

Eve Tauru

PUUN KÄYTÖN KESTÄVÄ SUUNNITTELU

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Markku Karjalainen
Teemu Hirvilammi
Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Eve Tauru: Puun käytön kestävä suunnittelu
Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2023

Puurakenteinen pientalo voi kestää käytössä jopa satoja vuosia, kun se on huolella suunniteltu ja toteutettu. Rakennuksen pitkä käyttöikä johdattaa ekologisesti kestäväan rakentamiseen, kun puun kasvun aikana sitoma hiili pysyy kauemmin poissa ilmakehästä. Kestävyyteen liittyy useita näkökulmia, joista monet voidaan liittää rakentamiseen. Lähtökohtaisesti rakentaminen ei ole kestävä materiaalin suuren kulutuksen takia. Siitä on kuitenkin mahdollista tehdä kestävämpää esimerkiksi materiaalituntemuksen ja kiertotalouden avulla.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan puun käyttöön liittyviä haasteita ja kestävyysnäkökulmia. Työssä pyritään vastaamaan, kuinka huolellisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa puurakenteisen pientalon rakenteelliseen ja sitä kautta ekologiseen kestävyteen. Tavoitteena on koota yhteen suunnitteluun liittyviä pääperiaatteita kirjallisuuskatsauksen muodossa.

Puurakenteille voidaan varmistaa pitkä käyttöikä, kun huomioidaan suunnittelussa puun luonnolliset ominaisuudet. Puun heikkoudet kosteus- ja palonkestävyydessä sekä puun erilaiset ominaisuudet eri leikkaussuunnissa tuovat haasteita puun käytön suunnitteluun. Nämä ominaisuudet rajoittavat puun käyttöä esimerkiksi kosteissa ja lämpötiloiltaan vaihtelevissa olosuhteissa. Puuta on kuitenkin mahdollista muokata erilaisilla käsittelyillä, jotka voivat parantaa esimerkiksi puun kosteuden- ja lahonkestävyyttä. Säältä suojaaminen toteutetaan yleensä ensisijaisesti rakenteiden avulla.

Puun lajin ja laadun valinnalla on merkitystä materiaalin ja sen käyttökohteen pitkäaikaiskestävyydelle. Laadulla on vaikutusta myös rakennuksen huollettavuuteen ja asumisen viihtyvyyteen. Kun rakennus on suunniteltu viihtyisäksi ja toimivaksi, siitä usein pidetään säännöllisemmin huolta. Huolellisella suunnittelulla on siis mahdollista saada aikaan jatkumo, jossa laadukasta toteutusta seuraa kestävä rakentaminen ja materiaalien onnistunut kiertokulku.

Avainsanat: puumateriaali, suunnittelu, kestävyys, pitkäaikaiskestävyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. KESTÄVÄ SUUNNITTELU | 3 |
| 2.1 Materiaalin valinta | 3 |
| 2.2 Kiertotalous | 4 |
| 2.3 Standardit | 7 |
| 3. PUUN RAJOITTAVAT OMINAISUUDET | 8 |
| 3.1 Kosteuskestävyys | 8 |
| 3.2 Palonkestävyys | 9 |
| 3.3 Anisotropisuus | 10 |
| 4. PUUN KÄYTÖN SUUNNITTELU PIENTALOSSA | 12 |
| 4.1 Verhous | 13 |
| 4.2 Rakenteet | 18 |
| 4.3 Sisätilat | 21 |
| 5. HUOLELLISEN SUUNNITTELUN HYÖDYT | 25 |
| 5.1 Puun käyttöikä | 25 |
| 5.2 Huollon tarve | 27 |
| 5.3 Asumisen viihtyvyys | 28 |
| 6. YHTEENVETO | 30 |
| LÄHTEET | 31 |
| KUVALÄHTEET | 34 |

1. JOHDANTO

Puun rakenteellista kestävyttä kritisoidaan usein, vaikka oikein käytettynä se voi kestää jopa satoja vuosia. Historiallisia esimerkkejä yli 100 vuotiaista puurakennuksista löytyy Suomessa sekä eteläisiltä että pohjoisemmilta alueilta. Vanha Rauma, Kokkolan Vanha-kaupunki Neristan ja Wanha Raahe ovat esimerkkejä suojelluista puutaloalueista, joissa vanhimmat säilyneet talot ovat peräisin 1600–1800-luvuilta (Suomen maailmanperintökohteiden yhdistys ry; Kokkolan kaupunki; Raahen kaupunki).

Puulla on rakennusmateriaalina paljon sen käyttöä perustelevia ominaisuuksia. Se on kevyt ja helposti muokattava, sillä on hyvät lämmöneristävyys- ja lujuusominaisuudet ja se on puhdas, antibakteerinen materiaali. Puu on uusiutuva ja hiiltä sitova luonnonvara, jolla on tutkitusti terveyttä edistäviä vaikutuksia (Muilu-Mäkelä et al. 2014). Puurakenteet ovat usein myös taloudellinen vaihtoehto muille massiivisille rakenteille (Siikanen 2016, 8).

Hyvien ominaisuuksien lisäksi puulla on huolellisuutta vaativia ominaisuuksia, jotka saattavat rajoittaa sen helppohoitoista käyttöä rakentamisessa. Erityisesti meneillään olevan ilmastokriisin takia puun uusiutuvuus ja hiilen sidonta ovat kuitenkin arvoja, joiden vuoksi sen kestävä käytön edistämiseen kannattaa nähdä vaivaa. Ekologiset ominaisuudet kärsivät, jos puumateriaalia joudutaan huolimattomuuden takia vaihtamaan usein tai jopa purkamaan kokonaisia rakennuksia lahonneiden puurakenteiden vuoksi.

Työn tavoitteena on koota yhteen kirjallisuuskatsauksen muodossa tietoa puurakenteisen pientalon kestävästä suunnittelusta Suomessa. Rajauksena toimii kestävä suunnittelu puumateriaalin näkökulmasta. Aihetta lähestytään tutustumalla materiaalin ja rakenteiden ominaisuuksiin ja yleisiin periaatteisiin. Työssä pyritään vastaamaan, miten huolellisella materiaalin käytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa kestäväan pientalorakentamiseen.

Kestävällä rakentamisella ja kestäväällä suunnittelulla tarkoitetaan tässä työssä sekä ekologista että rakenteellista kestävyttä. Työn tavoitteena on yhdistää huolellisen suunnittelun merkitys rakenteelliseen kestävyteen ja sitä kautta ekologiseen kestävyteen. Myös muut kestävyysnäkökulmat ovat tarkastelussa mukana.

Korkeassa rakentamisessa varsinkin betonin osuus on suuri, vaikka runkomateriaaliksi valittaisiin puu. Pientalorakentamisessa puuta taas on mahdollista käyttää määrällisesti

enemmän suhteessa muihin materiaaleihin. Työssä keskitytään pääosin puun käyttöön pientaloissa, jotta voidaan perusteellisemmin nostaa esille puumateriaalin haasteita sille ominaisimmassa rakentamistavassa. Tietyiltä osin perusteet koskevat myös yleisesti puurakentamista.

Kandidaatintyö koostuu neljästä käsittelyluvusta. Luvussa 2 selvennetään kestävyiden ja kestäväen suunnittelun määritelmää ja siihen liittyviä vaiheita puun näkökulmasta. Luvussa 3 tarkastellaan puun haasteita aiheuttavia ominaisuuksia, joiden huomioiminen suunnittelussa johdattelee kestävään puurakentamiseen. Luvussa 4 kuvataan puumateriaalin käyttöön liittyviä periaatteita pientalon eri osissa. Viimeisessä luvussa kootaan yhteen huolellisen suunnittelun edellytykset ja hyödyt.

2. KESTÄVÄ SUUNNITTELU

Nykyisellä luonnonvarojen käytöllä sekä materiaalien ja energian kulutukseen pohjautuvilla elämäntavoillamme ei ole mahdollista saavuttaa kestävä kehityksen vaatimuksia. Vaikka materiaalien kestävä käyttöä pyritään edistämään esimerkiksi kiertotalouden avulla, tapahtuvat muutokset liian hitaasti. Puuhun ja sen kestävyteen liittyvän tutkimuksen ohella on kiinnitettävä huomiota myös metsien kestäväan käyttöön. Puun käytön lisääminen ei hillitse ilmastonmuutosta, jos hiilinieluja käytetään liikaa tai varastoitunut hiili vapautetaan ilmakehään ennen uuden metsän kasvua (Suomela et al. 2022).

Kestävä kehitys terminä ei ole ristiriidaton. Kehitys edellyttää talouden ja materiaalikäytön kasvua, joka yleensä vaikuttaa negatiivisella tavalla luonnon monimuotoisuuden ja varojen suojeluun. Kestävällä kehityksellä pyritään kulutuksen ja säilyttämisen jonkinasteiseen tasapainoon. Jotta tasapainon toteutumista on mahdollista arvioida, voidaan kestävä kehitystä ajatella erikseen esimerkiksi ekologisesta, sosiaalisesta ja taloudellisesta näkökulmasta. Näkökulmat eivät kuitenkaan ole täysin erillisiä toisistaan, vaan kytkeytyvät monin tavoin yhteen.

Kestävällä suunnittelulla pyritään tasapainoilemaan kestävä kehityksen eri näkökulmien välillä. Bak-Andersen (2021) tuo kirjassaan esille, kuinka suunnittelija voi materiaalituntemuksellaan ottaa kantaa tuotteen koko elinkaareen. Kun suunnittelija hänen mukaansa ymmärtää materiaalien ominaisuuksia ja tuotantoketjuja, mahdollisuudet aidosti kestäviin ratkaisuihin ovat paremmat.

Kestävä suunnittelu tarkoittaa, että suunnittelijan on otettava vastuu lopputuloksesta ja pyrittävä kriittisen ajattelun kautta tekemään tilanteeseen sopivia ratkaisuja. Bak-Andersen toteaa myös, että on eri asia tietää kestävästä suunnittelusta kuin ymmärtää aidosti, kuinka kestävä suunnitelma toteutetaan. Materiaalin tuominen keskeiseksi osaksi suunnittelua voi tehostaa suunnitelman kestävyttä. Suunnittelija voi tällöin pohtia tarkemmin esimerkiksi materiaalin laatua, kierrätettävyyttä, kulutusta ja elinkaarta sekä vaikuttaa siten koko projektin kestävyteen. (Bak-Andersen 2021, 156)

2.1 Materiaalin valinta

Materiaalisen maailman kokonaisvaltaisempi ymmärrys voi auttaa kestävä materiaalikulutuksen tutkimuksessa. Eräs keino kestävämpään materiaalikäyttöön voisi olla ihmisten ja materiaalien välisen vuorovaikutussuhteen jäsentely uusilla tavoilla. (Janhonen

et al. 2020, 4–5) Ihmisten laajempi ymmärrys materiaaleista ja niiden elinkaarista voisi luoda lisää painetta myös rakennusalalle materiaalien kestäviin valintoihin.

Materiaalin kestävä valinta vaatii suunnittelijalta tietämystä materiaalin alkuperästä ja historiasta, sekä sen ominaisuuksista verrattuna muihin materiaaleihin (Bak-Andersen 2021, 98). Vaikka puu on esimerkiksi hiilen sidonnan kannalta ekologinen materiaali, se ei välttämättä sovi parhaiten kaikkiin käyttötarkoituksiin. Sopivan materiaalin valinta riippuu sekä käyttökohteesta että sen olosuhteista ja usein vaihtoehtoja on monia. Tällöin on punnittava eri arvojen välillä, eikä yhtä täydellistä vaihtoehtoa löydy välttämättä ollenkaan.

Näkyville osille puu saatetaan valita materiaaliksi sen ulkonäön takia, rakenteissa taas edullisuus ja helppous saattavat olla pääasialliset syyt. Puun ekologiset ominaisuudet ovat voimassa käyttökohteesta riippumatta. Puun sitoma hiili on kuitenkin pidempään poissa ilmakehästä, mitä pidempään puu säilyy käytössä. Tämän takia puumateriaalia kannattaa valita sellaisiin talon osiin, jossa sen ominaisuudet pääsevät parhaiten oikeuksiinsa ja missä sen on mahdollista kestää pitkään.

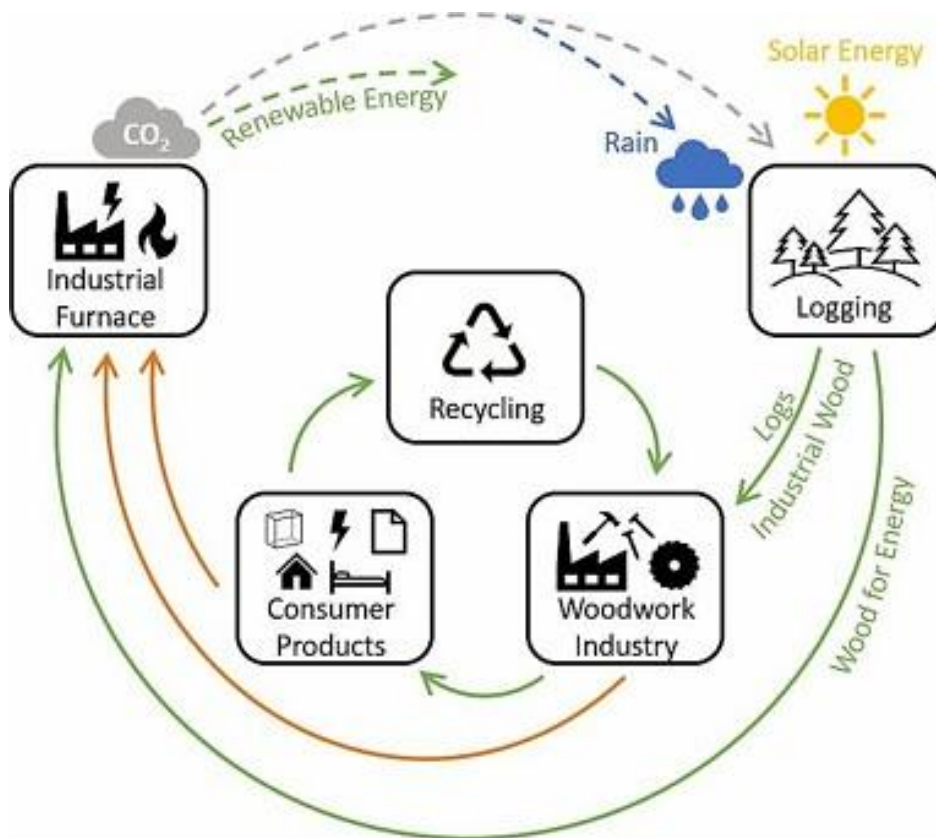
Myös puulajin valintaan kannattaa suunnittelussa nähdä vaivaa. Puulajeilla on omat heikkoutensa ja vahvuutensa, joiden takia tietyt lajit sopivat esimerkiksi paremmin kuluksenkestävyyttä ja osa muokattavuutta vaativiin tarkoituksiin. On myös tärkeää pohtia, halutaanko tukea kotimaista tuotantoa ja lyhyempiä kuljetusmatkoja vai vaaditaanko puulta ominaisuuksia, joita kotimaisilla lajeilla ei ole. Tästä huolimatta materiaalin hinta usein lopulta ratkaisee.

2.2 Kiertotalous

Materiaalin valinnan ohella tärkeä kestävyteen liittyvä aihe on kiertotalous. Kestäviä valintoja tukee pohdinta siitä, voiko materiaalia ja rakennusosia kierrättää niiden käytön jälkeen ja onko mahdollista hyödyntää jo kierrätettyjä osia omassa suunnittelukohteessa. Rakennusalalla on yleisesti katsottuna heikko materiaalitehokkuus, heikko tuottavuus ja verrattain suuri uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö (Kromoser et al. 2022). Tästä syystä materiaalin kierrätettävyydellä on merkittävä vaikutus ympäristön kantokykyyn.

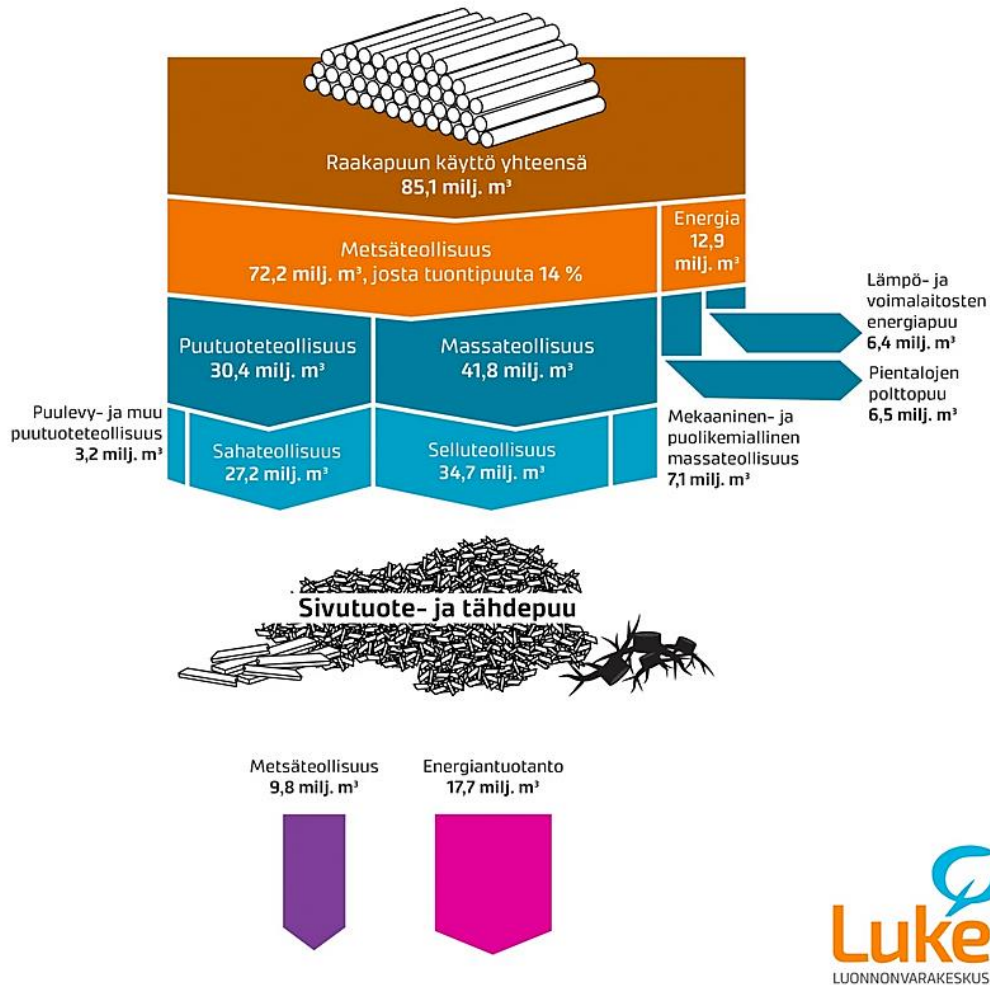
Materiaalien kiertotalous ei ole edistynyt riittävällä tavalla, sillä suhteellisen pieni osa materiaaleista käytetään uudelleen. Kiertotalouden määrä on jopa vähentynyt viime vuosina. Vuonna 2018 kierrätettyjen materiaalien osuus on ollut arvion mukaan 9,1 % kun vuonna 2023 osuus on vain 7,2 % (The Circularity Gap Report 2023).

Puu on potentiaalinen materiaali kestävän materiaalinkäytön ja kiertotalouden kehittämisessä. Puuta on kuitenkin saatavilla rajattu määrä ja huomattava osuus siitä käytetään toissijaisiin tuotteisiin, joiden käyttöikä ei ole pitkä. Ongelmana on myös puumateriaalin kiertotalouden tehon toteutuminen, kun prosessoidut puutuotteet päätyvät kierrätyksessä polttoaineeksi ja puuhun sitoutunut hiilidioksidi vapautuu nopeasti takaisin ilmakehään. Mahdollisia tapoja parantaa materiaalin käytön tehokkuutta voisivat artikkelin mukaan olla rakenteiden optimointi, kierrätettyjen osien ja materiaalien hyödyntäminen rakennusosien valmistamisessa sekä puun käyttöä pidentäminen kiertotalouden avulla. (Kromoser et al. 2022)



Kuva 1: Puurakentamisen elinkaari (Kromoser et al. 2022)

Hiilineutraalissa tilanteessa kaikki puun elinkaaren ajan hiilidioksidipäästöt sitoutuvat takaisin metsään (kuva 1). Huomioitavaa on, että päästöjä syntyy paljon muualtakin kuin lopullisesta puun sijoituskohteesta, eli poltosta uusiutuvaksi energiaksi. Puu toimii sitomansa hiilidioksidin varastona kaatamisenkin jälkeen, mutta palauttaa sen takaisin ilmakehään joko hajoamis- tai palamamisprosessissa. Puun suuren energiankäytön takia Suomessa olisi hyvät mahdollisuudet biopohjaisen hiilidioksidin talteenotolle ja hyödyntämiselle vetytalouden tuotteissa (Metsäbiotalouden tiedepaneeli 2023).



Kuva 2: Puun käyttö Suomessa 2021 (Luonnonvarakeskus 2022)

Suomessa noin 14 % metsäteollisuuden puusta on tuontipuuta, loput ovat kotimaista (kuva 2). Suomessa puuta ei jalosteta kovin pitkälle, vaan huomattava osuus metsäteollisuuden puutavarasta menee lyhytikäisiin tuotteisiin tai suoraan energiaksi. Eniten puurakennusmateriaaleja tuotetaan sahateollisuudessa.

Biopohjaisten tuotteiden uudelleenkäyttöä ohjaamaan on kehitetty kaskadiperiaate, jonka tavoitteena on hyödyntää samaa resurssia mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkkinä raportissa käytetään puurakenteista palkkia, jota tulisi käyttää ensisijaisesti uudelleen sellaisenaan, toissijaisesti pienemmiksi sahattuina kappaleina ja lopulta silputtuna lastu- tai kuitulevyjen materiaalina. Vasta näiden vaiheiden jälkeen puuta voisi polttaa energiaksi. (Huuhka et al. 2018, Suomela et al. 2022 mukaan)

Suomessa pyritään aktiivisesti edistämään rakentamisen kiertotaloutta. EU:n rakennustuoteasetus edellyttää pääsääntöisesti rakennustuotteiden CE-merkintää, mikä on vaikeaa tai jopa mahdotonta saada uudelleenkäytettäville materiaaleille ja osille. Tähän pyritään saamaan muutos selkeyttämällä rakennustuoteasetusta. (Ympäristöministeriö)

2.3 Standardit

Standardeilla pyritään vakioimaan rakentamista ja helpottamaan vertailua. Puurakentamiseen liittyviä standardeja ovat esimerkiksi RunkoPES ja yleiset EU-standardit. EU-standardeilla viitataan joko yhdenmukaistettuihin eli harmonisoiituihin standardeihin tai EU:n pakollisiin säädöksiin. Yhdenmukaistetut standardit vahvistetaan Suomessa SFS standardeiksi. Tällaiset rakennustuotteisiin liittyvät standardit ovat muista yhdenmukaistetuista standardeista poiketen pakollisia. (SFS)

Rakennustuotteisiin lasketaan tuotteet, jotka tulevat kiinteäksi osaksi rakennusta. CE-merkintä on pakollinen rakennustuotteille, joille yhdenmukaistettu standardi on määriteltä. Sen avulla tuotteen valmistaja vakuuttaa tuotteen olevan eurooppalaisen tuotestandardin tai teknisen hyväksynnän mukainen. CE-merkintä ei kuitenkaan takaa tuotteen laadukkuutta, jonka takia jokainen rakentamisessa käytettävä tuote on erikseen arvioitava kohteen olosuhteiden mukaan. (Ympäristöministeriö)

CE-merkinnän avulla voidaan helpommin vertailla eri tuotteiden ominaisuuksia ja varmistua ominaisuuksien samanlaisesta merkintätavasta. Koska CE-merkittyä rakennustuotetta on mahdollista markkinoida kaikkialla Euroopassa, se voi helpottaa myös suomalaisten tuotteiden vientiä. (Ympäristöministeriö)

Erilaiset mittajärjestelmät helpottavat suunnittelutyötä ja rakentamista, sillä niiden avulla voidaan standardisoida rakennusosia ja niiden mittoja. Tällä tavoin mittajärjestelmät nopeuttavat ja täsmentävät rakennusosien ja tarvikkeiden valmistusta ja mahdollistavat materiaalin varastotuotannon. (Hirvilampi, 2023) Nämä kaikki voivat vaikuttaa positiivisella tavalla puutalon taloudelliseen ja ekologiseen kestävyYTEEN. Kun puisia osia ja materiaaleja on mahdollista ostaa vakiomitoilla suoraan varastosta, pystytään rakentamaan edullisemmin ja tarkemmin. Myös vakiomittaisten osien kierrättäminen ja uudelleen käyttö on helpompaa.

Uudet innovatiiviset rakenteet ja mittatilausosat tekevät rakentamisesta kalliimpaa ja vaativat suunnittelijoilta ja rakentajilta enemmän osaamista. Tällaiset rakenteet luokitellaan ympäristöministeriön asetuksessa erittäin vaativiksi tai poikkeuksellisen vaativiksi rakenteiksi (Maankäyttö- ja rakennuslaki 477/2014, 4 §). Jos rakennustavasta tai osasta ei ole aikaisempaa kokemusta, joudutaan turvautumaan teorian tietoon. Ennalta odottamattomien ongelmien mahdollisuus voi silloin olla suurempi, mikä vaatii myös rakennuksen huolellisempaa seuranta valmistumisen jälkeen. Toisaalta ennalta tutut vaihtoehdot eivät välttämättä toimi kaikessa aina parhaiten.

3. PUUN RAJOITTAVAT OMINAISUUDET

Materiaaleilla on yksilölliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden kestävyys ja sitä kautta mahdollisiin käyttötarkoituksiin. Jotta puuta voidaan käyttää rakentamisessa kestäväällä tavalla, tulisi tiedostaa sen käyttöön liittyvät haasteet. Tässä luvussa tarkastellaan puumateriaalin heikkouksia, jotta voidaan selvittää sille parhaiten sopivat käyttötarkoitukset pientalorakentamisessa.

3.1 Kosteuskestävyys

Puulla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden mukaan, eli se on hygroσκοoppinen materiaali. Kosteuden vaihtelu puussa aiheuttaa kosteuselämisen. Puu alkaa kutistua, kun soluonteloiden vesi on kuivunut kokonaan ja soluseinämiin sitoutunut vesi alkaa poistua. Kutistuminen aiheuttaa muodonmuutoksia ja sisäisiä jännityksiä, jotka voivat johtaa puun halkeamiseen. (Puuinfo 2020k)

Puun lahoaminen aiheutuu pitkäaikaisesta kosteudesta. Lisäksi tarvitaan lahoa aiheuttaville eliöille otolliset olosuhteet eli happea, ravintoa ja lämpöä (Siikanen 2016, 74). Lämpötilan on oltava 0 – + 40 °C, jotta homeita ja lahoa voi muodostua. Jos ilman suhteellinen kosteus on jatkuvasti vähintään 80 %, puun pinnalle alkaa muodostumaan homeita noin kahden kuukauden kuluessa. Jos ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää 90 %, puu alkaa lahota. (Puuinfo 2020k)

Home ei aiheuta puun lujuudelle muutoksia, sillä se ei pääse pintaa syvemmälle. Sen levittämät itiöt sen sijaan voivat aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Useat sisäilmaongelmat johtuvat rakenteisiin muodostuneesta homeesta. (Puuinfo 2020k)

Puun sinistymistä aiheuttava sinistäjäsieni sekoitetaan usein homeeseen (Puuinfo 2020k). Se ei tyypillisesti homeen tavoin aiheuta muutoksia puun lujuudessa, vaikka jotkut lajit saattavat aiheuttaa katkolahoa. Home- ja sinistäjäsienet voivat paljastaa liiallisen kosteuden esiintymistä ja edistää lahovaurioiden leviämistä. (Siikanen 2016, 74–75)

Pitkälle edennyt laho aiheuttaa puumateriaalin lujuuden heikentymistä. Tyypillisin lahoa aiheuttava eliö on lahottajasieni. Lahottajasienen laji vaikuttaa puun solukon hajoamistapaan. Lahon vaikutuksesta puu voi haurastumisen lisäksi kutistua, pehmentyä, rikkoutua ja muuttaa väriään. (Siikanen 2016, 76–77)

3.2 Palonkestävyys

Puu on palava materiaali. Palamisreaktioon vaaditaan palavan aineen lisäksi happea, riittävä määrä lämpöä ja ketjureaktio. (Siikanen 2016, 181) Palavuus on yksi ominaisuus, jonka takia puun käyttämättömyyttä usein perustellaan. Suomessa palomääräykset rajoittavat puun käyttöä laajemmin erityisesti tiiviimmässä ja korkeammassa rakentamisessa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 848/2017, 8 §). Pientalorakentamisessa puun käytölle ei juurikaan ole rajoituksia palonkestävyyden kannalta (Siikanen 2016, 187).

Puu pehmenee lämpötilan noustessa. Pehmeneminen alkaa lämpötilan ollessa +180 °C, mutta voi alkaa aikaisemmin, jos puu on kosteaa. Puun syttyminen riippuu lämpötilasta ja ajasta, kun ympäröivän ilman happipitoisuus on riittävä. Syttymiseen tarvitaan 15-20 min. +180 °C, 12-15 min. +200 °C, 5-10 min. +250 °C ja 0,5 min. +430 °C. Palaessa sen pinnalle muodostuu hiilikerros, joka hidastaa sen sisäosien lämpenemistä ja edelleen palamista. (Siikanen 2016, 48)

Puun reagoitua lämpötiloihin ja palamiseen on myös mahdollista hyödyntää. Puun pehmenemistä voidaan käyttää hyödyksi taivuttamisessa ja kokoonpuristamisessa (Siikanen 2016, 48). Hiiltyminen puolestaan tekee puusta paloturvallisen materiaalin. Koska hiiltyminen tapahtuu tasaisesti, puun kestävyys palotilanteessa on ennakoitavissa. Eriyisesti massiivisessa puutavarassa palo etenee hitaasti. (Puuinfo 2020d)

Puutalo on huolellisesti suunniteltuna paloturvallinen. Eniten vaaraa aiheuttaa palotilanteessa yleensä asunnon irtaimisto, josta saattaa palaessa syntyä myrkyllisiä kaasuja. Rakennuspalojen paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota herkästi syttyviin sisustusmateriaaleihin, kuten verhojen ja pehmustettujen kalusteiden paloturvallisuuteen. Rakennuspalot alkavat usein sisusteista, ja leviävät niiden kautta seiniin, kattoon ja rakenteisiin. (RT 08-11088)

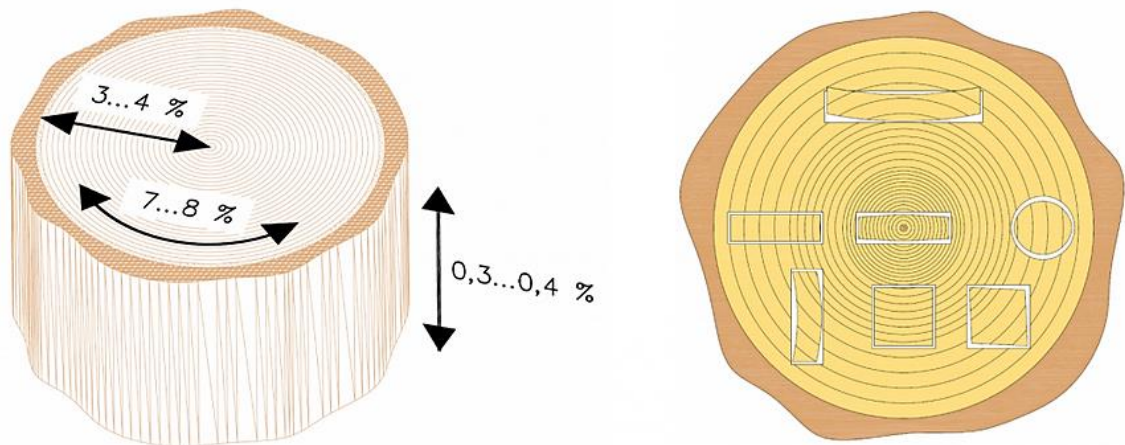
Yleisin asuntopalojen syttymispaikka on keittiö (Sisäministeriö). Syynä on yleensä huolimattomuus ruuan laitossa, mutta myös vialliset sähkölaitteet ovat suuria riskin aiheuttajia. Lisäksi kynttilöiden, tulisijan ja saunan varomaton käyttö voivat aiheuttaa palovaa-
ran. (Kodin turvaopas)

3.3 Anisotrooppisuus

Puu on anisotrooppinen materiaali, eli sillä on erilaiset ominaisuudet pituus- ja poikisuunnissa. Kosteus ja lämpö aiheuttavat puussa tästä syystä muodonmuutoksia. Rakenteellisessa suunnittelussa tämä tulee ottaa huomioon sekä rakenteiden että yksityiskoh- tien suunnittelussa. (Siikanen 2016, 43)

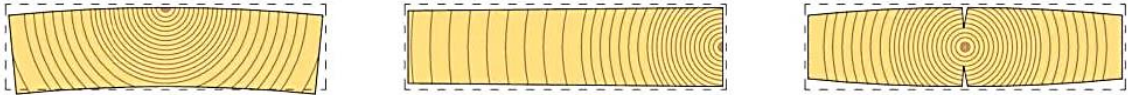
Puun hygroskooppisen ominaisuuden takia puu laajenee ja kutistuu ilmankosteuden mu- kaan. Muutoksia tapahtuu eniten rungon vuosirenkaiden suuntaisesti ja pintapuussa. Vuosirenkaita vastaan puun elämistä tapahtuu vähemmän, samoin kuin sydänpuussa. Kasvusuunnassa muutokset ovat hyvin vähäisiä. (PuuProffa)

Puun lämpölaajenemista tapahtuu eniten säteen ja vuosirenkaiden suunnassa ja vähiten puun kasvusuunnassa. Lämpölaajenemiskertoimien ja kosteus- ja kutistumiskertoimien suhde on keskenään samaa luokkaa puun syiden eri suunnissa. Puun lujuus heikkenee lämpötilan vaihdellessa toistuvasti. Pakkaset voivat aiheuttaa puuhun pakkashalkeamia, kun soluonteloiden vesi laajenee jäätyessään. (Puuinfo 2020f)



Kuva 3: Puun muutokset. (Puuinfo 2020k)

Muutokset puussa ovat suuntaa antavia (kuva 3), sillä ne vaihtelevat puulajeittain. Esi- merkiksi mänty ja kuusi kutistuvat tai laajentuvat vuosirenkaiden suunnassa 5–6 %, sä- teen suunnassa 2–3 % ja puun kasvusuunnassa 0,2–0,3 %. Erityisesti poikittaissuunnan eläminen on otettava huomioon suunnittelussa. (Puuinfo 2020k)



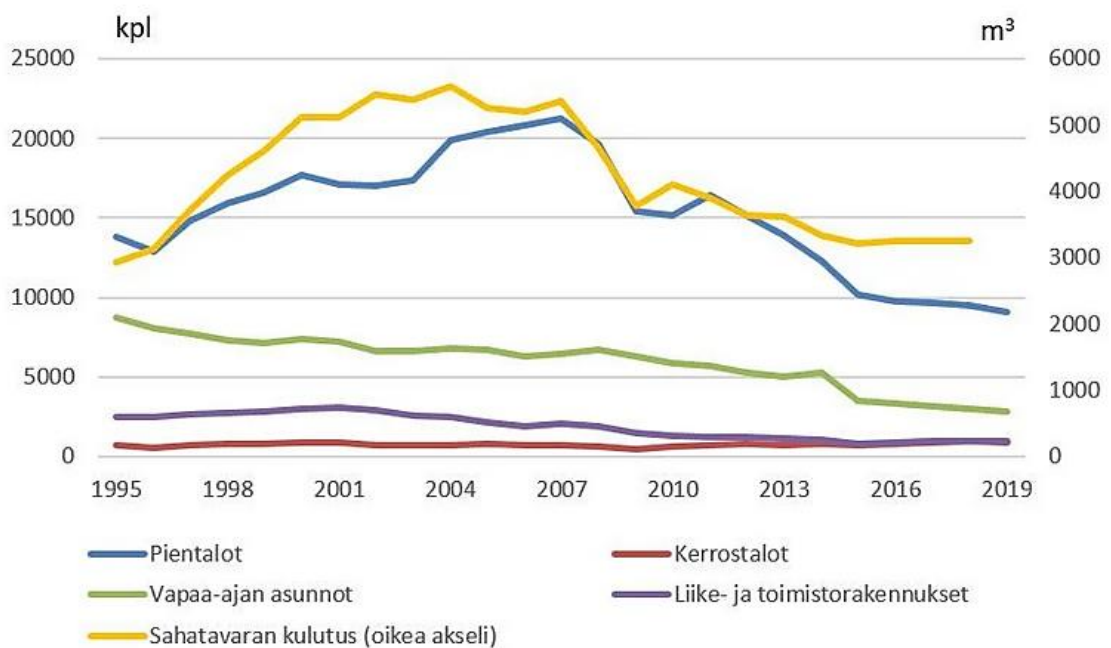
Kuva 4: Sahatavaran muutokset. Vasemmalla oleva sydänhalkaistu sahatavarakappale kuperoituu kutistuessaan. Keskimmäinen radiaalisahattu kappale kutistuu, mutta pysyy suhteellisen hyvin muodossaan. Oikeanpuoleinen kappale halkeilee keskeltä ja ohenee syrjistä. (Puuinfo 2020g)

Puun eläminen on otettava huomioon myös sahatavaran tuotannossa. Tällöin voidaan tuottaa puutavaraa eri käyttötarkoituksiin ja välttyä epätoivotuilta kutistumisilta, vääntymisiltä ja halkeiluilta (kuva 4). Puulajilla on jonkin verran merkitystä siinä, kuinka suuria muutoksia tuotteessa ilmenee. (PuuProffa)

Puun lämmönvaraamiskykyyn eli lämpökapasiteettiin vaikuttaa syiden suunnan lisäksi puun tiheys, kosteus ja lämpötila. Puun lämmönvaraamiskyky on hyvä suhteutettuna sen tiheyteen. Tämän ominaisuuden vuoksi hirsi voi toimia sellaisenaan toimivana seinärakenteena. (Puuinfo 2020f)

4. PUUN KÄYTÖN SUUNNITTELU PIENTALOSSA

Lähivuosina puurakentamisessa on korostunut erityisesti kerrostalojen ja julkisen rakentamisen osuuksien kasvattaminen. Kotimaisten ja pitkäikäisten puutuotteiden käyttöä voitaisiin kuitenkin edistää tehokkaasti keskittymällä näiden lisäksi viime vuosina vähemmälle huomiolle jääneeseen pientalo- ja vapaa-ajan rakentamiseen. Suomessa puutuotteiden tilavuudesta yli puolet kuluu pientaloihin. (Heräjärvi & Viitanen 2021) Tästä syystä sahatavaran kotimainen kulutus seuraa pientalojen rakennusmääriä (kuva 5)



Kuva 5: Rakennus- ja asuntotuotannon toteutuneet rakennusmäärät ja sahatavaran kotimainen kulutus 1995–2019. (Tilastokeskus & Luke, Heräjärvi & Viitanen 2021 mukaan)

Palavuuden ja kosteusteknisten ominaisuuksien takia puulle on olemassa helppohoitoisia, mutta myös riskialttiita paikkoja. Jotta suunnittelun avulla päästään käyttäjän kannalta parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen, on hyvä kiinnittää huomiota materiaalin vaativuuteen – eli mitä ylläpito edellyttää käyttäjältä. Kivi- ja betonirakenteet houkuttelevat huoltovapaudellaan ja pitkäaikaiskestävyydellään, mutta niiden käyttöön liittyy usein ekologisia ongelmia. Turvallisempi ja käyttäjälle vähemmän vaivaa aiheuttava vaihtoehto vie usein voiton materiaalivalintaa tehdessä, mutta hinnalla on myös oma vaikutuksensa.

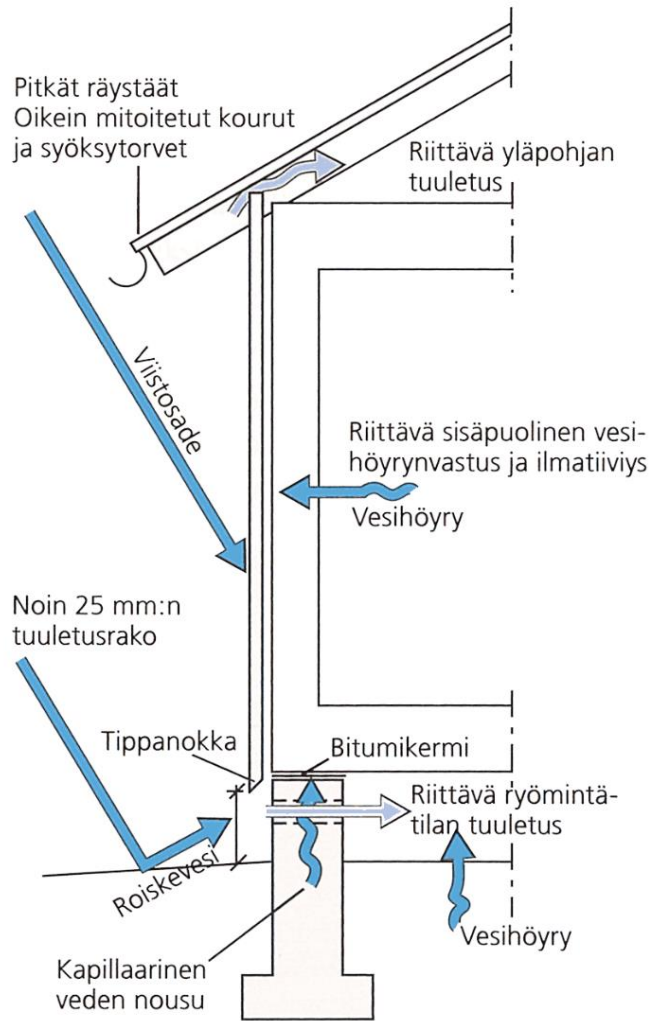
Tässä luvussa käsitellään puun käytön suunnitteluun liittyviä periaatteita pientalon eri osissa. Periaatteita käydään läpi erityisesti puun haastavien ominaisuuksien kautta. Tarkoituksena on selventää, miten erilaisilla suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa puun pitkäaikaiskestävyyteen ja mitä asioita yleisesti on huomioitava suunnittelussa.

4.1 Verhous

Puumateriaalin käyttö ulkoverhouksessa edellyttää erityistä tarkkuutta suunnittelussa. Suunnittelun laatu vaikuttaa oleellisesti materiaalin käyttöikään ja julkisivun ulkonäköön. Puuverhous on huolellisesti suunniteltuna kestävä, kaunis ja edullinen. Huonosti suunniteltuna se ränsistyy helposti, vaatii usein huoltoa ja aiheuttaa sitä kautta kustannuksia.

Ulkoverhouksessa puu on alttiina auringon säteilylle, kosteuden ja lämpötilan vaihteluille ja epäpuhtauksille. Rasituksen määrään vaikuttaa erityisesti rakennuksen sijainti maaston korkeuteen ja ympäristöön nähden, ilmasto ja julkisivujen ilmansuunnat. Myös rakennuksen arkkitehtuurilla, eli esimerkiksi räystäiden pituudella ja rakennuksen korkeudella, on oma vaikutuksensa, joka tulee ottaa huomioon julkisivun suunnittelussa.

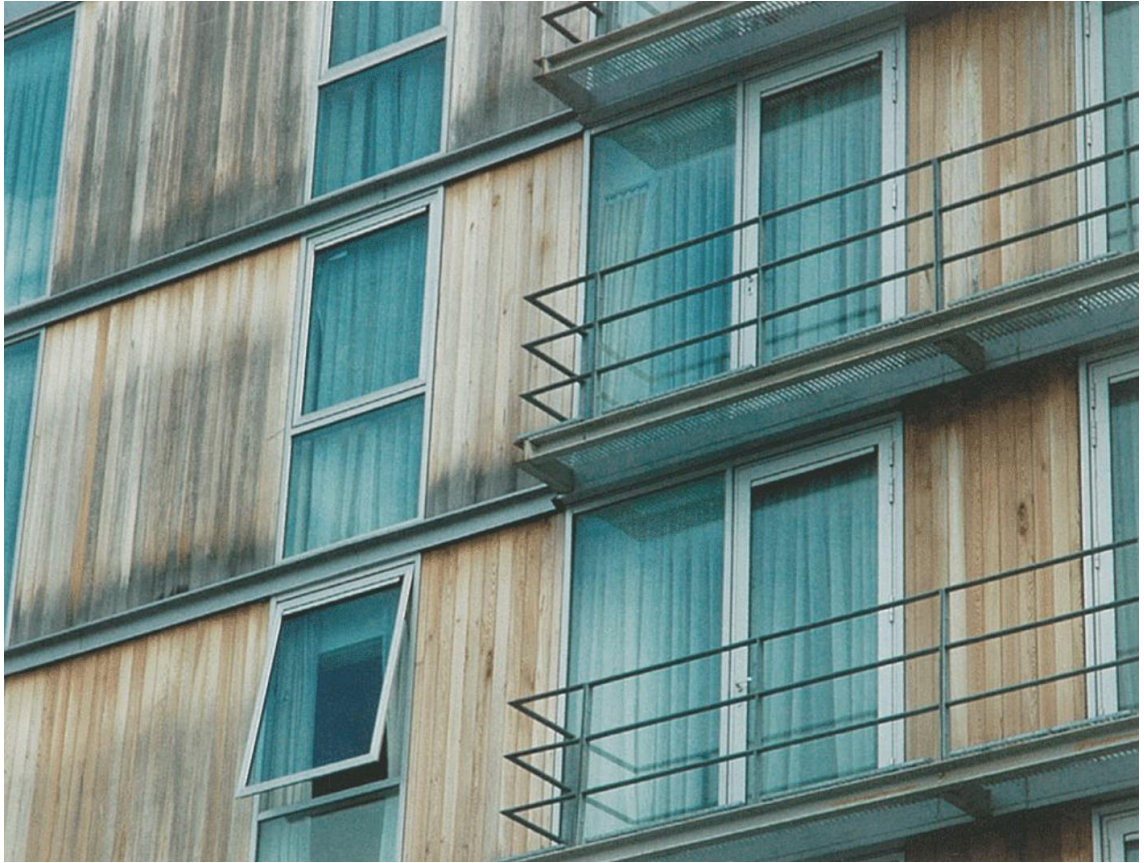
Puisen julkisivun suunnittelussa tärkeä huomioitava asia on kosteus. Jotta vaurioita ei pääse syntymään, puun pitää päästä kuivumaan kastuttuaan. Ensimmäinen keino on puun rakenteellinen suojaaminen siten, ettei se pääse lainkaan kastumaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi tarpeeksi pitkillä räystäillä, pellityksillä ja korkealla sokkelilla. Usein tällainen suojaus ei kuitenkaan kokonaan riitä estämään kastumista, sillä viistosade ja veden roiskuminen voivat yltää myös hyvin suojatuille alueille (kuva 6).



Kuva 6: Rakenteellinen suojaus (Siikanen 2016, 85)

Kun kastumista ei voida kokonaan estää, on varmistettava, ettei kosteus pääse imeytymään puuhun. Varmin tapa on välttää vaakapintoja ja jatkoksia koko rakennuksen korkeudelta ja suojata erityisesti lautojen yläpäästä hyvin (Siikanen 2016, 289). Perusteena on johdattaa vesi pois rakennuksen pinnoilta ilman, että se pääsee kääntymään suojaamattomille puupinnoille. Suunnittelussa yksityiskohtien huomiointi on siis erityisen tärkeää koko rakennuksen toimivuuden ja kestävyuden kannalta.

Räystäättömässä talossa suojaaminen on toteutettava muilla keinoin. Usein ajatuksena on antaa verhouksen harmaantua luonnollisesti, mutta tällöin on huomioitava harmaantumisen tasalaatuisuus. Auringolta ja sateelta suojaavat kasvit tai rakennuksen osat voivat aiheuttaa julkisivuun alueita, jotka eivät harmaannu tasaisesti (kuva 7).



Kuva 7: Julkisivu, joka on roiskeveden vaikutuksesta harmaantunut epätasaisesti. (Davies & Wood 2010, 65)

Julkisivun huolellinen suojaaminen sateelta suojaa myös auringon säteilyltä. Aurinko vaikuttaa puupintaan valona ja lämpönä. Lämpö aiheuttaa puun pinnan kuivumista ja halkeilua (kuva 8). Kuivumishalkeilu on voimakkaampaa tummilla pinnoilla, johon auringon lämpösäteily imeytyy paremmin. (Siikanen 2016, 73)

Valo aiheuttaa valorapautumista, jota kosteus nopeuttaa. Rapautumisen seurauksena puun pinta voi kulua 1–12 mm vuosisadassa. Esimerkkinä rapautumisesta Siikanen (2016, 73) käyttää kirjassaan Norjalaista Urnesin sauvakirkkoa, jonka 700–800 vuotta vanhan puuoven pinta on helojen alta 7 mm korkeampi. Vaikka se on ollut sateelta suojassa, eteläinen talviaurinko ja hankien heijastus ovat aiheuttaneet valorapautumista



Kuva 8: 70 vuotta vanha hirsijulkisivu, jonka oikealla sivulla auringon aiheuttamaa halkeilua. Vasen sivu on ollut varjon puolella ja on siten paremmin säilynyt. Hirret on punamullalla käsitellyt. (Kaila 1997, 298)

Jos rakenteellinen suojaus ei riitä suojaamaan puupintoja kosteudelta ja auringolta, voidaan puun ominaisuuksia muokata esimerkiksi modifioimalla, kyllästämällä tai käsittelemällä puuta erilaisilla puunsuoja-aineilla. Puun käsittelyyn voidaan ottaa kantaa sekä ulkonäön että kestävyuden ja huoltovälin huomioimisen vuoksi. Ympäristön huomioiminen voi auttaa sekä puun sävyn että ominaisuuksiltaan sopivimman käsittelyn valinnassa.

Käsittelyillä voidaan aineesta ja tavasta riippuen parantaa puun sään-, lahon- ja palonkestävyyttä ja vähentää kosteuselämistä. Puun ominaisuuksien muokkaaminen tapahtuu usein paineen, lämmön tai kemikaalien avulla. Kyllästyksellä saadaan suoja-aineet syvemmälle pintapuuhun, noin 5–10 mm syvyyteen kyllästystavan mukaan. Puun käsittely ruiskuttamalla tai sivelyllä saa suoja-aineet noin 1–2 mm syvyyteen. (Puuinfo 2020e)

Osa kemiallisista suoja-aineista on kalliita ja ympäristölle haitallisia. Kemiallista kyllästystä ei tästä syystä käytetä yleensä muualla kuin hankalasti huollettavissa rakenteissa. Luonnonmukaisia vaihtoehtoja puun käsittelylle on esimerkiksi pinnan hiiltäminen, kastaminen suolaliuokseen ja perinnemaalien, esimerkiksi terva- ja keittomaalien (kuva 9) sekä pellavaöljyn käyttäminen. (Puuinfo 2020e)



Kuva 9. Kerimäen Kirkkorannan Ranta-aitat, joista vanhimmat ovat 1800-luvulta. Venevajat on huoltokäsitelty vuonna 2012 punamultamaalilla. (Kiviniemi 2013)

Sään ohella myös epäpuhtaudet voivat aiheuttaa esteettisiä haittoja ja rakenteellisia vaurioita. Epäpuhtauksia voi kulkeutua seinäpinoille esimerkiksi sateen ja tuulen mukana. Riskiä lisää myös liian karhea julkisivuverhous, joka kerää helpommin likaa ja on hankalampi käsitellä. Liian sileällä pinnalla maali saattaa puolestaan kulua nopeasti pois säära-
situksen vaikutuksesta. (Puuinfo 2020e) Oikeanlaisen karkeusasteen valinta verhous-
lautaan voi siis myös vaikuttaa julkisivun pitkäaikaiskestävyyteen.

Uudisrakentamisessa tai julkisivuverhousta uusiessa olosuhteet voidaan varmistaa teol-
lisella pintakäsittelyllä. Tällöin verhouslaudat ovat suojassa sateelta ja auringon UV-sä-
teilyltä myös työmaalla. (Puuinfo 2020b) Jos teollista pintakäsittelyä ei käytetä, olisi lau-
dat hyvä asentaa sydänpuoli ulospäin. Laudan on tärkeä olla riittävän kuivaa ennen pin-
takäsittelyä.

Ulkoverhoukseen soveltuvia vaihtoehtoja ovat kuusi, lehtikuusi, männyn sydänpuu sekä
lämpökäsitelty mänty ja kuusi. Pitkäikäinen verhouslauta on tarpeeksi paksu ja kestää
kosteuden vaihteluita paremmin halkeilematta. Suositeltu paksuus pitkään kestävälle
laudalle on vähintään 25 mm, mielellään 28 mm. (Puuinfo 2020b)

Ulkoverhouslaudat valinnassa on hyvä kiinnittää huomiota sijainnin vaativuuteen ja ta-
voiteltuun huoltoväliin. Näillä perusteilla verhouksen uudelleen käsittelyväli on noin 10–

15 vuotta. Tätä pidemmät välit ovat mahdollisia, jos verhouksen muut vaatimukset asetetaan korkeammalle. (Puuinfo 2020b) Verhouslaudan pitkäaikaiskestävyys seuraa usein hintaa. Toisaalta pitkään kestävä julkisivuverhous vaatii harvemmin huoltoa, mikä voidaan ottaa huomioon kustannuksissa.

Puuverhous kestää pitkään oikein ja säännöllisesti huollettuna. Tyypillisiä huoltomaalauksessa tapahtuvia virheitä on sen tekeminen liian harvoin, liian tiiviin kalvon muodostavien maalien käyttö sekä märälle ja likaiselle pinnalle maalaaminen. Tärkeää on myös selvittää maalin oikea käyttö, eli tarvitseeko vanha maali poistaa alta ennen kuin huolto-maalaus tehdään. Useissa luonnonmukaisissa pintakäsittelytuotteissa vanha kerros kuuluu ajan myötä sään vaikutuksesta, jolloin uuden maalipinnan voi tehdä suoraan vanhan päälle ilman vaaraa liian tiiviistä kerroksesta. (Puuinfo 2020e)

Puu on turvallinen valinta verhousmateriaaliksi, sillä sen on hengittävyytensä takia vaikea aiheuttaa haittoja muille rakenteille. Useimmiten ongelmia syntyy, kun puurakenteet tai -verhous päällystetään liian tiiviillä pinnoitteella, jolloin kosteus ei pääse haihtumaan. Eri rakennusmateriaalien yhdistäminen ilman huolellista suunnittelua on riski rakenneteknisen toimivuuden kannalta.

Ulko-verhouksen huolellinen suunnittelu vaikuttaa myös rakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen. Oikein toimivalla verhouksella voidaan varmistaa, ettei rakenteisiin pääse vettä. Riittävällä tuuletusvälillä saadaan joko ulko- tai sisäpuolelta julkisivun taakse joutunut vesi poistettua ja vältetään veden imeytymiseltä rakenteisiin.

4.2 Rakenteet

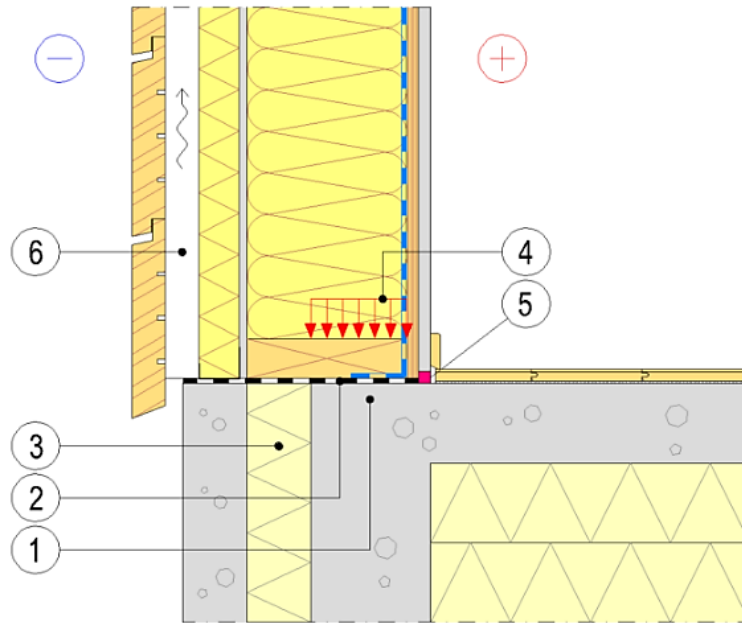
Rakennejärjestelmiä, eli kantavien ja rajaavien rakennusosien muodostamia järjestelmiä (Sanastokeskus), on useita vaihtoehtoja puutalorakentamisessa. Kantavat pystyrakenteet ovat joko seiniä tai pilareita ja kantavat vaakarakenteet laattoja tai palkkeja. Yleisimmät kantaviin seinärakenteisiin perustuvat runkojärjestelmät ovat rankarunko, massiivipuulevy- ja hirsirakenne. Pilareita käytetään kantavana rakenteena pilari-palkkijärjestelmässä. Seinät ja laatat voidaan rakentaa joko paikan päällä runkomateriaaleista tai valmistaa tehtaalla valmiiksi tasoelementeiksi. (Puuinfo 2020h, i, j) Tasoelementtien lisäksi valmiit tilaelementit ovat mahdollisia myös pientaloissa, mutta ne ovat yleisempiä kerrostalorakentamisessa.

Pientalossa rankarunko on kustannustehokas vaihtoehto. Maanvarainen alapohjaraakenne soveltuu rankarunkoisen talon perustamistavaksi. Myös ulkoilmalla tuulettuva alapohja on mahdollinen, mutta se on haastavampi kosteusteknisen toimivuuden kannalta. (Puuinfo 2020h)

Massiivipuisilla levyrakenteilla on rankarunkoon verrattuna korkeammat materiaalikustannukset. Kustannuksia saadaan kuitenkin kirittyä kiinni mittatarkkuuden ja nopean asennuksen avulla. Vaikka massiivipuiset levyrakenteet toimivat lujuuden ja jäykkyyden takia erityisen hyvin korkeassa rakentamisessa, soveltuvat ne tehokkaan rakentamistavan ja muunneltavuuden vuoksi myös pientalorakentamiseen. (Puuinfo 2020i)

Hirrestä voidaan tehdä sekä kantavia että ei-kantavia seiniä. Hirsien teollinen valmistus, lamellihirsi ja sormijatkaminen mahdollistavat myös puustoa pidemmät hirret. Riittävä poikittaisjäykistys tulee tällöin ottaa huomioon. Erityisenä huomiona hirsirunkoisen talon suunnittelussa on painumien ja halkeilun hallinta. (Puuinfo 2020j)

Puurunkoiseen seinään liittyy useita tarkkuutta vaativia näkökohtia. Tästä esimerkkinä on puurunkoisen seinän liitos perustukseen, mikä erityistä huolellisuutta vaativa yksityiskohta. Rakenteet tulee suojata kosteudelta hyvin. Perustustavan mukaan tulee katkaista veden kapillaarinen kosteuden nousu alasidepuuhun ja edelleen kantaviin rakenteisiin (kuva 10).



Liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja

- 1) Perustuksen tasaisuus (tarvittaessa tasausvalu)
- 2) Kosteus- ja radonkatko
- 3) Perustuksen lämpökatkon sijainti
- 4) Pysty- ja vaakakuormien siirto perustukselle (tukipinta, liitoselimet)
- 5) Tiiviys
- 6) Ulkoverhouksen tuuletus (tarvittaessa ontelon palokatkot)

Kuva 10: Rankarunkoisen ulkoseinän ja alapohjan liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja. Kuva esittää yleisellä tasolla liittymäkohdan periaatteita. (Puuinfo 2020h)

Useamman kuin yhden kerroksen puupientaloissa välipohjan ääneneristävyys on monesti kritiikin kohteena. Ne vaativatkin massiivisista rakenteista poiketen huolellisempaa ääniteknistä suunnittelua. Puukerrostalorakentamisessa on paloturvallisuuden ja usein myös suuremman kuormankeston takia paksummat välipohjarakenteet, jonka seurauksena ne ovat paremmin ääntä eristäviä. Lisäksi kerrostaloissa on askel- ja ilmaäänelle määritellyt maksimimelutasot. (Puuinfo 2020c)

Pientaloissa välipohjan ääneneristävyyttä voidaan parantaa samoilla menetelmillä kuin kerrostalojen välipohjissa. Erottamalla väliseinä- ja välipohjakerrokset toisistaan, voidaan estää äänen johtuminen rakenteen läpi. Tärkeää on kiinnittää huomiota myös rakenteiden liitoskohtiin ja niiden tiiveyteen. (Puuinfo 2020c)

Paloluokan P3 rakennukselle ei ole asetettu erityisvaatimuksia kantavien rakenteiden palonkeston suhteen. Poikkeuksena on osastoivia rakennusosia tukevat rakenteet. Pientalon minimiturvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömääriä rajoittamalla. Päällekkäisiä asuntoja, joilla on omat palo-osastonsa, ei ole sallittu. (Maankäyttö ja rakennuslaki 848/2017)

Puurakenteilla on kuitenkin mahdollista saavuttaa jopa 120 minuutin palonkesto aika. Yleensä rakenteellinen palonkesto aika saavutetaan suojaamalla erityisesti kantavat puurakenteet kipsilevyllä. Vaihtoehtoisesti kantavien rakenteiden palonkestoa voidaan pidentää käyttämällä massiivisempia rakenteita. Puutalot voidaan myös varustaa automaattisella sammutuslaitteistolla. (Puuinfo 2020c)

4.3 Sisätilat

Puuta voidaan käyttää sisätiloissa monipuolisesti (kuva 11). Puisilla sisäseinäpinoilla pätevät samat periaatteet kuin muillakin puupinnoilla, eli seisovaa kosteutta on vältettävä. Puun lajilla, laadulla, paksuudella ja käsittelyllä voidaan kuitenkin vaikuttaa paljon siihen, kuinka hyvin pinta sietää vettä. Vaikka lähtökohtaisesti puu ei ole suositeltava materiaali märkätiloihin, voidaan puun käyttöä suunnitella myös niihin. Tällöin tulisi varautua huoltamaan puupintoja säännöllisesti.



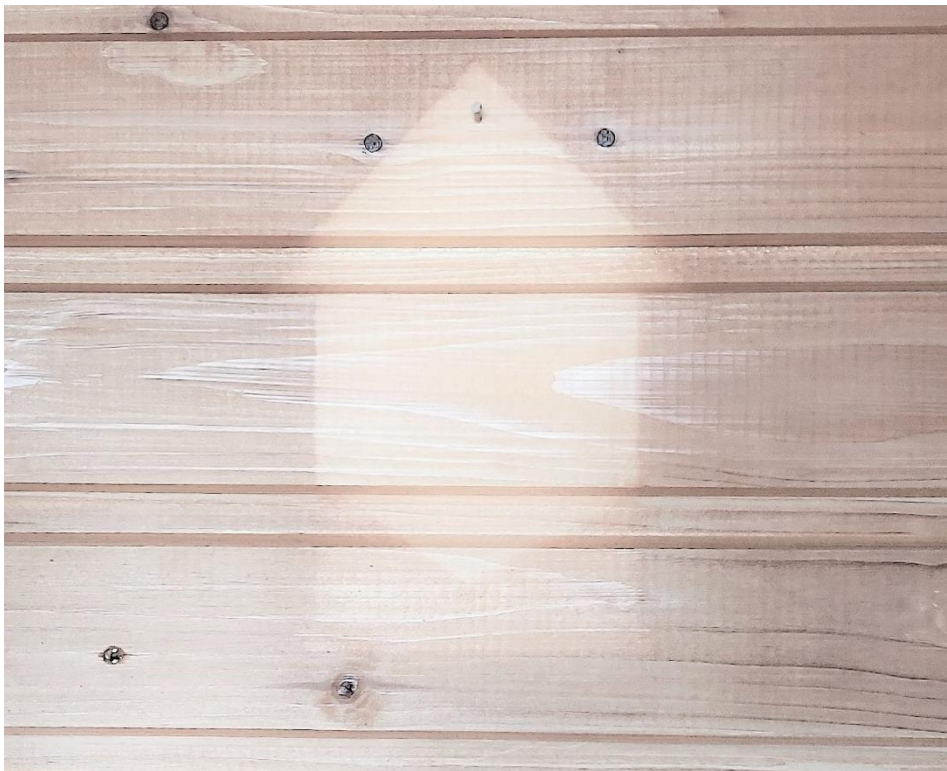
Kuva 11: Luukku talo. Puuta on käytetty rakennuksessa monipuolisesti sekä ulko- että sisätiloissa. Yli 75 % talon rakennusmateriaaleista on uusiutuvia. Kohde on voittanut puupalkinnon vuonna 2010. (Puuinfo 2020)

Hyvä tuuletettavuus ja saumojen tiiviys ovat toimivan märkätilan lähtökohdat. Puuta voidaan käyttää ulkonäkösyistä esimerkiksi seinillä ja kaappien ovissa. Käsittelemätöntä

puuta ei tulisi käyttää, jos on olemassa kosteusriski. Märkätiloissa ja työtasoilla puupinta voidaan suojata kosteudelta esimerkiksi öljy- ja lakkatuotteilla (Puuinfo 2020a).

Tyypillisin tila pientalossa puupintojen käytölle on sauna, jossa kuumuus haihduttaa kosteuden pois. Saunaan sopivia lajeja ovat muun muassa kuusi, haapa ja leppä. Vähäok-sainen mänty soveltuu pihkaisuutensa takia ainoastaan sellaisille saunan pinnoille, joihin ei olla kosketuksissa. (Siikanen 2016, 312) Saunan puupinnat voidaan käsitellä laude-suojalla tai saunasuojalla, mutta käsittely ei ole välttämätön. Pintakäsittely voi helpottaa pintojen puhdistusta. (Puuinfo 2020a)

Kosteuden lisäksi puupintojen suunnittelussa on huomioitava auringon UV-säteily. Vä-rinmuutokset puupinnoilla voivat aiheuttaa erityistä esteettistä haittaa, jos muutokset ovat epätasaisia. Selkeitä kuviointeja ja värinmuutoksen rajapintoja voi muodostua alu-eille, jotka ovat pidempiä aikoja kokonaan suojattuna auringon valolta. Esimerkiksi sei-nällä oleva taulu (kuva 12) voi jättää pinnalle rajan, joka erottuu taulun poistuessa. Vä-rinmuutoksia voidaan ehkäistä puun säännöllisellä pintakäsittelyllä.



Kuva 12: Auringon valon aiheuttama sävyero puupinnassa, kun taulu poistettu seinältä. (Tauru, 2023)

Seinäverhouksissa puuta voidaan käyttää lautoina, levyinä tai eri kokoisina kappaleina. Laudat voidaan asettaa pystyyn, vaakaan tai diagonaalisesti. Niistä voidaan myös halu- tessa muodostaa erilaisia yhdistelmiä ja kuvioita. Levyverhous vaihtoehtoja ovat erilaiset puukuitu- ja lastulevyt sekä vanerit. Levyissä yleisin asennustapa on pystypäin, sillä se

on usein helpompaa ja materiaalin kulutukseltaan vähäisempää. Levyt voidaan kuitenkin asettaa miten päin tahansa, jos suunnittelu tehdään huolellisesti. (Siikanen 2016, 298–301) Eri vaihtoehdot asennustavoille on hyvä pitää mielessä jo suunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan helpommin vaikuttaa yksityiskohtiin ja rakentamisen laatuun.

Koska kuivissa sisätiloissa olosuhteet eivät aiheuta yhtä paljon rajoituksia kuin ulko- tai märkätiloissa, voidaan puutuotteita käyttää yleensä vapaammin. On kuitenkin tärkeää huomioida esimerkiksi pintojen puhdistettavuus. Puhdistettavuutta helpottaa pinnan siileys ja käsittely. Vaakaverhouksissa on usein sisätiloissakin viiste laudan yläreunassa, jotta pölyä kertyy vähemmän (Siikanen 2016, 300). Pölyä tarttuu usein jonkin verran myös pystypintoihin.

Puulattian käytössä tärkeää on paikan, puulajin ja laatuluokan valinta. Pitkäikäinen puulattia vaatii kuivan tilan ja kulutusta kestävä puulajin. Kulutuksenkestävyyteen vaikuttaa paitsi puulajin kovuus, myös veto-, puristus-, taivutus- ja leikkauslujuus. Puulajien kovuuksia voidaan vertailla Brinell- ja Janka-kovuusarvojen avulla (taulukko 1). Mitä suurempi kovuusarvo, sitä paremmin materiaali kestää iskuja ja naarmuja. (Ahokas 2009)

Taulukko 1. Käsittelemättömän puun Brinell- ja Janka-kovuusarvoja (PuuProffa 2009, Ahokas 2009 mukaan)

| | Päätypuun kovuus | Pintapuun kovuus | Päätypuun kovuus | Pintapuun kovuus |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Puulaji | Brinell | Brinell | Janka | Janka |
| Hieskoivu | | 2,2 - 2,1 | 460 | 420 |
| Kuusi | 3,2 | 1,2 | 270 - 290 | 160 - 230 |
| Lehtikuusi | 5,2 | 1,9 - 2,5 | 370 | 340 - 360 |
| Mänty | 4 | 1,9 | 300 | 250 |
| Pyökki | 7,2 | 2,1 - 4 | 180 - 830 | 565 - 675 |
| Rauduskoivu | | 2,2 - 2,7 | 460 | 420 |
| Tammi | 6,4 - 6,6 | 3,4 - 4,1 | 690 - 715 | 450 |

Kovalle kulutukselle alttiiksi joutuvat puulattiat voidaan suojata pintakäsittelyllä. Suojakäsittelyistä esimerkiksi lakka, öljy, kuultomaali ja vaha jättävät puupinnan näkyviin. Maalaus on peittävä vaihtoehto.

Mäntyä käytetään Suomessa eniten lattiamateriaalina, vaikka se kestää huonosti kulumista. Mäntylaudalle voidaan kuitenkin tehdä erikoiskäsittely, mikä parantaa sen kestävyttä. (Siikanen 2016, 257) Se on edullinen vaihtoehto verrattuna esimerkiksi tammeen, jota käytetään usein vertailukohteena puulajien kovuuksille.

Tavallisimpia puulattiatyyppejä ovat massiivipuun eli lankkulattia, parketti ja kovapuulattia. Massiivipuun lattia on perinteisin vaihtoehto. Sitä voidaan hioa tarvittaessa useaan kertaan, sillä sen kulutuspinta on yleensä paksu. Parkettilattia koostuu useista eri puumateriaalikerroksista, joista päällimmäinen on kulutuspinta. Se voidaan yleensä hioa muutamaan kertaan. Kovapuulattia kestää rakenteensa ansiosta kulumista paremmin kuin parketti, mutta ohut pintakerros poistaa hiomisen mahdollisuuden. (Jukola 2012, 16–18)

Kaikkiin puupintoihin pätevät samat periaatteet kuin läpikäytyihin. Sijainnin vaativuus puulle on huomioitava suojauksella ja yksityiskohdat suunniteltava toimiviksi. Puuta voidaan tarvittaessa käsitellä, jolloin sen ominaisuudet säilyvät pidempään. Sisätilojen huolella suunnitellut ja toteutetut yksityiskohdat voivat vaikuttaa merkittävästi asumisen laatuun.

5. HUOLELLISEN SUUNNITTELUN HYÖDYT

Rakentamisen sektori on yksi maailman suurimmista luonnonvarojen ja energian kuluttajista. Rakennussektori käyttää kaikista luonnonvaroista noin 50 % ja jalostamattomasta energiasta noin 40 %. Globaalisti se tuottaa kasvihuonekaasupäästöistä 35 % ja jätteestä 30 %. (Ympäristöministeriö) Rakentamisen elinkaari koostuu materiaalien louhinnasta, jalostuksesta, rakennustuotteiden tuotannosta, materiaalien ja tuotteiden kuljetuksesta, itse rakentamisesta, rakennuksen käytöstä ja sen kunnossapidosta sekä lopuksi rakennuksen purkamisesta ja mahdollisesta osien kierrätyksestä ja uudelleenkäytöstä. (Švajlenka & Kozlovská 2018, 2) Koska suunnittelulla voidaan vaikuttaa koko rakennuksen ja rakentamisen elinkaareen, ei tämän merkitystä voi väheksyä.

Huolellisella suunnittelulla voidaan puumateriaalin näkökulmasta vaikuttaa sen käyttöikään ja huollon tarpeeseen. Puurakenteisen talon laatu vaikuttaa suoraan myös sen asumisviihtyvyyteen. Tässä luvussa kootaan yhteen, mitä hyötyjä materiaalin käytön suunnittelulla on lopputulokseen ja miten hyödyt saavutetaan.

5.1 Puun käyttöikä

Rakennuksen ennenaikaisen korjaustarpeen syitä voivat olla esimerkiksi suunnittelun huolimattomuus, rakennusvaiheessa tapahtuvat virheet ja tiedonpuute talon huollosta. Näistä suunnitteluvaiheeseen puuttuminen on tehokas keino vaikuttaa materiaalin ja sitä kautta rakennuksen pitkäaikaiskestävyyteen. Kun rakennus suunnitellaan teknisesti toimivaksi, helpoksi ja mahdollisimman vähän huoltoa vaativaksi, sen mahdollisuudet kestää käyttöä kasvavat.

Puun käyttöiän maksimoinnilla on erityistä hyötyä rakennuksen ekologiselle kestävyydelle. Kun puumateriaali kestää rakenteena pitkään, siihen sitoutunut hiili pysyy myös pitkään poissa ilmakehästä. Pitkään säilyvä rakennus tuottaa hyötyä myös rakennuksen omistajalle, jonka vastuulla huolto- ja korjauskustannukset yleensä ovat.

Huolellisesti suunniteltuna ja toteutettuna puutalo on pitkäikäinen. Viitanen (2019) tuo esille puurakenteiden 100 vuoden kestoikätaavoitteeseen vaadittavia menetelmiä. Kestoikämitoitus aloitetaan tarvittavien arviointi- ja laskentamallien valinnalla. Ennen rakentamisen aloittamista, arvioidaan ympäristörasitukset ja valitaan sekä materiaalit että huollon ratkaisut tavoitteen mukaisesti. (Viitanen 2019)

Puu lähtökohtaisesti soveltuu hyvin pientalorakentamiseen. Koska kerrosmäärät ovat pienet, rakenteiden ei tarvitse kantaa kovin suurta kuormaa. Puupientalo pystytään siis rakentamaan lähes kokonaan puusta.

Tärkeitä keinoja puumateriaalin pitkäaikaiskestävyyden parantamiseksi on sen suojaaminen kosteudelta, laholta, tuhohyönteisiltä ja suoralta auringonpaisteelta. Lahoja ja tuhohyönteisiä vastaan suojaaminen tapahtuu usein puun kyllästyksen avulla. Rakennuksen pitkää käyttöikää tukee myös, jos kuluvat osat on mahdollista vaihtaa. (Puuinfo 2020c)

Yli 100 vuoden toiminnallinen kestävyys on mahdollista saavuttaa, kun rakenteisiin valitaan laadukas puumateriaali. Puun tulisi olla kuivaa ja CE merkittyä. Tärkeää on myös, että, liimapuissa on käytetty oikeaa liimatyyppiä, joka on kestäväksi varmistettua. (Viitanen 2019) Puun käyttöikää voidaan parantaa rakenteellisella tai kemiallisella suojauksella (kuva 13). Puu säilyy pitkiä aikoja myös käsittelemättömänä, jos rakenteellinen suojaus on kunnossa. Kosteuden tulisi olla jatkuvasti alle 20 %, jotta puumateriaali kestää pitkään. (Puuinfo 2020b)



Kuva 13: Aurinkorinne, Friisilän pientalot. Rakennusten pitkät räystäät ja korkeat sokkelit suojaavat julkisivuverhouksia. Verhoukset ovat liimapuulankkua, jotka on käsitelty kuul-tomaalilla. Myös erilaisia rimoituksia ja paneeleja on käytetty. Kohde on voittanut puu-palkinnon vuonna 2004. (Puuinfo 2020)

Puulajin valinta käyttökohteen mukaan on tärkeää pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Lajeista mänty ja kuusi ovat merkittävimpiä, kotimaisia rakennusteollisuuden raaka-aineita. Mänty soveltuu monipuolisesti kaikkiin käyttökohteisiin, joissa ei edellytetä suurta kosteuden- ja kulutuksenkestoa. Kuusi soveltuu hyvin julkisivumateriaaliksi sen vähäisen kosteuselämisen takia. Sitä käytetään paljon myös vaneriteollisuudessa. (Siikanen 2016, 33–34)

Kotimaisista lehtipuista koivu sopii lujouden ja tekstuurin takia havupuita paremmin huonekalu- ja vaneriteollisuuteen. Muita tyypillisiä kotimaisia lajeja ovat haapa, leppä ja tammi. Haapaa käytetään monipuolisesti ulkoverhouksissa, saunojen lauteissa, vanereissa sekä kalusteissa ja käyttöesineissä. Leppä soveltuu erilaisten veistotöiden lisäksi seinä- ja kattopaneeleiksi ja saunan lauteisiin. Tammi on kovuutensa ja lahonkeston takia yleinen huonekaluteollisuuden, ikkunoiden, ovien sekä lattia- ja pintaverhouksien raaka-aine. (Siikanen 2016, 33–37)

Yleisimpiä ulkomaisia puulajeja ovat muun muassa mahonki, saarni, tiikki, vaahtera ja lehtikuusi. Eniten tuodaan tammea, jota kasvaa Suomessa vähän. Ulkomailta tuotavat jalopuut poikkeavat kotimaisista käyttöominaisuuksiltaan erityisesti paremmalla kulutuksen- ja kosteudenkestävyydellään sekä keveydellään. (Siikanen 2016, 33)

Liimapuun kestävyysongelmat eivät tyypillisesti johdu liimasaumasta, vaan puumateriaalista. Käyttörasituksen mukaan esimerkiksi säälle alttiit liimapuupinnat olisi hyvä suojata joko rakenteellisesti tai kemiallisesti. Liimapuussa esiintyvät halkeilut harvoin johtuvat liimausvirheestä. Yleisemmin ne johtuvat joko materiaali- tai valmistusvirheestä, kosteusvaihteluista tai rasituskeston ylittämisestä. (Viitanen, 2019)

Oleellista rungon pitkäaikaiskestävyydelle on valita käyttötarkoitukseen sopiva rakenne. Luonnonkuormat on otettava erikseen huomioon runkorakenteen kestoikätaivoitetta parantaessa. Jos pientalon tavoiteltu käyttöikä on yli 100 vuotta, olisi kuormien omaisarvoja korotettava 20 %. (Viitanen, 2019)

5.2 Huollon tarve

Haastavissa ilmasto-olosuhteissa useita kymmeniä, jopa satoja vuosia säilyneet puurakennukset osoittavat puun kestävän pitkään oikein käytettynä. Silti jopa alle 50 vuotta vanhoissa taloissa esiintyy erilaisia kosteus- ja sisäilmaongelmia. Korjaamisen ja huollon tarve lisääntyvät talokannan ikääntyessä, mikä on väistämätöntä. Yleisimmät syyt korjauksille runkomateriaalista riippumatta ovat talon normaali vanheneminen ja kuluminen sekä erilaiset esteettiset, ennaltaehkäisevät ja laadulliset syyt (Tilastokeskus 2021).

Asukkaalle ja rakennuksen omistajalle mahdollisimman vähäinen huollontarve on usein tavoiteltava ominaisuus. Puutalo vaatii kuitenkin säännöllistä huoltoa, jotta se kestää pitkään. Huoltovälin pituuteen on mahdollista vaikuttaa suunnitteluvaiheessa, kun valitaan esimerkiksi käytettävä puumateriaali ja menetelmät puun suojaamiseen.

Huollettavuutta voidaan parantaa kiinnittämällä huomiota osan pitkäaikaiskestävyyteen sijainnin mukaan. Näkyvillä olevat rakennusosat ovat tyyppillisesti helpommin huollettavissa. Myös pinnan tasaisuus ja korkeus vaikuttavat. Rakenteiden sisällä olevien osien kestävyyteen kannattaa panostaa, sillä ne ovat hankalia ja kalliita huoltaa. Usein tällaiset puurakenteet kyllästetään, jos riski kosteusvauriolle on olemassa.

Huoltoon liittyy myös kuluviene osien säännöllinen vaihto. Osien helppo vaihdettavuus voi pidentää koko rakennuksen käyttöikä. Tätä tutkitaan paljon myös kiertotalouden näkökulmasta, sillä ehjänä irrotettavat ja siirrettävät rakenneosat mahdollistavat osien käytön muualla sellaisenaan. Erityisesti liitoskohdat ovat keskeisenä osana.

Huollettavuus on usein myös mukavuuskysymys. Hankala ja epämieltyvä huoltotoimenpide voi viivyttää huollon tekemistä. Epäsäännöllisesti toteutetut huollot esimerkiksi julkisivun käsittelyssä voivat aiheuttaa vaurioita, jolloin verhoilulautoja saattaa joutua vaihtamaan kokonaan. Säännöllinen talon huoltaminen on lopulta usein se helpoin vaihtoehto.

5.3 Asumisen viihtyvyys

Huolellisella suunnittelulla on suora vaikutus asumisen viihtyvyyteen ja sitä kautta myös kestävyyteen. Kun talo on sekä toimiva että kaunis, siinä viihdytään pitkään ja siitä pidetään parempaa huolta. Hyvin valitut puun paikat vaativat asukkaalta vähemmän sekä varovaisuutta että huoltoa ja parantavat asumismukavuutta.

Työssä on painotettu puun rakenteellisen kestävyyden suunnittelua. Puumateriaalin käyttöä voidaan kuitenkin suunnitella myös visuaalisista lähtökohdista. Se on yhtä tärkeää kestävyyden kannalta, sillä asuinympäristön laatu liittyy suoraan sosiaaliseen kestävyyteen. Materiaalin rakenteellinen ja visuaalinen suunnittelu eivät kumpikaan poisulje toisiaan. Näiden yhtäaikainen suunnittelu johdattaa kokonaisvaltaisesti kestäväan rakentamiseen.

Yksityiskohtien huolellinen suunnittelu vaikuttaa asukkaiden viihtymiseen ja arjen toimintaan. Talon osat, joilla kuljetaan ja liikutaan paljon, altistuvat helpoiten kulumiselle ja likaantumiselle. Kun kiinnitetään huomiota erityisesti näiden osien laatuun, voidaan varmistaa pitkä kestoikä.

Puun käyttöä asuinympäristössä on hyvä suunnitella huolellisesti, sillä sen on todettu vaikuttavan monella myönteisellä tavalla ihmiseen. Puulla on havaittu olevan esimerkiksi stressitasoja laskeva vaikutus, jonka lisäksi se koetaan usein lämpimäksi ja rauhoittavaksi materiaaliksi. (Muilu-Mäkelä et al. 2014) Näiden vaikutusten tehostaminen edellyttää usein näkyvää puupintaa (kuva 14). On hyvä suunnitella huolella, mihin puuta halutaan jättää näkyville ilman, että puun pitkäaikaiskestävyys kärsii.



Kuva 14: Luukku talo. Kohteessa on paljon puupintaa näkyvillä, mikä luo sisätiloihin rauhoittavan tunnelman. (Puuinfo 2020)

6. YHTEENVETO

Puumateriaalin kestoikään ja huoltotiheyteen voidaan vaikuttaa laajasti jo suunnitteluvaiheessa. Tästä syystä on tärkeää selvittää, kuinka paljon valittua materiaalia ollaan valmiita huoltamaan. Myös puulla voidaan saavuttaa korkea kestoikä ja pitkät huoltovälit, kun valitaan laadukkaat materiaalit oikeaan käyttötarkoitukseen. Kokonaisuuden toimivuus on pitkälti yksityiskohdista kiinni.

Huolellinen suunnittelu on kestävää suunnittelua – kaikista kestävyiden näkökulmista katsottuna. Kun rakennus suunnitellaan yksityiskohtia myöten kestäväksi ja toimivaksi, sen käyttöikä ja käyttömukavuus kasvavat. Tästä seuraa niin ekologisen, kuin sosiaalisen ja taloudellisen kestävyiden toteutuminen.

Rakentaminen ja suunnittelu vaativat oman aikansa. Kokonaisuutta katsoessa huolellisuus säästää lopulta sekä aikaa että kustannuksia. Nopeat ja harkitsemattomat päätökset johtavat helposti virheisiin, jotka voivat olla pientalorakentamisessa joko käyttömukavuuteen tai rakenteelliseen toimivuuteen liittyviä. Pitkällä aikavälillä pienetkin virheet saattavat kasvaa ongelmiksi, jotka johtavat lopulta laajamittaisiin korjauksiin.

Puun rinnalle on kehittymässä uusia ekologisia materiaaleja, joiden tarve ja käyttö kasvavat koko ajan. Huolellisen suunnittelun merkitystä ei materiaalista riippumatta saisi unohtaa ja niin suunnittelijoilla kuin rakentajillakin on vastuu materiaalituntemuksen kehityksestä. Hyvän rakentamisen laadun säilyttäminen ja edistäminen ovat edellytyksiä kestäväen rakennuskannan toteutumiselle.

Esimerkkejä pitkään säilyneistä toteutuksista on haastavaa löytää ja aiheeseen liittyen olisi kiinnostavaa saada jatkoselvityksiä erilaisista yksityisistä ja julkisista kohteista. Julkisempi seuranta toteutuneista kohteista ja niiden huolloista toisi arvokasta tietoa sekä suunnittelijoille että rakentajille. Tämän lisäksi helposti saatavilla oleva tieto aidosti toimivista ratkaisuista tukisi tulevaisuuden kestäväen rakentamista.

LÄHTEET

Ahokas, J., 2009. *Modifioitujen puutuotteiden kilpailukyky eri kohteissa*. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5253/Ahokas_Jaana.pdf?sequence=1&isAllowed=y [noudettu 14.4.2023]

Bak-Andersen, M., 2021. *Reintroducing Materials for Sustainable Design: Design Process and Educational Practice*. Routledge, London. Saatavissa: <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.4324/9781003109525> [noudettu 4.4.2023]

Heräjärvi, H. & Viitanen, J., 2021. *Puun käytön lisäpotentiaali on pientalorakentamisessa*. Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/blogit/puun-lisakayton-potentiaali-on-pientalorakentamisessa> [noudettu 12.4.2023]

Hirvilampi, T., 2023. Rakennusoppi IV. ARK.RH.320 *Järjestelmärakentaminen, runkojärjestelmät. Rakennusmateriaalit, materiaalikehitys*. Tampereen yliopisto.

Huuhka, S., Köliö, A., Annala, P. & Poti, A., 2018. *Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet*. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2> [noudettu 13.4.2023]

Janhonen, K., Mattila, M., Mesiranta, N., Kouhia, A., Autio, M. & Närvänen, E., 2020. *Kohti kestäväää kuluttamista: Materiaalitaju kuluttajien ja materiaalien aktiivisen suhteen hahmottajana*. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202012239156> [noudettu 5.4.2023]

Jukola, H., 2012. *Omakotitalon sisäpintojen materiaalivalintasuunnitelma*. Insinööritö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46880/Omakotitalon%20pintamateriaalivalinta.pdf?sequence=1> [noudettu 15.4.2023]

Kaila, P., 1997. Talotohtori: Rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo. WSOY

Kodin turvaopas. *Tunnista kodin paloriskit*. Saatavissa: <https://www.kodinturvaopas.fi/paloturvallisuus/tunnista-kodin-paloriskit/> [noudettu 16.4.2023]

Kokkolan kaupunki. *Neristan*. Saatavissa: <https://www.visitkokkola.fi/neristan-koe-kokkola-kavellen/neristan/> [noudettu 13.4.2023]

Kozlovská, M. & Švajlenka, J., 2018. *Houses Based on Wood as an Ecological and Sustainable Housing Alternative—Case Study*. Saatavissa: https://mdpi-res.com/sustainability/sustainability-10-01502/article_deploy/sustainability-10-01502.pdf?version=1525942739 [noudettu 5.4.2023]

Kromoser, B., Reichenbach, S., Hellmayr, R., Myna, R. & Wimmer, R., 2022. *Circular economy in wood construction – Additive manufacturing of fully recyclable walls made from renewables: Proof of concept and preliminary data*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128219> [noudettu 13.4.2023]

Luonnonvarakeskus, 2022. *Puun käyttö 2021 (ennakko)*. Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-kaytto/puun-kaytto-2021-ennakko> [noudettu 11.4.2023]

Maankäyttö- ja rakennuslaki 2017. L 28.11.2017/848. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848> [noudettu 16.4.2023]

Maankäyttö- ja rakennuslaki 2014. L 17.6.2014/477. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477> [noudettu 16.4.2023]

Metsäbiotalouden tiedepaneeli, 2023. Metsäbiotalouden kasvu ja kestävyys. [pdf] Saatavissa: https://metsatiedepaneeli.fi/assets/metsabiotalouden_kasvu_ja_kestavyys.pdf [noudettu 16.4.2023]

Muilu-Mäkelä, R., Haavisto, M. & Uusitalo, J., 2014. *Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä – Kirjallisuuskatsaus*. Vantaa. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2523-5> [noudettu 4.4.2023]

Puuinfo, 2020a. *Pintakäsittelyt sisätiloissa*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puupinnat/puun-pintakäsittelyt/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020b. *Ulkoverhous*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/teeseitse/remontointi/ulkoverhous/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020c. *Puun käyttö rakentamisessa*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020d. *Paloteknisiä ominaisuuksia*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/paloteknisia-ominaisuuksia/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020e. *Ominaisuuksien muuttaminen*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/ominaisuuksien-muuttaminen/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020f. *Lämpötekniisiä ominaisuuksia*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/lampoteknisia-ominaisuuksia/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020g. *Puun kosteuskäyttäytyminen*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020h. *Rankarakenteet*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/soveltuvuus-kantavana-runkona/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020i. *Massiivipuulevyrakenteet*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/soveltuvuus-kantavana-runkona/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020j. *Hirsirakenteet*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/ominaispiirteita/> [noudettu 16.4.2023]

Puuinfo, 2020k. *Kosteustekniset ominaisuudet*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [noudettu 16.4.2023]

PuuProffa. *Puun ominaisuudet*. [verkkosivu] Saatavissa: <https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/puun-liitokset/puun-ominaisuudet/> [noudettu 11.4.2023]

Raahen kaupunki. *Wanha Raaha*. Saatavissa: <https://www.raahe.fi/matkailijat/wanhaaraha/> [noudettu 13.4.2023]

Rakennustieto, 2012. *Sisusteiden paloturvallisuus*. RT 08-11098

Sanastokeskus. *Rakennejärjestelmä*. Saatavissa: <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4> [noudettu 16.4.2023]

SFS. *EU ja standardointi*. Saatavissa: <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/eu-ja-standardointi/> [noudettu 13.4.2023]

Siikanen, U., 2016. *Puurakentaminen*. 2., uudistettu painos. Rakennustieto Oy, Helsinki.

Sisäministeriö. *Paloturvallisuus*. Saatavissa: <https://intermin.fi/pelastustoimi/paloturvallisuus> [noudettu 16.4.2023]

Suomela, M., Lehto, A. & Mattila, H., 2022. *Puurakentamisen kiertotalouden ratkaisut - selvityshanke*. [pdf] Saatavissa: https://inara.fi/wp-content/uploads/2022/10/inara_kiertotalous_raportti-2_2022.pdf [noudettu 11.4.2023]

Suomen maailmanperintökohteiden yhdistys ry. *Vanha Rauma*. Saatavissa: <https://www.maailmanperinto.fi/vanha-rauma/> [noudettu 13.4.2023]

The Circularity Gap Report, 2023. Saatavissa: <https://www.circularity-gap.world/> [noudettu 5.4.2023]

Tilastokeskus, 2021. *Asuntojen ja omakotitalojen korjauksiin johtaneet syyt, prosenttiosuus vastaajista*. Saatavissa: <https://stat.fi/aihe/asuminen-ja-rakentaminen> > Korjausrakentaminen > Siirry tietokantaan > Asuntojen ja omakotitalojen korjauksiin johtaneet syyt, prosenttiosuus vastaajista, 2016–2021 [noudettu 24.1.2023].

Viitanen, H., 2019. *Vaativien puurakenteiden suunnittelu. Elinkaarisuunnittelu*. [pdf] Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/47_Puurakennuksen-elinkaari-suunnittelu.pdf [noudettu 11.4.2023]

Ympäristöministeriö. *Rakennustuotteet*. Saatavissa: <https://ym.fi/rakennustuotteet> [noudettu 13.4.2023]

Ympäristöministeriö. *Rakentamisen kiertotalous*. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous> [noudettu 13.4.2023]

KUVALÄHTEET

Kuva 1: Kromoser, B., Reichenbach, S., Hellmayr, R., Myna, R. & Wimmer, R., 2022. *Puurakentamisen elinkaari*. [kaavio] Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128219> [noudettu 13.4.2023]

Kuva 2: Luonnonvarakeskus, 2022. *Puun käyttö 2021*. [kaavio] Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-kaytto/puun-kaytto-2021-ennakko> [noudettu 13.4.2023]

Kuva 3: Puuinfo, 2020k. *Puun muutokset*. [kuva] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [noudettu 13.4.2023]

Kuva 4: Puuinfo, 2020g. *Sahatavaran muutokset*. [kuva] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/> [noudettu 13.4.2023]

Kuva 5: Heräjärvi, H. & Viitanen, J., 2021. *Rakennus- ja asuntotuotannon toteutuneet rakennusmäärät ja sahatavaran kotimainen kulutus 1995–2019*. [kuvaaja] Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/blogit/puun-lisakayton-potentiaali-on-pientalorakentamisessa> [noudettu 13.4.2023]

Kuva 6: Siikanen, U., 2016. *Rakenteellinen suojaus*. [kuva]. Teoksessa: Siikanen, U., 2016. Puurakentaminen. 2., uudistettu painos. Rakennustieto Oy, Helsinki. 85.

Kuva 7: Davies, I. & Wood, J. 2010. *Epätasainen harmaantuminen*. [valokuva]. Teoksessa: Davies, I. & Wood, J. 2010. External timber cladding: design, installation and performance. Edinburgh. Arcamedia. 65

Kuva 8: Kaila, P. 1997. *Hirsijulkisivu*. [valokuva]. Teoksessa: Kaila, P. 1997. Talotohtori: Rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo. WSOY. 298.

Kuva 9: Kiviniemi, S., 2013. *Kerimäen kirkko ja kirkkoranta*. [valokuva] Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kerim%C3%A4en_kirkkoranta.jpg [noudettu 13.4.2023]

Kuva 10: Puuinfo, 2020h. *Rankarunkoisen ulkoseinän ja alapohjan liittymän suunnittelussa huomioitavia seikkoja*. [kuva] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankaraken-teet/soveltuvuus-kantavana-runkona/> [noudettu 16.4.2023]

Kuva 11: Salminen, S. & Zamorano, M. *Luukku talo*. (suunn. Luukku-team, Aalto university) [valokuva] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/vapaa-ajan-rakennukset/luukku-talo/> [noudettu 17.4.2023]

Kuva 12: Tauru, E., 2023. Auringon valon aiheuttama sävyero puupinnassa. [valokuva]

Kuva 13: Räisänen, K. & Tiainen, J. *Aurinkorinne, Friisilän pientalot*. (suunn. Arkkitehti-toimisto Pauliina ja Juha Kronlöf Oy) [valokuva]. Saatavilla: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/pientalot/aurinkorinne-friisilan-pientalot/> [noudettu 17.4.2023]

Kuva 14: Salminen, S. & Zamorano, M. *Luukku talo*. (suunn. Luukku-team, Aalto university) [valokuva] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/vapaa-ajan-rakennukset/luukku-talo/> [noudettu 17.4.2023]

Taulukko 1: Ahokas, J., 2009. *Käsitlemättömän puun Brinell- ja Janka-kovuusarvoja*. [taulukko] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5253/Ahokas_Jaana.pdf?sequence=1&isAllowed=y [noudettu 14.4.2023]