden ja hankkeelle määritetty aikataulu vaikuttavat kokonaiskustannuksiin. Hankkeen aikataulua venyttämällä voi olla mahdollista säästää kustannuksissa, mutta toisaalta pitkittynyt aikataulu voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi rakenteiden säänsuojauksen kannalta. Erittäin tiukaksi mitoitettu aikataulu puolestaan kasvattaa hankkeen kustannuksia selvästi lähes poikkeuksetta, koska niin työvoimaa kuin materiaalihankintoja ja -kilpailutuksiakaan ei pystytä optimoimaan yhtä tehokkaasti kuin väljemmillä aikatauluilla toteutetuissa hankkeissa. (Pihlajamäki 2017, 31.)

Tässä opinnäytetyössä kustannuksia vertaillaan sekä hankkeen kokonaiskustannuksina että yksikköhintoina. Hankkeen kokonaiskustannukset sisältävät kaikki rakennushankkeeseen kuuluvat työ- ja materiaalikustannukset, hankinnan ja työmaatekniikan kustannukset sekä toteutusmuodon mukaan myös yleiskulut, kuten hankekatteen ja riskivaruksen. Yksikköhinnat ilmoitetaan lattianeliömetrejä kohden yksikössä €/m² jakamalla kokonaiskustannukset hankkeen laajuudella. (Kolari 2021, 3.)

4 MANEESIN RAKENNUSHANKE

Kohdetilalla, eli opinnäytetyön tilaajan omistamalla ja hallinnoimalla pohjoissavolaisella pientilalla, on tarkoitus aloittaa hevoskasvatustoimintaa lähivuosina. Tilan tarkoituksena on kasvattaa yhdestä kahteen suomalaista lämminveristä ratsuhevosvarsaa (FWB) vuosittain, kouluttaa nuoret hevoset ja myydä ne. Samanaikainen hevostilaa tulee olemaan 6–10. Urheiluhevosten, eli kilparatsastuksessa käytettävien hevosten, koulutus ja ratsain tapahtuva liikutus vaativat onnistuakseen hyvät olosuhteet, kuten turvallisen ja pitävän pohjan, jolla hevoset pääsevät liikkumaan. Kiihtyneen ilmastonmuutoksen seurauksena lauhtuneet talvet ovat tehneet talviolosuhteista epävakaisia. Säätilan heitellässä pakkas- ja lämpöasteiden välillä maahan ei saada kunnollista pysyvää lumipeitettä, vaan maaperä on hetkittäin jopa vaarallisen liukas. Tällöin paitsi hevosten liikuttaminen ihmisten toimesta, niin myös hevosten omaehtoinen liikkuminen tarhassa, eli ulkoaitauksessa, on lähes mahdotonta. Näin ollen hevosten kunnollinen ja säännöllinen liikunnan turvaaminen Itä-Suomen nykyisessä talvi-ilmastossa ei ole mielekästä eikä turvallista ilman kunnollista katettua ratsastushallia eli maneesia.

Yksityisen henkilön näkökulmasta maneesi suurena ja pitkän jännevälin omaavana hallirakennuksena on massiivinen rakennushanke, jota varten tulee selvittää ja varmistaa hankkeen realiteetit huolellisesti ennen hankkeeseen ryhtymistä. Rakennusmateriaalien kustannusten voimakkaan nousun seurauksena omavaraisesti tuotettujen rakennusmateriaalien käyttö voi tulla kannattavaksi vaatimastaan suuresta työmäärästä huolimatta. Tässä opinnäytetyössä pyrittiinkin selvittämään, kuinka suuren työpanoksen sahatavaran tuottaminen omasta metsästä suureen hallirakennukseen vaatisi, millaisia säilytystiloja sahatavaran säilyttäminen ja kuivaaminen edellyttäisi, ja olisiko oman sahatavaran käyttö ylipäätään edes mahdollista turvallisuusaspektit huomioiden.

Tutkimukseen käytettiin laajasti kirjallisuudesta ja internetistä löytyvää materiaalia, kuten sahatteollisuudesta kertovia teoksia sekä Ympäristöministeriön ja Euroopan Unionin asetuksia rakentamishankkeista ja rakennusmateriaaleista. Lisäksi tietoa kerättiin henkilöhaastatteluilta ja kohdetilavierailuilla sekä rakennusalan yrityksiin sähköpostitse tapahtuneilla yhteydenotoilla. Käytetyt menetelmät muuttivat ja muovaantuivat tutkimuksen aikana sitä mukaa, kun ilmeni uusia ongelmia, joihin tulisi saada vastauksia, tai kun edelliset menetelmät olivat osoittautuneet toimimattomiksi esimerkiksi liian vähäisten vastausten takia.

Koska kohdetilan puusto on hyvin kuusivaltaista, toteutuessaan hanke tullaan toteuttamaan kuusipuuisella sahatavaralla. Tämän takia opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti kuusten ominaisuuksien selvittämiseen: niiden lujuuteen, soveltuvuuteen runko- ja julkisivumateriaaleiksi sekä kuivumisen aiheuttamiin muodonmuutoksiin ja muodonmuutosten estämiseen. Kuusen ominaisuuksia verrattiin myös männyn ominaisuuksiin, jotta voitiin havainnoida eroja puulajien soveltuvuuden välillä ja pohdita, onko mielekästä käyttää rakennusmateriaalina kuusta, jos toinen puulaji olisikin soveltuvampi tilaajan käyttötarkoituksiin.

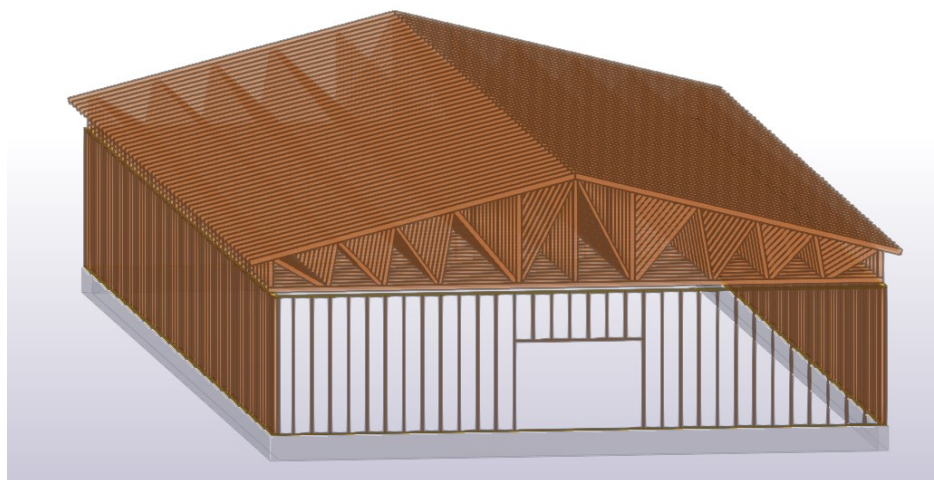
Projektin aikatauluksi asetettiin kesä - syksy 2023, ja tulosten tuli olla valmiit joulukuuhun 2023 mennessä. Aikataulullisiin ja opintojen antamiin pätevyysiin liittyvistä syistä opinnäytetyössä ei mitoitettu tilaajan maneesia, vaan puutavaramenekki arvioitiin jo olemassa olevien maneesirakennusten puutavaramenekkeihin pohjautuen. Tulokset eivät näin ollen ole absoluuttisen yksiselitteisiä,

vaan ennemminkin antavat suuntaa siitä, kuinka suurista työtuntimääristä ja materiaalimenekeistä puhutaan, jos halutaan toteuttaa massiivinen rakennushanke mahdollisimman laajasti omaa puustoa hyödyntäen. Näitä saatuja tuloksia vertailtiin Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla sekä todellisten maneesien rakennuskustannuksiin että Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla laadittujen mallihankkeiden kustannusarvioihin. Kustannusvertailua suoritettiin niin oman työmenekin laskennalliset kustannukset ja kaadetun metsän arvonalenema huomioiden kuin pelkästään materiaalikustannuksia vertaillenkin.

4.1 Lähtötiedot

Täyskokoinen maneesi on kooltaan kouluratsastuksessa käytettävän kilpailuradan suuruinen eli 20 m x 60 m, ja pienin maneesi, jossa hevosen on ergonomista työskennellä, eli toimia ihmisen ratsuna, ja jossa pystytään harjoittelemaan kilpailuissa vaadittavia ratsastusliikkeitä ja -tehtäviä, on noin 18 m x 40 m. Kustannussyistä kohdetilalle ei suunnitella rakennettavaksi täyskokoista maneesia, vaan maneesista tehdään hieman pienempi. Kuitenkin niin, että ratsastusala on vähintään 900 m². Tämä tarkoittaa esimerkiksi 18 m x 50 m tai 20 m x 45 m kokoista maneesia. Kustannuslaskennan tulosten perusteella maneesin pituutta voidaan mahdollisuuksien mukaan lisätä. Maneesin ei rakenneta katsomo- eikä sosiaalitiloja. Maneesin vapaan korkeuden tulee olla vähintään 4,5 metriä.

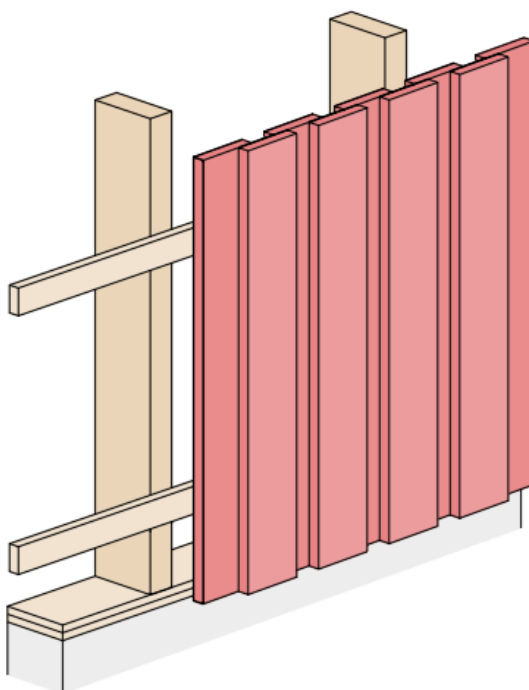
Maneeseja on sekä kylmiä, eristettyjä että lämpimiä. Eristetyt ja lämpimät maneesit ovat eristettyjä rakennuksia, mutta vain lämpimiä maneeseja lämmitetään ulkopuolisella energialla, kuten sähköllä. Kylmissä maneeseissa ei ole lainkaan eristemateriaaleja ulkoseinissä ja yläpohjassa, ja ne ovat lämmittämättömiä. Lämmittämätön tila tarkoittaa tilaa, jota ei tarkoituksellisesti lämmitetä, vaan tilan lämpötila seuraa ulkoilman lämpötilavaihteluita. Kansalliset lämmöneristys- ja energiatehokkuusvaatimukset eivät koske lämmittämättömiä tiloja. (Siikanen 2016, 147, 155.) Maneesin eristäminen lisää rakennuskustannuksia merkittävästi, joten kohdetilalle suunnitellaan rakennettavaksi kylmä maneesi. Seinien k-jako suunnitellaan kuitenkin siten, että maneesin eristäminen on tulevaisuudessa mahdollista tilaajan niin halutessa.



KUVA 34. Kuvaleike Tekla Structures -mallinusohjelmasta: rankarunkoisen hallin periaatteelliset runkorakenteet ilman jäykistäviä rakenteita (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

Maneesin seinät rakennetaan rankarunkoisena ja kattorakenteet ovat NR-ristikoita. Rankarunko on yleisin Suomessa käytetty runkorakenne etenkin pientaloissa. Rankarunkoinen seinä muodostuu yleensä massiivipuista runkotolpista, ala- ja yläsidepuista eli ala- ja yläjuoksuista, ulko- ja sisäverhoilusta sekä mahdollisista eristemateriaaleista. Rankarunkoisen maneesin periaatteellinen runkorakenne näkyy kuvassa 34. Massiivipuulla tarkoitetaan täyspuista materiaalia, kuten tukista sahattua sahatavaraa. Kylmän hallirakennuksen seinärakenteeseen ei kuulu eristeitä, höyrynsulkua eikä sisäverhousta. (Siikanen 2016, 281; Laukkanen 2018, 9.)

Maneesin ulkoverhoiluksi tulee lomalaudoitus. Lomalaudoituksen periaate esitetään kuvassa 35. Verhoilussa voidaan käyttää vajasärmäistä lautaa. Suositeltava laudan paksuus on 21 mm laudan leveyden ollessa 120 mm. Leveyden ollessa 120...150 mm paksuuden tulisi olla 22...25 mm. Yli 150 mm leveiden lautojen olisi hyvä olla 28 mm paksuja. Lomalautaverhoilussa lautojen limitys on noin 20 mm, mikä tulee huomioida laudan leveyttä valitessa. Lomalaudoituksen asennuksessa on tärkeää, että päällimmäistä lautaa kiinnitettäessä naulat eivät lävistä myös alemmaa lautaa, vaan jokainen lauta kiinnitetään erikseen, ja alemmat laudat tulee pintakäsitellä kertaalleen ennen päällimmäisien lautojen kiinnittämistä. Ennen pintakäsittelyä lautojen tulee olla kuivuneita vähintään 15–18 prosenttiin. (Siikanen 2016, 291–292.)



KUVA 35. Lomalaudoituksen periaatekuva (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

Maneesin vesikate tehdään lumien putoamisen helpottumiseksi teräksisestä poimupelistä ja katto- kaltevuuden tulee olla vähintään 1:4. Ikkunapinta-alaa on oltava vähintään 10 % seinäpinta-alasta. Ikkunat voidaan korvata myös esimerkiksi kirkkaalla polykarbonaattilevyllä, joka on huomattavasti – jopa yli kymmenkertaisesti – ikkunoita edullisempaa. Maneesin molempiin päätyihin tulee liukuovet, joista tulee mahtua kulkemaan työkoneilla, kuten traktorilla, eli oviaukkojen koon on oltava noin 3 m x 3 m. (Biltema 2023; Taloon.com 2023.)

Kohdetilan maaperän paksuus, eli kallionpinnan etäisyys maanpinnasta, on 0,1–0,5 metriä ja maanmuodot ovat vaihtelevia ja kumpuilevia. Tontilla ei ole lukuisia paikkoja, joihin pystyisi rakentamaan 900-neliöisen rakennuksen ilman massiivisia maansiirto- ja louhintatöitä, sijainnin yhä ollessa sellainen, että maneesille ei tarvitse perustaa uutta raskaat työkoneet kantavaa tietä, eikä sen käyttäminen tulevaisuudessa lisää työmäärää kohtuuttomasti esimerkiksi lumitöiden ja kuljettavien etäisyyksien takia. Tarvesuunnitteluvaiheen alussa maneesi suunniteltiin asuinrakennuksesta katsottuna pihatie toisella puolella olevalle pienelle peltolohkolle, mutta tarkemmissa mittauksissa selvisi, että pellon tasainen pinta-ala ei ole riittävä halutun kokoiselle maneesille. Näin ollen maneesin paikka suunniteltiin uudestaan. Lopullinen sijainti on asuinrakennuksen ja maantien välisellä pellolla kauempana talosta, pihasta katsottuna talon takana. Talon, piharakennusten ja tulevan maneesin sijainnit kohdetilalla sekä maneesille valittu rakennuspaikka esitetään kuvissa 36 ja 37.

Koska valitulla rakennuspaikalla maaperän paksuus on parhaimmillaankin noin 300 mm, maneesi ajatellaan perustettavaksi esimerkiksi valuharkoilla suoraan kallioon tilan muiden rakennusten tavoin, tarvittaessa kalliota louhimalla ja porrastamalla. Tarkemmat suunnitelmat ja päätökset vaativat kuitenkin pohjatutkimuksia ja pätevän perustustapasuunnitelman muiden rakennusteknisten suunnitelmien ohella. Lisäksi lopullinen runkorakennevalinta vaikuttaa myös mahdollisiin perustusvaihtoehtoihin.



KUVA 36. Talon ja piharakennusten sijainnit. Maneesille valittu rakennuspaikka on merkattu kuvaan valkoisella katkoviivalla. Sinisellä on esitetty kuvan 36 katsontapaikka ja -suunta. (muokattu lähteestä Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Karttatiedot 2023.)

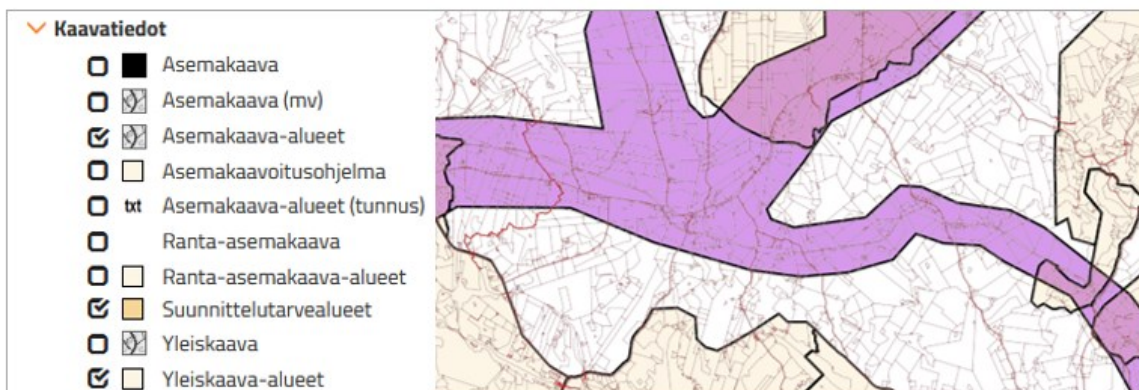


KUVA 37. Maneesille valittu rakennuspaikka asuinrakennuksesta etelään päin katsottuna. Maneesi rakennetaan tien oikealla puolella sijaitsevan pellon vasempaan reunaan. (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA.)

Ratsastusmaneesi voidaan luokitella kuuluvaksi maatalouden varasto- ja tuotantotiloihin. Siellä tapahtuvaan toimintaan liittyy korkeintaan vähäinen tai kohtuullinen palovaara, joten se lasketaan kuuluvaksi palovaarallisuusluokkaan 1. Maatalouden tuotantorakennuksille ei ole asetettu kerrosalarajoituksia, mutta yhden palo-osaston enimmäispinta-ala on 2 000 m² suojaustasoa 1 käytettäessä. Noin 900-neliöisen maneesirakennuksen kohdalla palo-osastoiden enimmäispinta-alarajoitus ei aiheuta toimenpiteitä. Suojaustasoon 1 kuuluvat rakennukset tulee varustaa tavallisella alkusammutuskalustolla, kuten käsisammuttimilla, tai tarvittaessa lisäksi tehostetulla alkusammutuskalustolla. P3-paloluokan tuotantorakennus voi olla vain yksikerroksinen ja sen enimmäiskorkeus on 14 metriä. Rakennuksen henkilömäärää ei ole rajattu. P3-luokassa rakennuksen kantaville rakenteille ei ole asetettu palonkeston erityisvaatimuksia. Tarvittava turvallisuustaso luodaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää rakennuksen käyttötapaan perustuen. Maneesin suunniteltu vapaa korkeus on 4,5–5 metriä. Kattokaltevuudella 1:4 ja leveydellä 20 m maneesin harjakorkeudeksi tulisi 7,0–7,5 metriä. Sallittu enimmäiskorkeus alittuu siis selvästi. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 4–5, 8 §; Verohallinto 2023.)

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) ei aseta vaatimuksia maneesirakennuksen ääneneristävyydelle, eikä niitä esiinny myöskään kohdetilan kaavamääräyksissä, sillä tontti ei kuulu asema- eikä yleiskaava-alueelle (kuva 38). Kuvassa vaaleanruskealla näkyvät alueet kuuluvat yleiskaavaan ja violetilla näkyvät suunnittelutarvealueeseen. Asemakaava-alueita ei kuvan

alueella ole lainkaan. Valkoiset alueet eivät kuulu asema- eivätkä yleiskaava-alueelle. Näin ollen kohdetilalla ei ole myöskään erityisiä rajoituksia rakentamisen, kuten kerrosalan tai rakennuspaikan, suhteen.



KUVA 38. Ote Kuopion kaava-alueista (muokattu lähteestä Kuopion karttapalvelu 2023)

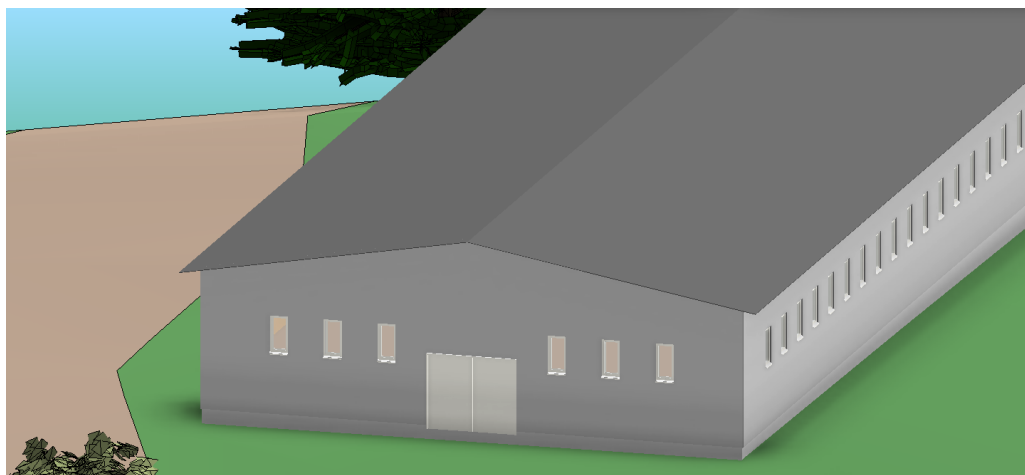
Edellä mainittujen tietojen pohjalta mallinnettiin karkea luonnos tulevasta maneesista. Varsinaiset rakennus- ja rakennesuunnitelmat laaditaan ammattitaitoisten suunnittelijoiden toimesta hankkeen myöhemmissä vaiheissa, kuten myös hankitaan vaadittavat rakennusluvut. AutoDesk®:n Revit®-mallinnusohjelmalla luotua mallia kohdetilasta tulevina maneesineen on esitelty kuvissa 39–42. Maneesi on suuri harmaa rakennus. Hevosten tilat ovat tallissa, eli matalassa punaisessa rakennuksessa maneesista katsottuna viistosti asuinrakennuksen takana.



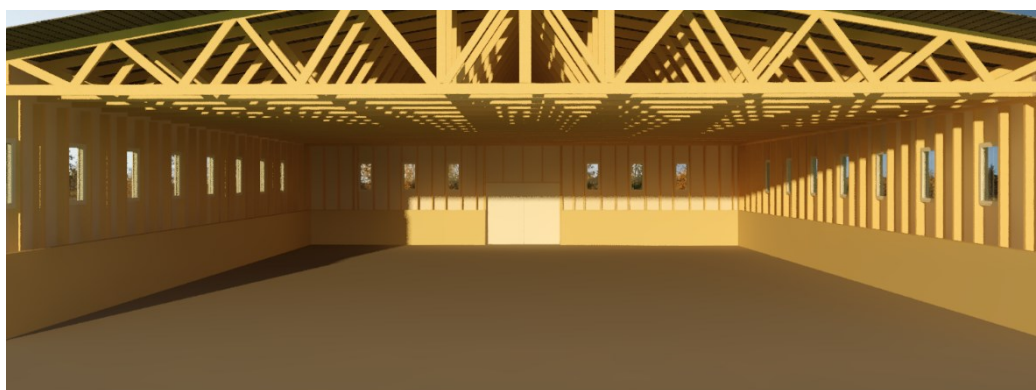
KUVA 39. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila luoteesta päin katsottuna (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)



KUVA 40. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila koillisesta päin katsottuna (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)



KUVA 41. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: maneesin pääsisäänkäynti (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)



KUVA 42. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: luonnos maneesin sisätiloista (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

4.2 Maneesin rakentamiskustannukset

Maneesin kustannusarvio laadittiin hankesuunnitteluvaiheen edellyttämällä tasolla, eli hankkeesta laadittiin mahdollisimman tarkasti suuntaa antava kustannusarvio. Rakennushankkeen kustannukset tarkentuvat rakennus- ja rakennesuunnitelmien valmistumisen jälkeen hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Maneesin rakentamiskustannuksiin sisällytettiin työ- ja materiaalikustannukset sekä hankintakustannukset. Hankevaihtoehdoissa, joissa hyödynnetään omaa työvoimaa, työlle laskettiin ohjeellisilla tuntipalkoilla hinta ja työhön tarvittavat ajalliset resurssit, jotta tuloksista saatiin vertailukelpoisia eri toteutusmuotojen kesken. Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla laadituissa kustannusarvioissa rakennuttamisen ja suunnittelun kustannuksina on käytetty runkoratkaisusta riippumatta kiinteää 20 000 euron summaa.

4.2.1 Teräsrunkoinen maneesi

Suomessa rakennetut maneesit ovat lähtökohtaisesti teräs- tai puurunkoisia. Teräsrunkoisten valmispakettimaneesien hinnat ovat vaihdelleet viime vuosien aikana 200 000 euron paikkeilla ja siitä ylöspäin maneesin varustelun mukaan. Esimerkiksi vuonna 2018 Hämeenkyröön rakennettiin 1200 neliöinen (24 x 50 m) maneesirakennus, jonka rakennuskustannukset olivat kokonaisuudessaan 250 000 euroa. Työstä tehtiin valtaosa omin voimin. Näin ollen maneesin neliökustannukset olivat noin 208 €/m² sisältäen runko- yms. rakenteiden lisäksi perustukset ja ulkopuolista työvoimaa. (Lantmännen 2019; Maaseudun tulevaisuus 2022.)

Opinnäytetyötä varten yritettiin pyytää tarjouksia erilaisista maneeseista lukuisilta eri toimijoilta, mutta vastauksia ei juurikaan saatu. Erään tarjouksen mukaan maneesin teräsrunko olisi arvonlisäverottomalta lattianeliöhinnaltaan 75–80 €/m². Maneesin kokonaiskustannukset ilman työkustannuksia, perustuksia ja ratsastusalueen pohjatäyttöjä olisivat 121–141 €/m². Julkisivujen ja vesikaton materiaali on pelti. 20 m x 50 m suuruisen maneesin kustannuksiksi muodostuisi siis 121 000–141 000 euroa. Tähän summaan tulisi lisäksi maneesin pohjamateriaalien hinta, perustukset ja mahdollinen ostotyövoima. Työmenekit arvioitiin Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla laaditun teräsrunkoisen maneesirakennuksen avulla. Työmenekiksi muodostui noin 1050 tth. (Liitteet 1 ja 2.) Kustannus- ja menekkilaskentaa sisältävät liitteet (liitteet 1–8) ovat sisällöltään luottamuksellisia.



KUVA 43. Teräsrunkoinen maneesi, Kimmon talli, Kuvansi (Ahonen-Väisänen 2011, CC BY-NC-SA)

Ristikkorakenteisen teräshallin lisäksi tarjouksia kysyttiin teräskaarihallista. Kaariratkaisulla ei kuitenkaan olisi suurten lumikuormien takia päästy tarvittavaan leveyteen, eli vähintään 18 metrin jänneväliin, joten kaarihalli ei tule kyseeseen rakennettaessa maneesia Pohjois-Savoon (Kujanpää 2023). Ristikkorakenteisen teräshallin rakenteita näkyy kuvassa 43.

4.2.2 Puurunkoinen maneesi

Vielä sata vuotta sitten 20-metristä sahatavaraa, jonka poikkileikkaus oli 150 mm x 450 mm, oli saatavilla yleisesti. Tänä päivänä jo 5-metristä poikkileikkaukseltaan 75 mm x 225 mm sahatavaraa on niukasti saatavilla, mikä luonnollisesti näkyy myös materiaalin hinnassa. Toisaalta nykyään järeämpiä materiaalivehvuuksia käytettäessä voidaan käyttää perinteisen sahatavaran sijaan esimerkiksi liimapuurakenteita. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus & Rakennustieto Oy 1996, A5/1.)

Puurunkoisia hallirakennuksia voidaan toteuttaa liimapuisella kehärakenteella tai massiivipuisella rankarungolla ja NR-kattoristikoilla. Yli 20–25 metrin jänneväleillä teräs alkaa ottaa paikkaansa kustannustehokkaimpana rakennusmateriaalina, mutta 20 metrin jänneväliin asti perinteinen sahatavararunko on teräksen ja liimapuun lisäksi varsin toimiva vaihtoehto.

Puurunkoratkaisuiden kustannusvertailussa on hyödynnetty Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmaa. Ohjelman avulla on luotu mallihankkeet sekä liima- että massiivipuuisille hallirakennuksille. Massiivipuista rankarunkorakennetta tarkastellaan Ratu-kustannuslaskennan esimerkin lisäksi myös aiemmin toteutetun todellisen maneesihankkeen kustannusten pohjalta.

4.2.2.1 Liimapuurunkoinen maneesi

Liimapuurunkorakenteisen maneesin rakentamiskustannuksia arvioitiin Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla luodun mallihankkeen rakennusosalaskelman perusteella. Maneesin kooksi valittiin tilaajan hankkeen mukainen 900 brm². Kantavat rakenteet valittiin liimapuiksi, vesikate teräspoimulevyksi ja ulkosivuverhoilut laskettiin tehtäväksi seinäpellistä. Maankaivu- ja täyttötöiden menekiksi laskettiin noin 250 m³ tilaajan todellisen rakennushankkeen mukaan. Kustannuksiin sisällytettiin niin materiaali- kuin työkustannukset kuin rakennuttamis- sekä suunnittelukustannuksetkin.

Jno	Talo 2000	Nimi	Määrä	Yksikkö	Materiaalit	Hankinnat	Työt	Tunnit
1		Maatyöt ja alueosat			8 740 €	1 979 €	2 120 €	45 tth
6	111	Pohjarakenteet, rakennuksen maankaivutyöt	250	m3	0 €	489 €	479 €	10 tth
7	111	Pohjarakenteet, rakennuksen sisä- ja ulkopuoliset täytöt, m3rtr	250	m3	8 740 €	1 489 €	1 641 €	35 tth
2		Halli			143 265 €	774 €	39 357 €	741 tth
20	121	Elementtiperustus	130	jm	22 345 €	0 €	2 357 €	43 tth
23	121	Routasuojaus 100 mm, 1 m:n leveydelle, salaoja, sepeli 1 m3/jm	130	jm	7 150 €	774 €	2 122 €	42 tth
40	1236	Teräspoimulevy-yläpohja	1020	m2	25 421 €	0 €	10 393 €	211 tth
44	1241	Metalliverhouk, seinäpelti	700	m2	26 895 €	0 €	12 783 €	209 tth

KUVA 44. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosalaskennasta liimapuurunkoisen maneesin kustannuslaskennasta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

Arvonlisäverottomaksi hinnaksi hankkeelle saatiin noin 240 000 €. Rakennusosapohjainen kustannusarvio muodostui koko hankkeen osalta lähes 270 euron suuruiseksi (alv. 0 %) lattianeliömetriä kohden. Työtunteja hankkeessa oli noin 1 700. Esimerkkikustannuksia hankkeesta näkyy kuvassa 44. Tarkemmat tulokset esitetään liitteessä 3.

4.2.2.2 Riitan talli

Riitan talli on Pohjois-Savossa Pielaveden Vanhapihan tilalla sijaitseva Suomen Ratsastajainliiton hyväksymä ratsastuskoulu, joka tarjoaa perinteisten ratsastustuntien lisäksi myös lääkinällistä kuntoutustoimintaa, esimerkiksi ratsastusterapiaa. Talli järjestää myös ohjattuja maastoratsastustunteja, kesäleirejä sekä ratsastuskilpailuita. Tallin omistavat Riitta ja Matti Niemi. Opinnäytetyötä varten haastateltiin puhelimitse Matti Niemeä. (Riitan talli 2023.)

Riitan tallilla on 25 x 60 m kokoinen ratsastuskentän lisäksi vuonna 2014 rakennettu puurunkoinen maneesi, jonka kokonaispinta-ala on 1 050 m². Tästä osa on katsomo- ja taukotiloja, ratsastusalan ollessa 1 000 m². Maneesi ostettiin valmispakettina pohjoissavolaiselta pienyritykseltä. Maneesi on perustettu kallionvaraisesti, kalliopinta on keskimäärin 700 mm:n syvyydellä maanpinnasta. Maneesin vapaa korkeus on viisi metriä ja kattokaltevuus noin 1:4. Vesikaton katemateriaalina maneesissa on bitumi, ja julkisivuverhoilu on tehty sahatavarasta. Puutavaramenekki maneesihankkeessa oli 50 kilometriä. Tähän menekkiin ei sisälly kattoristikoihin käytetty puutavara. Suureen puutavaramenekkiin vaikuttaa julkisivuverhoilun lisäksi vesikaton katemateriaalivalinta: bitumikatteen alla on umpinainen ponttilaudoitus. Maneesipaketin lattianeliöhinta on esitetty liitteessä 8. Pohja- ja sähkötöitä sekä rakennuksen ulkopuolisia töitä lukuun ottamatta maneesipakettiin sisältyi kaikki materiaalit ja työvoima. Pohjatöillä tarkoitetaan maneesin hiekkapohjan perustamiseen sisältyviä töitä ja kustannuksia. Parhailaan rakennustöissä oli yhtä aikaa kahdeksan rakennusalan ammattilaista. Maneesi nykytilassaan näkyy kuvassa 45. (Niemi 2023.)



KUVA 45. Riitan tallin maneesi helmikuussa 2023 (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

4.2.2.3 Rankarunkoinen maneesi

Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla arvioitiin liimapuurunkoisen maneesin lisäksi myös rankarunkoisen maneesin rakentamiskustannuksia seuraavasti: hankkeen kustannuksiin sisällytettiin rakenne-suunnittelu sekä materiaali- ja työkustannukset. Esimerkkihalli oli 900-neliöinen rankarunkoinen eristämätön maneesi, jonka vesikatteena oli teräspoimukate ja ulkoverhouksena vaakasuuntainen limilauta. Maankaivu- ja täyttötyöt olivat edellisen esimerkin tapaan 250 m³. Seinien jäykisteeeksi valittiin kipsilevy. Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla lasketun rankarunkoisen esimerkkihallin kustannuksia on esitetty kuvassa 46 ja tarkemmin liitteessä 4. Ratu-kustannuslaskenta -ohjelman laskelmien pohjalta massiivipuurunkoiselle maneesille saatiin arvonlisäverottomaksi kokonaishinnaksi noin 220 000 euroa ja hankkeen kustannuksiksi lattianeliöitä kohti 250 €. Työtunteja hankkeeseen sisältyi noin 2 000.

~Jno	Talo 2000	Nimi	Määrä	Yksikkö	Materiaalit	Hankinnat	Työt	Tunnit
1		> Malli B4_1_Rakennuttaminen ja työmaatekniikka			0 €	20 000 €	0 €	0 tth
2		> Malli B4_2_Maarakennustyöt			9 174 €	0 €	1 856 €	60 tth
3		✓ Malli B4_3_Runkorakenteet			124 641 €	0 €	66 909 €	1 922 tth
1	121	> Pilari-palkkiperustus, betoniantura ja pilari k 3000, sokkelipalkki	130	jm	11 391 €	0 €	7 073 €	223 tth
3	1236	> Puurakenteinen yläpohja, kattotuolit, puhallettava puukuituvilla 525 mm	1008	m2	36 569 €	0 €	7 803 €	217 tth
4	1241	> Puurakenteinen ulkoseinä 223 mm, 25 mm tuulensuoja, kipsilevy	755	m2	10 474 €	0 €	12 405 €	347 tth
5	1241	> Ulkoseinän lautaverhouk, vaakasuuntainen limilauta 25 mm	755	m2	11 660 €	0 €	20 448 €	573 tth

KUVA 46. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosapohjaisesta rankarunkoisen maneesin kustannuslaskennasta (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA)

4.2.2.4 Maneesi omasta puutavarasta

Omasta metsästä puutavaran tuottamisessa tulee kustannuksina huomioida ilmeisten kustannusten lisäksi myös metsän ja sitä kautta kiinteistön arvonalenema. Metsän hakkuuarvo on se summa, minkä voisi netota myymällä samat tukkipuut sahateollisuudelle oman rakentamisen sijaan.

Kohdetilan satavuotiaassa metsässä mitattiin silmämääräisesti tukkipuiksi sopivilta näyttäviä kuusia ja ympärysmitoiksi saatiin seuraavia: suurimmat puut olivat 1,5 metrin korkeudelta mitattuna ympärykseltään 170–190 cm ja pienimmät 140 cm (kuva 47). Tätä pienempiä puita ei mitattu, sillä niitä ei tulla vielä kaatamaan. 140 cm ympärysmitaltaan olevan puun halkaisija on 44,5 cm, 170 cm ympäryksen omaavan puun halkaisija on 54 cm ja ympärykseltään 190-senttimetrinen puun halkaisija on 60 cm. Näistä siis jokainen, myös kaikista pienimmät eli ympärykseltään 140-senttimetriset puut, olisivat yleisten määritelmien mukaan uudistamiskypsyydessä. Arvioinnissa tulee myös huomioida, että kohdetilalla puiden ympäryks mitattiin taulukkoarvoja korkeammalta, 1,5 metrin korkeudelta 1,3 metrin sijaan.

Keppimenetelmällä arvioituna kohdetilan tukkipuiden keskimääräiseksi pituudeksi pystyttiin arvioimaan 21 metriä. Jos puun keskihalkaisija olisi 44 cm (140 cm ympäry), 21-metrinen puu olisi kaarnttomalta tilavuudeltaan Timberpolis-internetsivuston laskurilla laskettuna 2,95 m³. 38 senttimetrin keskihalkaisijalla (keskimääräinen ympärysmitta 120 cm) tilavuus olisi 2,2 m³. (Timberpolis 2023.)



KUVA 47. 1,5 metrin korkeudelta mitattuna ympärysmitaltaan 171-senttimetrinen kuusi, eli puun halkaisija on 54,4 cm (Ahonen-Väisänen 2023, CC BY-NC-SA).

Kaavalla 2 laskemalla 1,3 metrin korkeudella läpimitaltaan 44,5-senttimetriselelle kuuselle saadaan tilavuudeksi 1,26 m³, 54-senttimetriselelle 1,68 m³ ja 60-senttimetriselelle 1,95 m³, jos puut ovat 21 metriä pitkiä. Tulosten huomataan poikkeavan toisistaan merkittävästi. Poikkeama selittyy laskukaa-voilla. Koska puiden tarkka pituus eikä latvaläpimitta ei ole tiedossa, tilavuutta ei pysty arvioimaan luotettavasti ennen puun kaatamista. Voidaan kuitenkin ajatella olevan niin sanotusti varmallalla puo- lella, eli puuston tilavuus on ajateltu enemmän ala- kuin yläkanttiin, jos käytetään kohdetilan puiden keskitilavuutena 1,5 m³. Keskimääräisen puun tilavuuden ollessa 1,5 m³ ja sahatavaran saantosuh- teen ollessa 1:2,2, yhden sahatavarakuution tuottamiseen tarvitaan 1,47 puuta. Tätä arvoa käyte- tään myöhemmissä materiaalimenekkilaskelmissa lähtötietona.

Kaadetun puun arvon lisäksi tulee huomioida koneiden ja laitteiden käyttökustannukset sekä niiden arvonalenema. Kohdetilalla tällä hetkellä käytössä olevat traktorit kuluttavat polttoöljyä kevyissä töissä noin 4 l/h. Traktorikaivuri kuluttaa polttoöljyä keskimäärin 8 l/h. Nykyisellä polttoöljyn noin 2,0 €/l hinnalla traktoreiden välittömät käyttökustannukset ovat kevyissä töissä 8 €/h ja traktori- kaivurin 16 €/h. Tähän summaan ei sisälly koneiden muut kustannukset, kuten käyttötuntien lisään- tymisestä johtuva arvonalenema, kuluvat osat tai esimerkiksi moottori- ja hydraulioöljyt. Moottorisaha kuluttaa bensiiniä noin litran tunnissa, eli tämänhetkisen bensiinin hinnan (2 €/l) mukaan laskettuna 2 €/h. Teholtaan 11 kW vannesaha kuluttaa tunnissa yhdentoista kilowatin verran sähköä. Keski- määräisellä sähkön 0,25 euron kilowattihinnalla vannesahan käyttökustannukset ovat 2,20 €/h. (Väi- sänen 2023.) Näihin summiin tulisi lisätä vielä koneiden kulumisen ja huoltokustannukset. Merkittä- vimmat koneiden ja laitteiden kustannukset aiheutuvat vuokrattavista laitteista. Nykyisen hintatason

mukaan esimerkiksi nosturiauton päivävokra liikkuu tuhannen euron molemmin puolin kuljettajineen. Viidenkymmenen kattotuolin kiinnitykseen lienee varattava kolme työpäivää kolmelta-neljältä rakennusmieheltä nosturiauton kuljettajan lisäksi (0,72 tth/kpl). 40 litran polttoaineen tuntikulutuksella ja kolmen työpäivän vuokralla pelkkä nosturiauto polttoaineineen lisää kustannuksia noin 5000 euroa. Laskelmat esitetään liitteessä 5.

Toisaalta, vaikka koneiden ja laitteiden käyttökustannukset sekä metsän arvonalenema kasvattamat rakennushankkeen kustannuksia, omassa sahatavaratuotannossa puusta saatavat sivutuotteet saadaan hyödynnettyä jatkokäyttöön. Sekä sahanpurua että haketta pystytään hyödyntämään hevostiloilla: sahanpuru on imukykyinen ja valoisa materiaali hevosten makuutilojen kuivikkeena ja hakkeella kunnostetut hevosten ulkoilualueiden pohjat eivät kuraannu savimaan kaltaisesti, ja parantavat siten hevosten hyvinvointia muun muassa jalkaterveyden kannalta ajateltuna. Sahanpurua saa ostettua (2023) itse kuormattuna omalla kuljetuksella hintaan 12,90 €/m³ (sis. alv. 0 %) ja haketta noin 31,90 €/m³ (sis. alv. 0 %). 6–10 hevosen hevostilalla kuiviketta kuluu satoja kuutioita vuodessa (kuivikkeesta riippuen noin 50 m³/hevonen/vuosi) ja yhden hehtaarin kokoisen peltomaapohjaisen ulkoilutarhan pohjaan haketta tarvitsee maanparannusaineeksi kymmeniä, ellei jopa satoja kuutioita jo perustamisvaiheessa. Sivutuotteiden arvioitu saanto ja arvo on esitetty liitteessä 8. (Vesiaho 2015; Kojonkulman Hake Oy 2023; Tamminiemen Saha ja Höylä 2023.)

Tilaaajan maneesin rakentamisen puutavaramenekki arvioitiin vertailemalla jo olemassa olevien puurunkoisten maneesirakennusten runkorakenteita. Tässä laskelmassa esitetyt materiaalimenekit ja ainevahvuudet eivät ole todennettuja, eikä niitä voi käyttää todellisen rakentamisen lähtökohtana. (Liite 6.) Osa vertailukohtina käytetyistä maneeseista on vanhempia rakennusmääräyksiä ja -ohjeita noudattavia, eikä niiden vaatimustenmukaisuutta esimerkiksi nykystandardien mukaisesta rakennuksen jäykkyydestä ole varmennettu. Menekit ja materiaalivahvuudet ovat arvioita, joiden pohjalta voidaan havainnoida sahatavaran tuottamiseen vaadittavaa työmäärää ja -kustannuksia sekä vertailla suuntaa antavasti omaa sahatavaraa käyttämällä saatuja mahdollisia säästöjä ostettuun sahatavaraan verrattuna. Todellinen maneesirakennus ja sen kaikki rakenteet liitoksineen ja jäykistyksineen tulee mitoittaa muun muassa Maankäyttö- ja rakennuslakia, Maankäyttö- ja rakennusasetusta sekä Eurocode 0–9 suunnitteluperuste- ja kuormitusstandardeja noudattaen.

Metsän arvonalenema ja työtunnit 20 €/h tuntipalkalla huomioiden omasta metsästä itse sahatusta sahatavarasta rakennetun maneesin kokonaiskustannuksiksi lattianeliometriä kohden saatiin noin 230 € (alv. 0 %). (Liitteet 7–8.) Tässä summassa oli huomioitu sahauksen sivutuotteena saatavien hakkeen, purun ja kuoren arvot. Tarkat tulokset on esitetty liitteessä 8, jossa esitetään myös tarvittavan tukkkipuumäärän laskennallinen arvo, oman sahatavaran arvo ostettuun sahatavaraan verrattuna ja omasta puusta rakennetun maneesin kustannusarvio pelkät materiaalikustannukset huomioiden.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko omasta metsästä sahatavaraa tuottamalla saada aikaan niin merkittäviä taloudellisia säästöjä, että sahatavaran tuottaminen olisi järkevää ja mielekästä itsesahauttamisen mittavat työmenekit sekä tilan- ja ajantarpeet huomioiden. Jos säästöjä syntyisi, mutta ne eivät olisi taloudellisesti merkittäviä, eli vähintään muutamia kymmeniä tuhansia euroja, ei satojen, jopa tuhansien, työtuntien käyttäminen projektiin olisi kannattavaa. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella yksityisen ihmisen näkökulmasta ajateltuna suuren rakennushankkeen realistisuutta muutenkin kuin vain taloudellisesti, ja pohtia hankkeen vaikutuksia ympäröivän luonnon eliöstöön ja biodiversiteettiin sekä esimerkiksi alueen viihtyisyyteen ja rauhallisuuteen.

Hypoteesin mukaisesti kustannusvertailun tuloksista havaittiin oman sahatavaran käyttämisen mahdollistavan huomattavia, kymmenissä tuhansissa euroissa liikkuvia säästöjä materiaalikustannuksissa arvonlisäverottomilla hinnoilla laskettuna. Jos kaadetun metsän arvonalenemaa ja sahauksessa syntyneiden sivutuotteiden arvoa ei huomioida, omaa sahatavaraa käyttämällä saatiin jopa 65 prosentin säästöjä muiden puurunkoisten toteutusratkaisuiden kokonaismateriaalikustannuksiin verrattuna. Koko hankkeen kustannuksista materiaalisäästöt olivat noin 20 % omaa puutavaraa käyttämällä – kaadetun metsän arvonalenemaa huomioimatta.

Koska rakennusmateriaalien hinnat ovat nousseet viime vuosina huomattavasti, toteutunut säästö rakennushankkeen toteutumisen ajanhetkellä voi olla laskennallista arvoa suurempikin: jos puun arvo kasvaa, myös omasta metsästä tuotetulla sahatavaralla voidaan saada aiempia merkittävämpiä säästöjä aikaan. Toisaalta jos materiaalien hinnat nousevat, käytetyn metsän arvonalenema kasvaa, sekä myös muut kuin puutavaran kustannukset lisääntyvät. Yleisen hintatason nousun seurauksena voi olla houkuttelevaa harkita tukkipuun myymistä sahateollisuudelle oman rakentamisen sijaan ja kallistuneet materiaalikustannukset voivat kasvattaa esimerkiksi perustusten ja vesikatteen kustannusarvioita merkittävästi ja näin ollen aiheuttaa epävarmuutta koko hankkeen toteutumiselle. Oman puutavaran käyttö kuitenkin mahdollistaa kokonaiskustannusten paremman ennakkoinnin omavaraisuusasteen kasvaessa ostomateriaaleista rakentamiseen verrattuna.

Vaikka omaa puutavaraa käyttämällä pystyttiin laskelmien mukaan saamaan aikaan merkittäviä säästöjä, omalle työlle työkustannukset laskemalla kokonaiskustannukset nousivat lähelle sekä Ratu-kustannuslaskennan että todellisten kohteiden ja tarjousten hintatasoja. Työmenekit, metsän arvonaleneman ja sahauksessa saatujen sivutuotteiden arvo huomioiden edullisimman ja kalleimmankaan toteutusvaihtoehdon välillä ei ollut kuin noin 16 prosenttiyksikön ero kokonaiskustannuksissa. Pelkästään ostomateriaalien kustannukset, työkustannukset sekä koneiden käyttö- ja vuokrakustannukset huomioiden, eli metsän arvonaleneman vaikutus huomioimatta, edullisimman ja kalleimman vaihtoehdon välinen ero oli noin 21 %. Työkustannukset huomioiden edullisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui oman puun käyttäminen muissa rakenteissa, mutta kattoristikoiden tilaaminen toimitettuna työmaalle. Syy tälle on kattoristikoiden rakentamisen huomattavan suuret työmenekit suhteessa niiden nykyiseen hintaan. Kalleimmiksi vaihtoehdoiksi osoittautuivat liima- ja teräsrunkoiset maneesit, joskaan ero muihin ostomateriaaleilla toteutettuihin ratkaisuihin ei ollut kuin alle 10 %.

Työmenekin ja laskennallisten työkustannusten huomioimatta jättäminen vaikutti tuloksiin radikaalisti, kuten ennalta pystyi arvaamaan. Omalla puulla toteutetun maneesin kokonaiskustannukset ostomateriaalikustannukset, koneiden käyttökustannukset ja metsän arvonaleneman huomioiden, olivat vain 30 % valmismaneesien keskimääräisestä hinnasta. Jos myös metsän arvonalenema jätettiin huomiotta, omalla puulla toteutetun maneesin laskennallisiksi kustannuksiksi jäi ainoastaan alle 24 prosenttia keskimääräisestä valmismaneesin hinnasta.

Kuten huomataan, itse tekemällä voi näennäisesti vaikuttaa rakennushankkeen kustannuksiin hyvin merkittävästi, mutta laskelmia tehdessään on tärkeää laskea arvo myös omalle ajalleen ja pohtia, onko realistista ylipäättään edes suunnitella rakentavansa kaikkea itse. Jo tuhannen tunnin työmenekki vaatisi kuukauden ajan kolmen henkilön päivittäiset 12-tuntiset työpäivät. Koska tällainen työpanos ei ole monessakaan tapauksessa mahdollista, eikä missään tapauksessa työturvallisuuden ja työssä jaksamisen kannalta järkevää, hankkeen rakennusajankohta ja kesto tulee arvioida huolella ennen siihen ryhtymistä. Hanke voi olla monen vuoden projekti, jolloin tulee varautua myös mahdollisiin hankkeen etenemiseen vaikuttaviin riskeihin, kuten muutoksiin omassa työkyvyssä ja elämäntilanteissa: kuinka esimerkiksi sairastuminen tai loukkaantuminen vaikuttaa hankkeen etenemiseen, ja kuinka hanke saadaan vietyä loppuun, jos elämäntilanne muuttuu radikaalisti hankkeen aikana. Hankkeen aikataulua ja siihen liittyviä riskejä tulee arvioida myös lyhyemmällä aikavälillä. Pitkä, mahdollisesti monelle vuodelle ajoittuva hanke tulee suunnitella niin, että äkilliset muutokset työvoimassa eivät vaaranna koko hanketta: omaa työvoimaa käytettäessä hankkeen aikatauluissa tulee olla joustonvaraa, jotta hankkeen kannalta kriittiset vaiheet saadaan vietyä loppuun ennen määräaikoja, kuten esimerkiksi vuodenajan vaihtumista, vaikka käytettävissä olevan työvoiman määrässä tapahtuisi muutoksia.

Koska valmismaneesipakettien ja itse omasta sahatavarasta maneesin rakentamisen kustannusrakenteet osoittautuivat päinvastaisiksi: valmispaketeilla työn osuus kokonaiskustannuksista oli noin kolmannes, kun taas itse tekemällä laskennallinen työn osuus oli kaksi kolmannelta, markkinoiden suhdannevaihtelut vaikuttavat hankkeisiin eri tavoin. Hankkeessa, jossa materiaalikustannusten osuus on suurempi, pienetkin muutokset materiaalien hinnoissa vaikuttavat hankkeen kokonaishintaan luonnollisesti selvemmin. Kahdensadantuhannen euron hankkeessa viiden prosentin materiaalien hintojennousu, jos materiaalien osuus kokonaiskustannuksista on 70 % ja kaikki materiaalit ovat ostomateriaaleja, tarkoittaisi 7 000 euron nousua materiaalihintoihin. Omavaraisemmassa rakentamisessa kustannukset ovat pääosin paremmin ennakoitavissa, kuten jo aiemmin mainittiin. Toisaalta taas merkittävän suuri työvoiman osuus hankkeessa tekee hankkeen kustannukset ailahtelevaisemmiksi talouden suhdannevaihteluissa, sillä suhdannevaihtelut vaikuttavat työvoiman saatavuuteen ja työkustannuksiin. Tähän tulee varautua, jos ajattelee käyttävänsä oman työn lisäksi ostotyövoimaa.

Omasta puusta rakennetun maneesin huomattavan suuren työmenekin lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin oman puutavaran laadullisia ominaisuuksia sekä kohdetilan kangasmetsissä kasvavan kuusipuun soveltuvuutta ja riittävyttä maneesin rakennusmateriaaliksi. Euroopan Unionin direktiiveihin ja Ympäristöministeriön ohjeisiin perustuen todettiin, että omaan käyttöön tuotettavaa sahatavaraa ei kaikissa tapauksissa ole pakollista CE-sertifioida, mutta sahatavaran tulee olla joko koneellisesti tai

visuaalisesti lujuslajiteltua. CE-sertifiointi ja koneellinen lujuslajittelu ei kotiolosuhteissa ole mahdollista, mutta esimerkiksi INSTA 142 -lujuslajittelukurssin näyttökokeineen hyväksytysti suorittanut henkilö pystyy lujuslajittelemaan sahatavaraa visuaalisesti. Vaikka teoriassa oman sahatavaran käyttäminen tilaajan rakennushankkeessa voisi näin ollen olla mahdollista rakennusvalvontaviranomaisen arviosta riippuen, ei tehdasvalmisteisten sahatavarakappaleiden turvallisuutta voi korostaa liikaa. Hyvin todennäköisesti esimerkiksi kattoristikoihin liittyvä suuri työmenekki ja kokemattoman lujuslajittelijan mahdolliset arviointivirheet aiheuttavat sen, että ristikkorakenteet on todellisudessa huomattavasti turvallisempaa ja vaivattomampaa tilata tehtaalta työmaalle itse rakentamisen sijaan. Tällöin rakenteet saadaan työmaalle sovittuna ajankohtana valmiiksi kasattuina, eikä niitä tarvitse rakentamisen lisäksi varastoida ja siirrellä kohdetilalla ennen paikalleen asennusta.

Tutkimuksessa selvitettiin kuusipuisen sahatavaran soveltuvuutta hallirakennuksen runkorakenteiksi ja ulkoverhoilumateriaaliksi. Suomalainen havupuu on ominaisuuksiltaan erinomaista ja soveltunee tilaajan toivomaan käyttötarkoitukseen. Monissa tapauksissa mäntyä käytetään runkorakenteina kuusta enemmän, mutta tästä huolimatta kuusella ei ole merkittäviä lujusteknisiä ominaisuuksia tai heikkouksia, jotka estäisivät sen käytön männyn sijaan. Ulkoverhoilumateriaaliksi kuusi on kosteusteknisen toimivuutensa ansiosta mäntyä soveliaampi.

Niin tukkipuuston riittävyys ja saatavuus kuin ekologiset tekijätkään eivät muodostune ongelmaksi rakennushankkeessa. Puuston määrää arvioitiin perinteisin mittausmenetelmin ja tarvittavasta runkomäärästä laskettiin arvioita erilaisten puun tilavuuslaskureiden avulla. Tarvittavan puumateriaalin tuottamisessa huomioitiin myös erilaisten hakkuutapojen aiheuttamat työmäärälliset ja taloudelliset vaikutukset. Niin sanottu harsintahakkuu osoittautui taloudellisesti ja ekologisesti kannattavimmaksi vaihtoehdoksi, vaikka kasvattaakin työmenekkejä ainakin puita kaadettaessa ja kuljetettaessa runkoja metsästä sahalle. Harsimalla saadaan kuitenkin säilytettyä ikimetsiä elinympäristöinänsä tarvitsevien eliöiden olosuhteet mahdollisimman ennallaan, voidaan osaltaan turvata kestävän kehityksen mukaiset hakkuu- ja rakennustyöt sekä pitkällä aikajänteellä saadaan myös taloudellisia hyötyjä avohakkuuseen verrattuna.

Tutkimuksessa saavutettiin opinnäytetyölle asetetut tavoitteet annetun aikataulun puitteissa. Työn tuloksena saatiin keskenään vertailukelpoiset kustannusarviot eri tavoin toteutetuista maneesiratkaisuista sekä itse omalla puutavaralla rakennetun maneesin kustannusarvio ja työmenekkitiedot. Jos työmenekit ja puun kuivaukseen vaadittava varastotilojen tarve ei muodostu ongelmaksi, oman puun käytön todettiin olevan taloudellisesti kannattava ja toimiva vaihtoehto. Oma sahatavaraa ja työvoimaa käyttämällä voidaan mahdollistaa merkittäviä säästöjä tutkimuksen kohteen kaltaisessa rakennushankkeessa. Kustannusarvion tarkentamiseksi tulisi rakennuspaikalle tehdä pohjatutkimuksia, jonka jälkeen suunnitellun maneesin rakenneratkaisut, kuten perustamistapa, voitaisiin varmistaa ja maneesi pystyttäisiin mitoittamaan. Rakenteiden ja liitosten mitoituksen jälkeen kustannusarvion tarkentaminen olisi mahdollista ja hanke voisi edetä seuraavaan vaiheeseen.

Tässä opinnäytetyössä on noudatettu Savonia-ammattikorkeakoulun opinnäytetyöohjeistusta niin tutkimuseettisen ohjeistuksen, tekijänoikeudellisten seikkojen, lähdekriittisyyden kuin tilaajaosapuolen kanssa solmittavien sopimusten suhteen. Tutkimustuloksissa on huomioitu virhemarginaalit ja

tulosten oikeellisuuteen vaikuttavat tekijät. Työssä merkittävimpiä tulosten luotettavuuteen vaikuttavia seikkoja ovat erilaisten arviointimenetelmien käyttäminen esimerkiksi sahatavaramenekin ja metsän puuston tilavuuden laskemisessa sekä erilaisten lähteiden ja aineistojen, kuten Excel-taulukko-laskentaohjelmalla suoritettujen laskujen, Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla laadittujen kustannusarvioiden ja todellisista rakennuskohteista saatujen kustannustietojen, vertailu toisiinsa. Hankkeiden sisällöissä on mahdollisimman tarkkoista selvityksistä huolimatta eroavaisuuksia, jotka vaikuttavat saatuihin kokonaiskustannuksiin. Tästä syystä laskelmia ja tuloksia voidaankin pitää vain suuntaa antavina, eikä niihin voi perustaa tarkkoja budjetointisuunnitelmia.

6 POHDINTA

Opinnäytetyöni aiheen määritti oman mielenkiintoni lisäksi se, että aihe sopisi sekä rakennusmestarin tutkinto-ohjelmaan että vielä myöhemmin täydennettäväksi viidellä opintopisteellä rakennustekniikan tutkinto-ohjelman opinnäytetyöksi. Niinpä aihe, josta pystyi laatimaan hankesuunnitteluvaiheen suunnitelmia ja kustannusarvioita sekä myöhemmin mahdollisesti mitoittamaan rakenteita, vastasi hyvin opintojeni määrittelemiin opinnäytetyön sisältövaatimuksiin.

Kuten opinnäytetöillä on tapana, tämäkin opinnäytetyö muuttui ja laajeni työn edetessä. Alunperin tarkoitus oli keskittyä enemmän tulevan maneesirakennuksen mitoittamiseen ja saada sitä kautta tarkat sahatavara-, yms. materiaalimenekit selville, mutta työn aikana palattiinkin rakenteiden mitoittamisesta takaisin hankesuunnitteluvaiheeseen. Mitoitukset jätettiin tyystin pois opinnäytetyöstä, ja ne korvattiin esimerkiksi Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmalla tapahtuvalla kustannuslaskennalla. Muutos aiheutti työlle ja sen etenemiselle melkoisesti haasteita, sillä oma mielenkiintoni liittyy nimenomaan mitoittamiseen, ei niinkään tuotannonpuolen suunnitteluun. Jälkeenpäin ajatellen ”muutos oli kuitenkin mahdollisuus”. Muutoksen ansiosta jouduin paneutumaan laskentaohjelmiin ja RT-kortteihin, joita muutoin en olisi tutkinnon suorittamisen aikana käynyt niin perusteellisesti läpi. Omalta mukavuusalueelta poistuessaan joutuu – tai pääsee – opiskelemaan niitä itselle vieraampia osa-alueita, ja perehtymisen jälkeen saattaakin huomata jonkun aiheen tai tietokonesovelluksen olevan ennakkoluuloista huolimatta yllättävän mielenkiintoinen ja monikäyttöinen.

Sisältöön liittyvät haasteet aiheuttivat opinnäytetyön laatimisen aikana myös aikataulullisia ongelmia, joita ilman työn sisältöä olisi voinut hioa pidemmälle, mutta joka tapauksessa ja koen, että työ on tällaisenaankin laadullisesti ja sisällöllisesti kelvollinen. Erityisen tyytyväinen olen työn teoreettiseen viitekehykseen. Viitekehykseen on kerättyä tietoa laajasti eri lähteistä, ja vaikka sisällön rajaaminen meinasikin hetkittäin olla haasteellista, lopputuloksena on hyvin opinnäytetyön tutkimusosiota tukeva teoriaosuus, jota kirjoittaessa itsekkin opin huomattavan paljon uutta niin sahateollisuudesta kuin puusta rakennusmateriaalinakin.

Tutkimuksen aikana olisi voinut keskittyä paremmin myös yleiseen ajanhallintaan. Vaikka työn sisällön muuttuminen vaikutti mielenkiinnon säilymiseen ja ajankäyttöön, myös työvaiheiden priorisoinnissa olisi ollut parantamisen varaa. Tulevaisuudessa vastaavissa projekteissa olisi hyödyllisempää keskittää aika ja energia varsinaiseen tutkimustyöhön ennen yksityiskohtiin paneutumista. Esimerkiksi työn ytimen muodostavat kustannusarviot olisi projektin etenemisen kannalta tärkeämpää laatia ennen kuin keskittyy hiomaan teoreettisen viitekehyksen kuvituksen yksityiskohtia tai harjoittelemaan Revit®-mallinnusohjelmalla renderöintiä, eli hahmontamista, seminaariesityksen visualisointia varten. Hetkittäin heikohkosta etenemisjärjestyksestä ja työvaiheiden priorisoinnista huolimatta työ valmistui suuremmista stresseistä tilaajan aikataulujen mukaisesti.

Opinnäytetyön tutkimustuloksiin olisin kaivannut enemmän tarkkuutta, jota olisi voinut saada esimerkiksi rakenteet mitoittamalla ja siten tarkat puumenekit selvittämällä. Jo rakennettujen maneesien kustannustiedot tai yritysten tarjoukset maneesipaketeista olisivat myös lisänneet opinnäytetyön tutkimustulosten luotettavuutta. Vastauksia ei kuitenkaan saatu enempää, vaikka yhteyttä otettiin yli kymmeneen hallitoimittajaan. Myöskään jo rakennettujen maneesien kustannustietoja ei

saatu selvitettyä opinnäytetyössä mainittua enempää siitä huolimatta, että opinnäytetyön aikana laadittiin Webropol-kysely, joka tavoitti satoja, ellei tuhansia, hevosalan ihmisiä. Näin jälkeenpäin voisi sanoa, että lähtötietojen keräys olisi ollut järkevää aloittaa aiemmin ja yrityksiin olisi voinut olla hanakammin yhteyksissä, jos ensimmäiseen yhteydenottoon ei alkanut kuulua vastausta. Vaikka vastausprosentti jäikin olemattoman pieneksi niin yritysten kuin yksityisten henkilöidenkin osalta, näkisin, että kustannusvertailu pystyttiin toteuttamaan kuitenkin niin, että tilaaja pystyy arvioimaan eri hankevaihtoehtojen kannattavuutta ja vertailemaan niiden hyviä puolia ja ongelmakohtia toisiinsa.

Ennen hankkeeseen ryhtymistä suosittelisin tilaajalle yhteydenottoja rakennusosia tuottaviin ja toimittaviin liikkeisiin, joilta voisi kysyä kustannusarvioita rakenneosista, kuten kattoristikoista tai runkorakenteista, joko pelkkinä kohdetilalle toimitettuina materiaaleina tai valmiiksi paikoilleen asennettuina. Näin saataisiin vielä enemmän vertailukohtia ja voitaisiin miettiä, mitä rakenneosia ja materiaaleja olisi kannattavaa tilata valmiina, ja olisiko joitain rakenteita mielekkäämpää tilata kokonaan ulkopuoliselta urakoitsijalta oman työpanoksen käyttämisen sijaan.

Koko projektin ajan yhteydenpito sekä tilaajan että ohjaavan opettajan kanssa oli vaivatonta ja viiveetöntä. Työn aihe ja sisältö mahdollistivat hienoisen joustonvaran käytettävien menetelmien suhteen, jolloin matalat vastausprosentit eivät aiheuttaneet kohtuuttoman suuria haasteita tutkimuksen etenemiselle, ja tarvittavat menetelmämuutokset saatiin mietittyä ja sovittua opinnäytetyöhön osallistuneiden henkilöiden kesken nopeasti tarpeiden ilmaantumisen jälkeen. Erityisen suuressa roolissa opinnäytetyön onnistumisen ja tekemisen mielekkyyden kannalta olivat tilaajan ja ohjaajan lisäksi sekä onnistuneet henkilöhaastattelut, joiden avulla saatiin kerättyä tärkeää lähtötietoa niin rakennuskustannuksista kuin koneiden käyttökustannuksista. Onnistunut aihevalinta ja yhteistyö tilaajan kanssa sekä ammattitaitoinen ohjaava opettaja, joka neuvoi pitkäjänteisesti opinnäytetyöprosessin aikana esiintyneissä haasteissa - olivatpa ne sisällöllisiä, aikataulullisia tai rakennusteknisiin toteutuksiin liittyviä - mahdollistivat projektin onnistumisen kokonaisuutena hyvin. Koen opinnäytetyön vastaavan tilaajan toiveisiin ja tarpeisiin vähintäänkin ennako-odotusten vaatimalla tasolla, ja projektin olleen kokonaisuudessaan ehdottoman positiivinen ja opettavainen opiskelukokemus ajoittaisista haasteista huolimatta.

LÄHTEET

Ahonen-Väisänen, Henna 2011. Teräsrunkoinen maneesi, Kimmon talli, Kuvansi. Valokuva 20.3.2011. Kuvansi: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2022. Kevyen rangan siirtämistä hevosella. Valokuva 12.11.2022. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. 1,5 metrin korkeudelta mitattuna ympärysmitaltaan 171-senttimetrinen kuusi, eli puun halkaisija on 54,4 cm. Valokuva 25.10.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Hömötiainen *Poecile montanus* luonnollisessa elinympäristössään. Valokuva 10.3.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Keppimenetelmän mukaan puun pituutta arvioitaessa ihmisen etäisyys puusta vastaa puun pituutta. Valokuva 25.10.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Keppimenetelmän suoritusperiaate. Valokuva 25.10.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kohdetilan metsää nykytilassaan. Valokuva 25.10.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosapohjaisesta liimapuurunkoisen maneesin kustannuslaskennasta. Kuvaleike 18.10.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Ratu-kustannuslaskenta -ohjelmasta: ote rakennusosapohjaisesta rankarunkoisen maneesin kustannuslaskennasta. Kuvaleike 18.10.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila koillisesta päin katsottuna. Kuvaleike 17.11.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: kohdetila luoteesta päin katsottuna. Kuvaleike 3.11.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: luonnos maneesin sisätiloista. Kuvaleike 17.11.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Revit®-mallinnusohjelmasta: maneesin pääsisäänkäynti. Kuvaleike 3.11.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Kuvaleike Tekla Structures -mallinnusohjelmasta: rankarunkoisen hallin periaatteelliset runkorakenteet ilman jäykistäviä rakenteita. Kuvaleike 10.10.2023.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Lomalaudoituksen periaatekuva. Valokuva 6.10.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Maneesille valittu rakennuspaikka asuinrakennuksesta etelään päin katsottuna. Maneesi rakennetaan tien oikealla puolella sijaitsevan pellon vasempaan reunaan. Valokuva 13.8.2023. Kuopio: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Ahonen-Väisänen, Henna 2023. Riitan tallin maneesi helmikuussa 2023. Valokuva 12.2.2023. Piela-
vesi: Henna Ahonen-Väisänen kokoelmat.

Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies Karttatiedot 2023. Verkkopalvelu.

<https://www.google.fi/maps/>. Viitattu 2.11.2023.

Biltema Suomi Oy. Polykarbonaattilevy 1200 x 800 mm. Verkkojulkaisu. Biltema.fi, Biltema Suomi Oy. Päivitetty 2023. <https://www.biltema.fi/rakentaminen/muovilevyt/polykarbonaatti/polykarbonaattilevy-1200-x-800-mm-2000043868>. Viitattu 9.11.2023.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Puukappaleen suhteellisuus-, elastisuus- ja murtoraja sekä lujuus. Valokuva. Helsinki: Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Puukappaleen syiden suunta ja syiden vastaiset suunnat. Valokuva. Helsinki: Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Sahatavarakappaleet taapeliksi pinottuna. Valokuva. Helsinki: Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Taapelin aloittaminen. Valokuva. Helsinki: Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet.

Etelä, Raimo, Haapala, Antti, Kiilunen, Risto, Laitinen, Esko, Luostarinen, Katri, Möttönen, Jarno & Voutilainen, Matti 2018. Valmis taapeli, joka on suojattu katoksella ja kevytpeitteellä. Valokuva. Helsinki: Metsästä tuotteeksi. Puualan perusteet.

Geona 2023. Maaperätutkimus. Verkkojulkaisu. Geona.fi, Geona. Päivitetty 2023.

<https://geona.fi/maaperatutkimus/usein-kysytyt-kysymykset>. Viitattu 22.11.2023.

Hanski, Ilkka 2006. Täsmäsuojelun mahdollisuus – vai mahdottomuus? Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonon (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 200–205.

Hanski, Ilkka 2006. Uhanalaisten lajien esiintyminen avainbiotooppien edustamissa elinympäristöissä. Valokuva. Helsinki: Uusi metsäkirja.

- Hilli, A. 2017. Korjuuajankohdan merkitys hakkeen kosteuspitoisuuteen ja kuivauksen sähkönkulutukseen. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 40. Hakupäivä 19.10.2023. <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2017111350629>.
- Ilmatieteenlaitos 2023. Kasvukausi 2023. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvukausi-2023>. Viitattu 12.9.2023.
- Jalonen, Riina 2006. Kestävyyden eri osa-alueiden suhteiden kuvaamistapoja. Valokuva. Helsinki: Uusi metsäkirja.
- Jalonen, Riina 2006. Kestävyyden keskeisin osa-alue? Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 43.
- Jalonen, Riina, Hanski, Ilkka, Kuuluvainen, Timo, Nikinmaa, Eero, Pelkonen, Paavo, Puttonen, Pasi, Raitio, Kaisa & Tahvonen, Olli 2006. Uusi metsäkirja. Tampere: Oy Yliopistokustannus.
- Jalonen, Riina & Pelkonen, Paavo 2006. Suomen metsät ja kestävä kehitys. Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 24–33.
- Jantunen, Jorma & Pihlajamaa, Tuula 1995. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. Pdf-tiedosto. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443346/vtselostus70.pdf>. Viitattu 3.10.2023.
- Kaukinen, Heidi 2021. Hankeosalaskenta infrahankkeissa. Edellytyksiä hankeosalaskentasovelluksen toteuttamiseen. Diplomityö. Geotekniikan maisteriohjelma. Aalto-yliopisto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-879-3>. Viitattu 22.11.2023.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Jakosahaus. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Pelkkasahaus. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Pyörösahauksen toimintaperiaate. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Sahausprosessi tukista sahatavaksi. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 83–105.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Sahaustavat vasemmalta oikealle: läpisahaus, tähtisahaus ja ympärisahaus. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Kauppinen, Tuomo & Ropilo, Juha 2017. Vannesahauksen toimintaperiaate. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Kenola, Pasi 2017. Sahatavaran laadutusjärjestelmät. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 172–176.
- Koivuporras, Kirsi julkaisuaika tuntematon. Ammatillinen järjestäytyminen Tampereella vuosisadan vaihteesta vuoteen 1917. Verkkojulkaisu. <https://webpages.tuni.fi/koskivoimaa/tyo/1900-18/ay-liike.html>. Viitattu 30.10.2023.

- Kojonkulman Hake Oy 2023. Hinnasto. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2023. Hake.fi, Kojonkulman Hake Oy. <https://www.hake.fi/wp/hinnasto/>. Viitattu 2.11.2023.
- Kolari, Antti 2021. Urakkatarjouslaskenta. Rakentamistalous 3 (verkkokurssi). Savonia yleinen. Moodle-oppimisympäristö. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://moodle.savonia.fi/course/view.php?id=16496#section-0>. Viitattu 22.11.2023.
- Kolari, Antti 2021. Yksikköhintaluettelo. Rakentamistalous 3 (verkkokurssi). Savonia yleinen. Moodle-oppimisympäristö. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://moodle.savonia.fi/course/view.php?id=16496#section-0>. Viitattu 22.11.2023.
- Korhonen, Kimmo 2015. Tukin pyörittäjä- ja keskityslaitteiston investointi sekä pyöritystulosten analysoiminen. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504295512>. Viitattu 12.9.2023.
- Kuisma, Markku 2017. Sahateollisuus modernin Suomen synnyssä. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Sahateollisuus. Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 13–17.
- Kujanpää, Jere 2023. Toimitusjohtaja. Kaarirakenne Oy. Maneesin kustannusarvio. Yksityinen sähköpostiviesti 30.8.2023. Viestin saaja: Henna Ahonen-Väisänen.
- Kuopion karttapalvelu. Verkkopalvelu. <https://kartta.kuopio.fi/>. Viitattu 13.10.2023.
- Kuuluvainen, Timo & Nikinmaa, Eero 2006. Metsän rakenteen monet merkitykset. Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 225–228.
- Laine, Jaana, Pihkala, Erkki & Rytteri, Teijo 2006. Metsäsektorin yhteiskuntavastuun kehitys. Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 107–111.
- Luonnonvarakeskus 2021. Euroopan metsät 2020 -raportti julkaistu – metsien pinta-ala ja puuston määrä ovat kasvaneet edelleen. Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.5.2021. Luke.fi, Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/euroopan-metsat-2020-raportti-julkaistu-metsien-pintaala-ja-puuston-maara-ovat-kasvaneet-edelleen>. Viitattu 16.8.2023.
- Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131087>. Viitattu 4.10.2023.
- Lampila, Jouko 2020. Istutetaan puu – tai useampikin. Verkkojulkaisu. Päivitetty 17.2.2020. Energia-talous.fi, Energiatalous. <https://www.energiatalous.fi/?p=2568>. Viitattu 30.10.2023.
- Laukkanen, Otto 2018. Puiset runkorakenteet pientaloissa. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804195022>. Viitattu 31.10.2023.
- Leikola, Matti 1989. Kirjojen ja tutkimusten metsä. Helsinki: Helsingin yliopiston metsäkirjasto & Suomen Metsätieteellinen Seura.

Leppänen, Tapani 2017. Rimoitus. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 127–129.

Leppänen, Tapani 2017. Puun erisuuntaisten kutistumien suuruudet puun kuivuessa. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.

Liljeroos, Hannu 2021. Metsäsijoittajan kirja. Helsinki: Tapio Palvelut Oy.

Liljeroos, Hannu 2021. Summa-arvon kehittyminen puun kasvaessa. Valokuva. Helsinki: Metsäsijoittajan kirja.

Luonnonperintösäätiö 2019. Ikimetsä on ilmastoteko. Verkkojulkaisu. Päivitetty 23.1.2019. Luonnonperintösäätiö.fi, Luonnonperintösäätiö. <https://luonnonperintosaatio.fi/ikimetsa-on-ilmastoteko/>. Viitattu 14.10.2023.

Luonnonvarakeskus 2022. Suomen metsissä on puuta 2,5 miljardia kuutiometriä – neljännes siitä löytyy soilta. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.11.2022. Luke.fi, Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/suomen-metsissa-on-puuta-25-miljardia-kuutiometria-neljannes-siita-loytyy-soilta>. Viitattu 12.9.2023.

Luontoportti 2023. Hömötiainen, Poecile montanus. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2023. Luontoportti.com, Luontoportti. <https://luontoportti.com/t/677/homotiainen>. Viitattu 14.10.2023.

Lantmännen 2019. Maneesi mittojen mukaan. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2019. <https://www.lantmannagro.fi/ajankohtaista/2019/maneesi-mittojen-mukaan/>. Viitattu 7.10.2023.

Maanmittauslaitos. Yksittäisen puun tilavuuden ja arvon määrittäminen. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2019. Maanmittauslaitos.fi, Maanmittauslaitos. <https://ak.maanmittauslaitos.fi/2019/metsatalous/yksittaisen-puun-tilavuuden-ja-arvon-maarittaminen>. Viitattu 2.11.2023.

Merivuori, Kai 2017. Suomen sahateollisuus 2000-luvulla ja sen merkitys kansantaloudessa. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 18–36.

Metsäkeskus 2022. Metsiä uudistetaan liian aikaisin. Verkkojulkaisu. Päivitetty 27.10.2022. Metsäkeskus.fi, Metsäkeskus. <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/metsia-uudistetaan-liian-aikaisin-0>. Viitattu 17.9.2023.

Metsäkuutio julkaisuaika tuntematon. Puun kaataminen – miten puu kaadetaan oikein? Verkkojulkaisu. <https://metsakuutio.fi/puunkaato/puun-kaataminen-miten-puu-kaadetaan-oikein/>. Viitattu 4.10.2023.

Metsälaki 1093/1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093>. Viitattu 17.9.2023.

Metsäteho Oy. Korjuun suunnittelu ja toteutus -opas. Julkaistu 2005. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuun-suunnittelu_ja_toteutus_ver02.pdf. Viitattu 9.11.2023.

Metsäteho Oy. Sahapuurunkojen apteeraus -opas. Pdf-tiedosto. Julkaistu 1998. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Opas_sahapuurunkojen-apteeraus-1989-compressed.pdf. Viitattu 26.10.2023.

- Miettinen, Juha 2017. Sahatavaran lajittelu kuivauksen jälkeen, tasaamo. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 148–153.
- Möttönen, Hannu 2009. Korjauskohteen työmenekkien seurantatutkimus. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Kajaanin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004086203>. Viitattu 22.11.2023.
- Niemi, Matti 2023. Yrittäjä. Riitan talli. Haastattelu. 3.10.2023.
- Pajala, Kati 2021. Korjausrakentamisen rakennussuunnittelun kulku. Opinnäytetyö. Rakennusarkkitehdin koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021060313760>. Viitattu 22.11.2023.
- Pajuoja, Heikki & Räsänen, Tapio 2017. Sahateollisuuden puuraaka-aine. Puun hankinta. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 37–57.
- Pajuoja, Heikki & Räsänen, Tapio 2017. Puunhankinnan suunnittelun elementit ja tasot. Valokuva. Lahti: Sahateollisuus.
- Parviainen, Tuomo 2010. Ote INSTA 142:n mukaisesta tiivistetystä lujuuslajitteluohjeesta. Valokuva. Kouvola: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Pihlajamäki, Jussi 2017. Kustannusvaikutukset aluerakentamisen kaavavaiheessa. Diplomityö. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201704186176>. Viitattu 22.11.2023.
- Pitkänen, Mikko 2017. Kuivausmenetelmät ja kuivaamotyypit. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 131–143.
- Pro Puu -yhdistys julkaisuaika tuntematon. Rakenneviat. Verkkojulkaisu. Puuproffa.fi, Pro Puu -yhdistys. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kerrokset/rakenneviat/>. Viitattu 2.11.2023.
- Puuinfo 2020. Eri halkaisutapojen vaikutus puun kuivumiskäyttäytymiseen. Valokuva. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. Viitattu 25.9.2023.
- Puuinfo 2020. Kosteustekniset ominaisuudet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.7.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. Viitattu 25.9.2023.
- Puuinfo 2020. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Verkkojulkaisu. Päivitetty 25.6.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>. Viitattu 3.10.2023.
- Puuinfo 2020. Mänty ja kuusi. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.7.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/manty-ja-kuusi/>. Viitattu 9.10.2023.
- Puuinfo 2020. Paloteknisiä ominaisuuksia. Verkkojulkaisu. Päivitetty 25.6.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/paloteknisia-ominaisuuksia/>. Viitattu 8.10.2023.

Puuinfo 2020. Pohjoismaisen kuusen ja männyn ominaisuuksista ja eduista. Verkkojulkaisu. Päivitetty 25.6.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/pohjoismaisen-kuusen-ja-mannyn-ominaisuuksista-ja-eduista/>. Viitattu 9.10.2023.

Puuinfo 2020. Puun soluonteloiden vapaan veden poistuminen ja kyllästymispisteen saavuttaminen. Valokuva. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. Viitattu 25.9.2023.

Puuinfo 2020. Sahatavaran laatulajittelu. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.7.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-laatu/>. Viitattu 23.9.2023.

Puuinfo 2020. Sahatavaran lujuuslajittelu ja CE-merkintä. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.7.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-lujuuslajittelu-2/>. Viitattu 2.10.2023.

Puuinfo 2020. Sahatavaran mitat ja mittapoikkeamat. Verkkojulkaisu. Päivitetty 15.7.2020. Puuinfo.fi, Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/mitat-ja-mittapoikkeamat/>. Viitattu 6.10.2023.

Puuinfo 2020. Sahatavaran oksatyyppejä ja laatuviikoja. Valokuva. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-laatu/>. Viitattu 6.10.2023.

Puuinfo 2020. Soluseinämiin sitoutuneen veden vähenemisen aiheuttama kutistuma. Valokuva. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. Viitattu 25.9.2023.

Puuteollisuus Ry 2023. Puuteollisuuden puunkäyttö ja tuotanto. Verkkojulkaisu. Päivitetty 6.6.2023. Puuteollisuus.fi, Puuteollisuus Ry. <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puunkaytto-ja-tuotanto>. Viitattu 21.10.2023.

Rakennusteollisuus RT ry 2021. Rakentamisen suhdanne vaihtoi vauhdilla suuntaa. Verkkojulkaisu. Rt.fi, Rakennusteollisuus RT ry. Päivitetty 12.10.2021. <https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2021/rakentamisen-suhdanne-vaihtoi-vauhdilla-suuntaa/>. Viitattu 22.11.2023.

Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta 2018. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 17.10.2023.

Ratu Rakennustöiden menekit 2020. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 30.10.2023.

Riitan talli 2023. Etusivu. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2023. Riitantalli.sporttisaitti.com, Riitan talli. <https://riitantalli.sporttisaitti.com/>. Viitattu 23.10.2023.

RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Tilaajan ohje 2016. Valokuva. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.9.2023.

RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Tilaajan ohje 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.9.2023.

RT 10-11225 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut. Tilaajan ohje 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.9.2023.

RT 10-11226 Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Tilaajan ohje 2016. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa. Valokuva. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.9.2023.

RT 10-11226 Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Tilaajan ohje 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.9.2023.

RT 21-11288 Puutavara. Sahattu ja höylätty. Tilaajan ohje 2017. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 14.10.2023.

Rudus Oy julkaisuaika tuntematon. Sepelit. Verkkajulkaisu. Rudus.fi, Rudus Oy. <https://www.rudus.fi/tuotteet/kiviainekset/sepelit>. Viitattu 9.11.2023.

Sahateollisuus julkaisuaika tuntematon. Toimiala. Verkkajulkaisu. Sahateollisuus.com, Sahateollisuus. <https://sahateollisuus.com/toimiala/>. Viitattu 20.10.2023.

Sangi, Eero 2014. Rintamamiestalon perusparannussuunnittelu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201404084052>. Viitattu 30.10.2023.

Sepänmaa, Yrjö 2006. Millainen metsä on kaunis? Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 241–246.

Siikanen, Unto 2016. Puurakentaminen. 2., uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, Unto 2016. Puunrungon poikkileikkaus. Valokuva. Helsinki: Puurakentaminen.

Siikanen, Unto 2016. Sahatavarakappaleen osia. Valokuva. Helsinki: Puurakentaminen.

Sipi, Markku 2022. Jatkuva kasvatus tuottaa rahaa enemmän kuin avohakkuu – katso metsäsijoittajan laskelma. Verkkajulkaisu. Päivitetty 7.7.2022. Yle.fi, YLE Luonto. <https://yle.fi/aihe/a/20-10002970>. Viitattu 1.11.2023.

SIT 24-610010 Puun rakenne ja sahaus. Tilaajan ohje 2005. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 4.10.2023.

Skyttä, Valtteri 2020. Minkä arvoinen on suuri tukkipuu? Metsälehti-verkkolehti 2.12.2020. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/minka-arvoinen-on-suuri-tukkipuu/#bac9f518>. Viitattu 12.9.2023.

- Suomen metsäkeskus 2023. INSTA-142 -visuaalisen lujuuslajittelun kurssi. Esite. https://www.lyyti.fi/reg/INSTA142visuaalisen_lujuuslajittelun_kurssi_0189. Viitattu 7.10.2023.
- Suomen Metsäyhdistys julkaisuaika tuntematon. Leimikko (stand marked for harvesting). Verkkojulkaisu. Forest.fi, Suomen Metsäyhdistys. <https://forest.fi/fi/sanasto/leimikko-stand-marked-for-harvesting/>. Viitattu 25.10.2023.
- Suomen Metsäyhdistys julkaisuaika tuntematon. Poimintahakkuu (selection cutting). Verkkojulkaisu. Forest.fi, Suomen Metsäyhdistys. <https://forest.fi/fi/sanasto/poimintahakkuu-selection-cutting/>. Viitattu 1.11.2023.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). Käsitteet. Hiilidioksidiekvivalentti. Julkaisuaika tuntematon. Helsinki: Tilastokeskus <https://www.stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>. Viitattu 11.10.2023.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). Tilastotieto. Julkaisut. Rakennuskustannusindeksi. Rakennuskustannusindeksin pitkän aikavälin kehitys 2000M01-2022M06. Julkaistu 15.7.2022. Helsinki: Tilastokeskus <https://www.stat.fi/julkaisu/ckhk88p7k3g0l0a567b3jvmg9>. Viitattu 21.10.2023.
- Susi, Kati 2022. 400 000 euron investointi tehtiin omarahoituksella – Kangasalan Sahalahdella tree-niolosuhteet nyt kuin Saksassa. Maaseudun tulevaisuus 9.10.2022. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/hevoset/371f1b7e-d6c9-47a9-8993-8a1ca6a3d4d5>. Viitattu 24.10.2023.
- Tahvonen, Olli 2006. Puuntuotannollinen vai taloudellinen kestävyys? Teoksessa Riina Jalonen, Ilkka Hanski, Timo Kuuluvainen, Eero Nikinmaa, Paavo Pelkonen, Pasi Puttonen, Kaisa Raitio & Olli Tahvonen (toim.). Tampere: Oy Yliopistokustannus, 45–53.
- Taloon.com, BHG Group 2023. Ikkuna Pihla Varma 2+1 lasia. Verkkojulkaisu. Taloon.com, BHG Group. Päivitetty 2023. <https://www.taloon.com/ikkuna-pihla-varma-2-1-lasia>. Viitattu 9.11.2023.
- Tamminiemen Saha ja Höylä 2023. Sahanpuru ja kutterinpuru. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2023. Tamminiemi.com, Tamminiemen Saha ja Höylä. <https://www.tamminiemi.com/purut/>. Viitattu 2.11.2023.
- Tiihonen, Marita 2016. Entisajan savottataidot kiinnostavat kolmekymppisiä naisia. Verkkojulkaisu. Päivitetty 7.3.2016. Savonsanomat.fi, Savon Sanomat. <https://www.savonsanomat.fi/paikalliset/3054798>. Viitattu 30.10.2023.
- Timberpolis, Drevari 2023. Tukin tilavuuden laskuri. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2023. Timberpolis.fi, Drevari.sk s.r.o. <https://www.timberpolis.fi/calc-roundwood-volume.php?logscale=huber#goToPage>. Viitattu 27.10.2023.
- Toratti, Tomi 2020. Puurakentamisen tuotestandardit ja CE-merkintä. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2020. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/48_Puurakentamisen-tuotestandardit-ja-CE-merkint%C3%A4.pdf. Viitattu 26.10.2023.
- Torniainen, Petteri 2017. Sahatavaran laatulajittelu ja lujuuslajittelu. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 179–197.

Turun Kansallinen Kirjakauppa Oy 2023. Pohjoismainen sahatavara – Nordic Timber – Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet -laatulajitteluohjeen uusin painos vuodelta 2016, eli niin sanottu Harmaa kirja. Valokuva. <https://kansallinen.fi/tuote/pohjoismainen-sahatavara-manty-ja-kuusisahatavaran-lajitteluohjeetsahatavarakappaleen-neljan-sivun-arvosteluun-perustuva-mann/>. Viitattu 26.10.2023.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) 2014. Kaikkia rakennustuotteita ei ole pakko CE-merkitä. Verkkajulkaisu. Päivitetty 13.2.2014. Tukes.fi, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <https://tukes.fi/-/kaikkia-rakennustuotteita-ei-ole-pakko-ce-merki-1>. Viitattu 29.10.2023.

UPM Metsä julkaisuaika tuntematon. Puun kaataminen. Verkkajulkaisu. Upmmetsä.fi, UPM Metsä. <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/tietoartikkelit/puun-kaato/>. Viitattu 4.10.2023.

UPM Metsä 2023. Kuusitukin keskimääräinen kuutiohinta Savo-Karjalassa 43/2023. Pylväsdiagrammit vasemmalta lukien: uudistushakkuu, harvennushakkuu, ensiharvennus. Valokuva. <https://www.upmmetsa.fi/puukauppa-kanssamme/ajankohtaista-puumarkkinoilla/>. Viitattu 2.11.2023.

UPM Metsä 2023. Mikä on puun hinta tänään? Verkkajulkaisu. Upmmetsä.fi, UPM Metsä. Päivitetty 2023. <https://www.upmmetsa.fi/puukauppa-kanssamme/ajankohtaista-puumarkkinoilla/>. Viitattu 25.10.2023.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus & Rakennustieto Oy 1996. Step 1. Puurakenteet – suunnittelupe-
rusteet – materiaaliominaisuudet – rakenneosat – liitokset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Valtioneuvosto julkaisuaika tuntematon. Hanke- ja ehdotussuunnittelusta investointipäätökseen. Verkkajulkaisu. <https://tilatjaterveys.fi/toimintamalli/rakentaminen-ja-korjaaminen/rakennushankkeen-vaiheet/hanke-ja-ehdotussuunnittelu>. Viitattu 22.9.2023.

Valtioneuvosto julkaisuaika tuntematon. Tarveselvitys rakentamisen perusteena. Verkkajulkaisu. <https://tilatjaterveys.fi/toimintamalli/rakentaminen-ja-korjaaminen/rakennushankkeen-vaiheet/tarveselvitys>. Viitattu 22.9.2023.

Valtioneuvosto 2023. Rakennusalan suhdannekatsaus. Asuntorakentamisen vähentyneet aloitukset synkistävät alan näkymiä. Verkkajulkaisu. Päivitetty 30.8.2023. <https://valtioneuvosto.fi/-/10623/asuntorakentamisen-vahentyneet-aloitukset-synkistavat-alan-nakymia>. Viitattu 22.11.2023.

Valtiovarainministeriö 2022. Rakennusalan suhdanneryhmä: Rakentaminen vähenee selvästi kansainvälisestäkin korkealta tasolta. Verkkajulkaisu. Vm.fi, Valtiovarainministeriö. Päivitetty 30.8.2022. <https://vm.fi/-/rakentaminen-vahenee-selvasti-kansainvalisestikin-korkealta-tasolta>. Viitattu 22.11.2023.

Varis, Ritva 2017. Sahateollisuus. Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy.

Verohallinto 2023. Maatilarakennukset. Verkkajulkaisu. Päivitetty 2023. Vero.fi, Verohallinto. <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/asuminen/kiinteistovero/nain-vero-muodostuu/rakennukset/maatilarakennukset/>. Viitattu 2.11.2023.

Vesiahho, Amanda 2015. Hevosten yksilökarsinoiden ja pihattojen kuivikkeet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2015. Biohansa.ee, Biohansa. <https://www.biohansa.ee/kuivikkeiden-ominaisuuksia/>. Viitattu 2.11.2023.

Vesterinen, Juuso 2019. Rakennushankkeen kustannusten muodostuminen ja niihin vaikuttaminen: omaperusteisessa asuntotuotannossa. Opinnäytetyö. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma. Turun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060113931>. Viitattu 22.11.2023.

Virtanen, Sakari 2017. Sahan tuotannosuunnittelu. Teoksessa Ritva Varis (toim.). Lahti: Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys Oy, 59–64.

Väisänen, Mika 2023. Yrittäjä. Savonmuan Isännöinti Oy. Haastattelu. 28.10.2023.

WWF Suomi julkaisuaika tuntematon. Suomen metsät. Verkkojulkaisu. Wwf.fi, WWF Suomi. <https://wwf.fi/alueet/suomen-metsat/>. Viitattu 14.10.2023.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. CE-merkintä. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/ce-merkinta>. Viitattu 29.10.2023.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Rakennustuotteet. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/rakennustuotteet>. Viitattu 29.10.2023.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>. Viitattu 2.11.2023.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>. Viitattu 2.11.2023.

LIITE 1: TERÄSRUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 2: TARJOUS TERÄSRUNKOISEN MANEESIN RAKENNUSMATERIAALEISTA, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 3: LIIMAPUURUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 4: MASSIIVIPUURUNKOISEN MANEESIN KUSTANNUSARVIO, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 5: MATERIAALIMENEKIT OMASTA PUUTAVARASTA RAKENNETULLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 6: PUUTAVARAMENEKIT RANKARUNKOISELLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 7: TYÖMENEKIT OMASTA PUUTAVARASTA RAKENNETULLE MANEESILLE, LUOTTAMUKSELLINEN

LIITE 8: KUSTANNUSVERTAILU, LUOTTAMUKSELLINEN