

Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio.
Muuttuva rakennettu ympäristö. Julkaisu 4
Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio.
Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 165

Satu Huuhka, Arto Köliö, Petri Annila & Antti Poti
Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet



Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio. Muuttuva rakennettu ympäristö. Julkaisu 4.

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 165.

Tampere University of Technology. Architecture. Built Environment in Transition. Publication 4.

Tampere University of Technology. Civil Engineering. Structural Engineering. Research Report 165.

Satu Huuhka, Arto Köliö, Petri Annila, Antti Poti

Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet

Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio.
Muuttuva rakennettu ympäristö. Julkaisu
ISSN 2342-8058

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio.
Rakennetekniikka. Tutkimusraportti
ISSN 2489-6950

ISBN 978-952-15-4075-2

Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin & Rakennustekniikan laboratoriot.

Satu Huuhka, Arto Köliö, Petri Annala, Antti Poti

Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet

Avainsanat: puu, puurakenteet, puutuotteet, purkaminen, purkujäte, puujäte, uudelleenkäyttö, kierrätys, hyödyntäminen, kiertotalous

Tiivistelmä

Puu on Suomessa merkittävä, ellei merkittävin rakennusmateriaali. Olemassa olevasta rakennuskannastamme suurin osa, 45%, on rakennettu puusta. Kaikesta rakennus- ja purkujätteestä yksi kolmasosa on puuta, toisen kolmasosan koostuessa betoni- ja tiilijätteestä ja lopun muista materiaaleista. Näin puuta voidaan jopa pitää merkittävimpänä purkujättejakeenamme.

Tällä hetkellä purkupuuta ei hyödynnetä lähes lainkaan materiaalina, vaan lähes kaikki siitä poltetaan energiaksi. EU:n jätedirektiivi, jonka määräykset on siirretty Suomen kansalliseen lainsäädäntöön vuoden 2011 jätelaissa, kuitenkin edellyttää, että kokonaisten tuotteiden uudelleenkäyttö on asetettava energia- ja uusiokäytön edelle.

Tämä raportti tarkastelee rakennuksista peräisin olevan puretun puumateriaalin uudelleenkäytön mahdollisuuksia rakentamisessa ko. materiaalin ominaisuuksien ja rakenteille sekä rakennuksille asetettavien vaatimusten näkökulmista. Purettua materiaalia määrittää voimakkaasti se, mistä rakennustyypeistä se on peräisin.

Määrällisesti merkittävin purettu puurakennustyyppi ovat pientalot. Niiden purkaminen kohdistuu erityisesti jälleenrakennuskauden ja 1900-luvun alun rakennuskantaan, jolloin pääasiallisia rakentamistapoja ovat olleet ranka- ja hirsirakentaminen. Muita merkittäviä purettuja puurakennustyyppisiä ovat liike- ja toimistorakennukset, julkiset rakennukset, teollisuusrakennukset sekä varastot. Näissä rakennustyypeissä purkamisen volyymit kohdistuvat selvästi uudempaan rakennuskantaan, erityisesti 1980-luvun rakennuksiin. Näille leimallisia rakentamistapoja ovat liimapuiset pilari-palkkirakenteet sekä kolminivelkehät.

Raportissa esitellään em. rakentamistapojen ominaispiirteet, niissä käytetyt puiset rakennusosat tyypillisine mittoineen sekä tavanomaiset osien väliset liitostavat. Uusista puurakentamistavoista sivutaan lisäksi massiivipuulevyrakentamista (esim. CLT), koska sen käyttöä halutaan tällä hetkellä lisätä kerrostalotuotannossa, jolloin rakennusosien purettavuus ja uudelleenkäytettävyyys olisi hyvä ratkaista jo ennen järjestelmien laajamittaista käyttöönottoa.

Selvityksessä arvioidaan puisten rakennusosien välisten liitosten purettavuutta ja purkamisen tuottamien rakennusosien ja puumateriaalin ominaisuuksia uusiin rakennusosiin ja neitseelliseen puutavaraan verrattuna. Lisäksi esitetään tiivistelmä rakentamista koskevien määräysten muuttumisesta, sillä normien kiristyksen paitsi selittävät muutoksia rakentamistavoissa, myös asettavat reunaehdot vanhojen rakennusosien käyttömahdollisuuksille. Alkuperäiseen rakennukseen verrattuna rakennusosien uudelleenkäyttö edellyttääkin usein muutoksia rakenteisiin tai rakennejärjestelmään, esimerkiksi eristyksen lisäämistä, jännevälin lyhentämistä tai palkiston tihentämistä.

Kaikista puurakenteista on saatavissa uudelleenkäytettäviä puuosia, mutta toiset rakennejärjestelmät soveltuvat silti uudelleenkäyttöön toisia paremmin. Uudelleenkäytön liiketoimintaedellytyksiä loisi erityisesti lainsäädännön selkiyttäminen uudelleenkäytettävien rakennusosien suhteen sekä lajittelu-, laatu- ja lujuusluokitusten luominen.

Tampere University of Technology. Architecture & Civil Engineering.

Satu Huuhka, Arto Köliö, Petri Annala, Antti Poti

Reuse possibilities of timber structures

Keywords: wood, timber, timber structures, wood products, demolition, deconstruction, reuse, recycling, utilization, circular economy

Abstract

Timber is a significant, if not the most significant, construction material in Finland. The majority of the Finnish building stock, 45 %, is wooden. One-third of Finnish construction and demolition waste is wood, while mineral materials (concrete and bricks) make up one-third and the rest is composed of other materials. So, timber can even be considered as the most significant demolition waste fraction in Finland.

The demolished wood is currently not recycled as material but almost solely utilized in energy production. However, EU's Waste Framework Directive, which was implemented in Finland's national legislation in the Waste Act of 2011, requires that reuse of building components is favoured over energy use and recycling.

This report investigates the possibilities of reusing secondary timber originating from buildings in new construction. The investigation takes into account the material properties of the deconstructed components as well as the current requirements set for buildings. The origins, i.e. the donor buildings, strongly define the properties of the material.

Quantitatively, the most significant building type amongst demolished buildings is the single-family house. Most demolished houses originate from the reconstruction era (1940s and 1950s) or early 20th century. Their typical construction methods were balloon framing and notched log construction. Other significant building types are commercial and office buildings, public buildings, industrial buildings and warehouses. The demolished buildings are clearly younger than detached houses, originating in particular from the 1980s. Characteristic construction methods are post-beam frames and three-hinged frames from glued laminated members.

The report presents the main characteristics of the aforementioned construction methods, their characteristic timber members and the usual connection types between the members. The report also touches upon one emerging timber construction method, namely massive timber panel construction (e.g. CLT). This is because there is currently an incentive to increase the use of the method in the construction of blocks of flats. It would be optimal if the deconstruction and reuse of the panels could be taken into account before use of the method becomes more widespread.

The study evaluates the deconstructability of connections between timber members, as well as the characteristics of the deconstructed members and the wooden material in comparison to new timber members and virgin wood. In addition, the report summarizes the evolution of construction legislation. The tightening of the norms not only explains changes in construction methods but also set boundaries for the reuse possibilities of old building parts. Often, reusing members demands that changes are made to structures or the structural system. For instance, insulation must be increased, spans shortened or beams set more frequently.

Reusable timber can be extracted from all structural systems but some systems enable deconstruction better than others. In order to facilitate business, regulation and classification (e.g. strength grading) should acknowledge and accommodate salvaged building parts.

ALKUSANAT

Ajatus rakennusten käytön aikaisen energiatehokkuuden tärkeydestä löi Suomessa lopullisesti läpi 2000-luvulla. Nyt 2010-luvulla energiatehokkuuden rinnalle ovat vahvasti nousseet resurssitehokkuuden ja kiertotalouden käsitteet, jotka laajentavat näkökulmaa rakennusmateriaalivalintojen ympäristövaikutuksilla rakennuksen elinkaaren alku- ja loppupäässä. Voidaan ennakoida, että 2020-luvulla rakentamismääräykset tulevat todennäköisesti huomioimaan rakennusmateriaalien kierrätettävyyden ja hiilijalanjäljen – jota usein voidaan alentaa juuri kierrättämällä.

Tämän selvityshankkeen tavoitteena on ollut tarkastella rakennuksista peräisin olevan puretun puumateriaalin uudelleenkäytön edellytyksiä rakentamisessa nimenomaan ko. materiaalin ominaisuuksien ja rakenteille sekä rakennuksille asetettavien vaatimusten näkökulmista. Olemme aiemmin laatineet vastaavan selvityksen betonirakenteista (Lahdensivu ja muut 2015). Uudelleenkäytettävän puun mahdolliseen jätteen statukseen liittyvä problematiikka (kuten ns. ei-enää-jätettä/end-of-waste -kriteeristö) on rajattu työn ulkopuolelle, samoin kuin hyödyntämisen liiketaloudelliset näkökulmat. Selvitys ei myöskään käsittele puujätteen uusiokäyttöä uusien tuotteiden raaka-aineena. Hankkeen työnimi oli "Puurakenteiden uudelleenkäytön edellytykset" ja sen lyhenne "ReWood".

TTY:n Talouden ja rakentamisen tiedekunnassa hanketta on johtanut TkT Satu Huuhka Arkkitehtuurin laboratorion. Tutkimusryhmän ovat muodostaneet hänen lisäkseen TkT Arto Köliö, DI Petri Annala ja tekn. yo Antti Poti Rakennustekniikan laboratorion. Huomioita raportin sisältöön ovat antaneet myös TkT Markku Karjalainen Arkkitehtuurin laboratorion ja TkT Jukka Lahdensivu Rakennustekniikan laboratorion.

Selvitys on kokonaisuudessaan Ympäristöministeriön rahoittama. Hankkeen valvojana toimi neuvotteleva virkamies Else Peuranen ympäristönsuojeluosastolta. Hanketta ohjasivat myös yliarkkitehti Harri Hakaste, erityisasiantuntija Matti Kuittinen ja ohjelmapäällikkö Petri Heino rakennetun ympäristön osastolta.

Kiitämme kaikkia hankkeen mahdollistaneita ja siihen osallistuneita henkilöitä.

Tampereella 29.12.2017

Tekijät

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	PURETUT PUURAKENNUKSET	10
3	RAKENNEJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN KÄYTTÖKOHTEET	15
3.1	HIRSIRAKENTEET	15
3.2	RANKARAKENTEET	17
3.3	PILARI-PALKKIRAKENTEET	19
3.4	KOLMINIVELKEHÄT JA RISTIKOT	19
3.5	MASSIIVIPUULEVYRAKENTEET	21
3.6	RAKENNEJÄRJESTELMIEN YHTEENVETO	22
4	RAKENNUSOSAT	23
4.1	SEINÄT	23
4.1.1	<i>Hirsiseinät</i>	23
4.1.2	<i>Rankaseinät</i>	23
4.1.3	<i>Massiivipuulevyseinät</i>	24
4.2	PILARIT	25
4.3	PALKIT JA VÄLIPOHJAT	25
4.4	KATTORAKENTEET	27
4.5	TÄYDENTÄVÄT RAKENNUSOSAT	28
4.5.1	<i>Ikkunat</i>	28
4.5.2	<i>Ovet</i>	29
4.5.3	<i>Verhouslaudat ja -paneelit</i>	30
4.5.4	<i>Lattiat</i>	31
4.5.5	<i>Levyt</i>	32
5	ASENNUS JA LIITOKSET	33
5.1	OSIEN LIITOKSET RUNKOON JA TOISIINSA	33
5.1.1	<i>Salvokset ja muut puuliitokset</i>	33
5.1.2	<i>Naula-, ruuvi ja tappiliitokset</i>	35
5.1.3	<i>Naulalevyt ja naulauslevyt</i>	35
5.1.4	<i>Metalliset tartuntaosat</i>	36
5.1.5	<i>Liimaliitokset</i>	37
5.2	ALKUPERÄISTEN LIITOSTEN PURETTAVUUS	37
5.3	UUELLEENLIITTÄMINEN	39
6	RAKENTEIDEN OMINAISUUDET JA VAURIOT	40
6.1	UUELLEENKÄYTETTÄVIEN PUURAKENTEIDEN OMINAISUUDET	40
6.1.1	<i>Puulajit</i>	40
6.1.2	<i>Puuaineksen laatu ja lujuus</i>	40
6.1.3	<i>Pintakäsittelyt</i>	41
6.1.4	<i>Rakennusosien mitat</i>	42
6.2	PUURAKENTEIDEN VAURIOT	42
6.2.1	<i>Lahovauriot</i>	43
6.2.2	<i>Hyönteisvauriot</i>	43
6.2.3	<i>Taipumat</i>	44
6.2.4	<i>Naulat ja naulanreiät</i>	45
6.2.5	<i>Vaurioituminen purkamisen yhteydessä</i>	45

6.3	TERVEYDELLE JA YMPÄRISTÖLLE HAITALLISET AINEET	45
6.3.1	<i>Haitta-aineet</i>	45
6.3.2	<i>Kyllästeet</i>	46
6.3.3	<i>Mikrobit</i>	47
7	NORMIEN MUUTOKSET	49
7.1	RAKENTEIDEN KUORMITUS JA VARMUUS	49
7.2	LÄMMÖNERISTYS	50
7.3	VEDEN- JA KOSTEUDENERISTYS	51
7.4	ÄÄNENERISTYS	51
7.5	RAKENTEEN ILMATIIVEYS	52
7.6	PALONKESTÄVYYS	52
7.7	TUOTEHYVÄKSYNTÄ	53
7.8	HAITALLISET AINEET	53
8	PÄÄTELMÄT JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	54
8.1	RAKENNEOSIEN UUELLEENKÄYTTÖPOTENTIAALI	54
8.2	RAKENTEIDEN OMINAISUUKSIEN JA VAURIOITUMISEN VAIKUTUS UUELLEENKÄYTTÖÖN	56
8.3	NORMIEN MUUTOKSET	56
8.4	TOIMENPIDESUOSITUKSET JA LISÄTUTKIMUSTARPEET	57

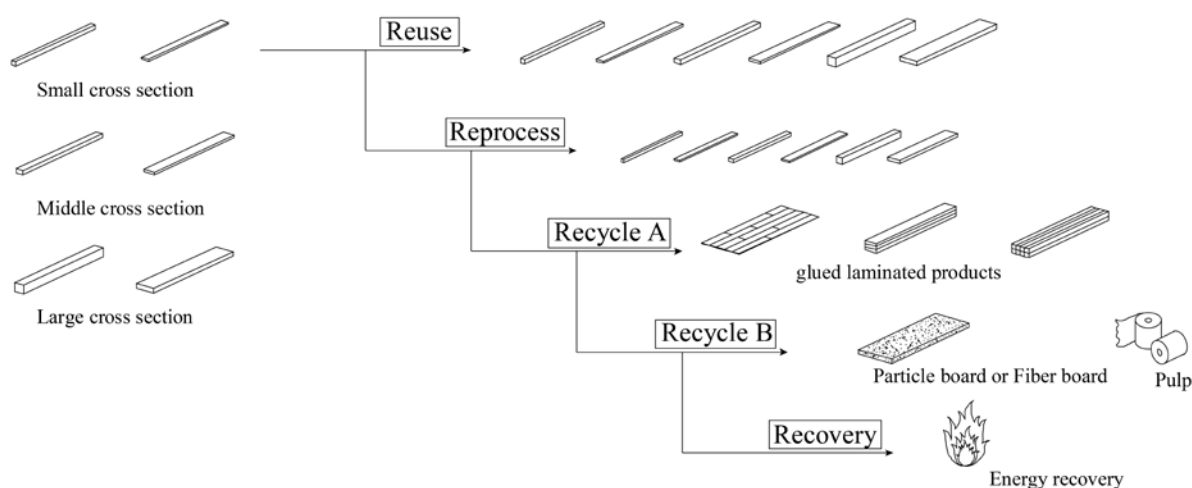
1 JOHDANTO

Puu on Suomessa merkittävä, ellei merkittävin rakennusmateriaali. Olemassa olevasta rakennuskannastamme suurin osa, 45%, on rakennettu puusta. Kaikesta rakennus- ja purkujätteestä yksi kolmasosa on puuta, toisen kolmasosan koostuessa betoni- ja tiilijätteestä ja lopun muista materiaaleista. Näin puuta voidaan jopa pitää merkittävimpänä purkujättejakeenamme.

Tällä hetkellä purkupuuta ei hyödynnetä lähes lainkaan materiaalina, vaan lähes kaikki siitä poltetaan energiaksi. Tosin historiallisten rakennusten korjaamiseen keskittyvät yhdistykset ja yritykset ylläpitävät ympäri Suomea lukuisia vanhojen rakennusosien "varaosapankkeja", mutta toiminta on purkupuujätteen kokonaisvolyymiin nähden pientä.

EU:n jätedirektiivi, jonka määräykset on siirretty Suomen kansalliseen lainsäädäntöön vuoden 2011 jätelaissa, kuitenkin edellyttää, että kokonaisten tuotteiden uudelleenkäyttö on asetettava uusiokäytön ja muiden hyödyntämistapojen edelle. Kun direktiivissä on lisäksi tavoite, että 70 % rakennus- ja purkujätteestä olisi hyödynnettävä materiaalina vuoteen 2020 mennessä, on purkupuunkin hyödyntämistä muuten kuin polttamalla selvitettävä. Ellei puujätteelle löydetä materiaalihyödyntämisen tapaa, edellyttäisi 70 %:n tavoitteen saavuttaminen muiden purkujättejakeiden täysimääräistä materiaalihyödyntämistä (kun 30% purkujätteestä siis koostuu puusta).

Purkupuun uudelleenkäyttömahdollisuuksien selvittäminen on sikälikin tärkeää, että puurakentamista halutaan tällä hetkellä lisätä merkittävästi. Sillä halutaan korvata päästöintensiivisten betoni- ja teräsrakenteiden käyttöä, mutta puun hyödyntäminen materiaalina rakennusten elinkaaren päättyessä on vielä pitkälti ratkaisematta. Sinänsä rakennukset ovat puulle edullinen käyttökohde, koska puun kasvaessaan ilmakehästä sitoma hiili pysyy niissä varastoituna pitkään, toisin kuin muissa tyyppillisissä biopohjaisissa tuotteissa kuten paperi- ja pahvipakkauksissa, joissa hiilen kierto on tuotteiden lyhyestä elinkaaresta johtuen huomattavasti nopeampaa. On kuitenkin katsottu, että hiilen kierron hidastaminen entisestään, puisia rakennusosia uudelleenkäyttämällä olisi tavoiteltavaa (Kuva 1).



Kuva 1 Puun kiertojen pidentäminen (engl. cascading) voi sisältää usempia uudelleenkäyttökertoja (reuse, reprocess), korkeampi- ja matalampitasoisia kierrätyskertoja (recycle A, B) ja lopulta energiahyödyntämisen (recovery). (Sakaguchi 2014).

Tämän esiselvityksen tarkoitus on tunnistaa puurakennukset ja -rakenteet, jotka omaavat eniten potentiaalia rakenteiden uudelleenkäytön kannalta. Uudelleenkäytön mahdollisuudet muodostuvat rakenteiden ja rakennusosien määrästä ja sijainnista, sekä rakenteiden purettavuudesta, teknisestä ja asumisterveyteen vaikuttavasta kunnosta sekä mitoituksesta. Lisäksi rakenteiden on pystyttävä läpäisemään vaadituilta osin nykyrakentamisen määräykset. Tämä raportti selvittää Suomen rakennuskannassa esiintyvien puurakenteisten rakennusten tyypillisiä rakenteita ja näiden mahdollisuuksia ja edellytyksiä uudelleenkäytettäväksi osana uutta rakennetta ja uutta käyttötarkoitusta.

Raportissa pidetään uudelleenkäyttönä rakennusosan osan käyttämistä sellaisenaan samaan käyttötarkoitukseen sekä sellaista uudelleenmuokkausta, jossa rakennusosa säilyy edelleen rakennusosana, vaikka sen mitat ja/tai käyttötarkoitus muuttuisivatkin. Määritelmä kattaa siis Kuvan 1 kaksi ensimmäistä tasoa eli uudelleenkäytön (reuse) ja uudelleenmuokkauksen (reprocess). Se on näin ollen laajempi kuin nykyisen jätelain käsitys uudelleenkäytöstä, jonka mukaan uudelleenkäyttöä olisi vain käyttö tismalleen samaan käyttötarkoitukseen.

Tämä johdanto muodostaa raportin ensimmäisen kappaleen. Toinen kappale antaa yleiskatsauksen Suomessa purettujen puurakennusten profiiliin ja vertaa sitä muista materiaaleista valmistettujen purettujen rakennusten profiiliin. Kolmas kappale esittelee puurakennusten runkojärjestelmät, neljäs kappale tarkentaa näihin järjestelmiin kuuluvien rakennusosien ominaisuuksia, ja viides kappale selvittää rakennusosien välisiä kiinnitystapoja sekä kiinnitysten purettavuutta.

Kuudes kappale ottaa kantaa purettujen ja uuden puumateriaalin välisiin eroavaisuuksiin mm. käytön aikaisen ja purkamisessa mahdollisesti tapahtuvan vaurioitumisen kautta. Seitsemäs kappale käy lyhyesti läpi rakentamismääräysten muuttumista, mikä osaltaan selittää puurakentamistapojen muutoksia ja auttaa lukijaa kiinnittämään huomiota uudelleenkäytössä huomioitaviin seikkoihin. Kahdeksas eli viimeinen kappale vetää yhteen selvityksessä tehdyt huomiot ja suosittelee seuraavat askeleet puun uudelleenkäyttömahdollisuuksien selvittämiseksi edelleen.

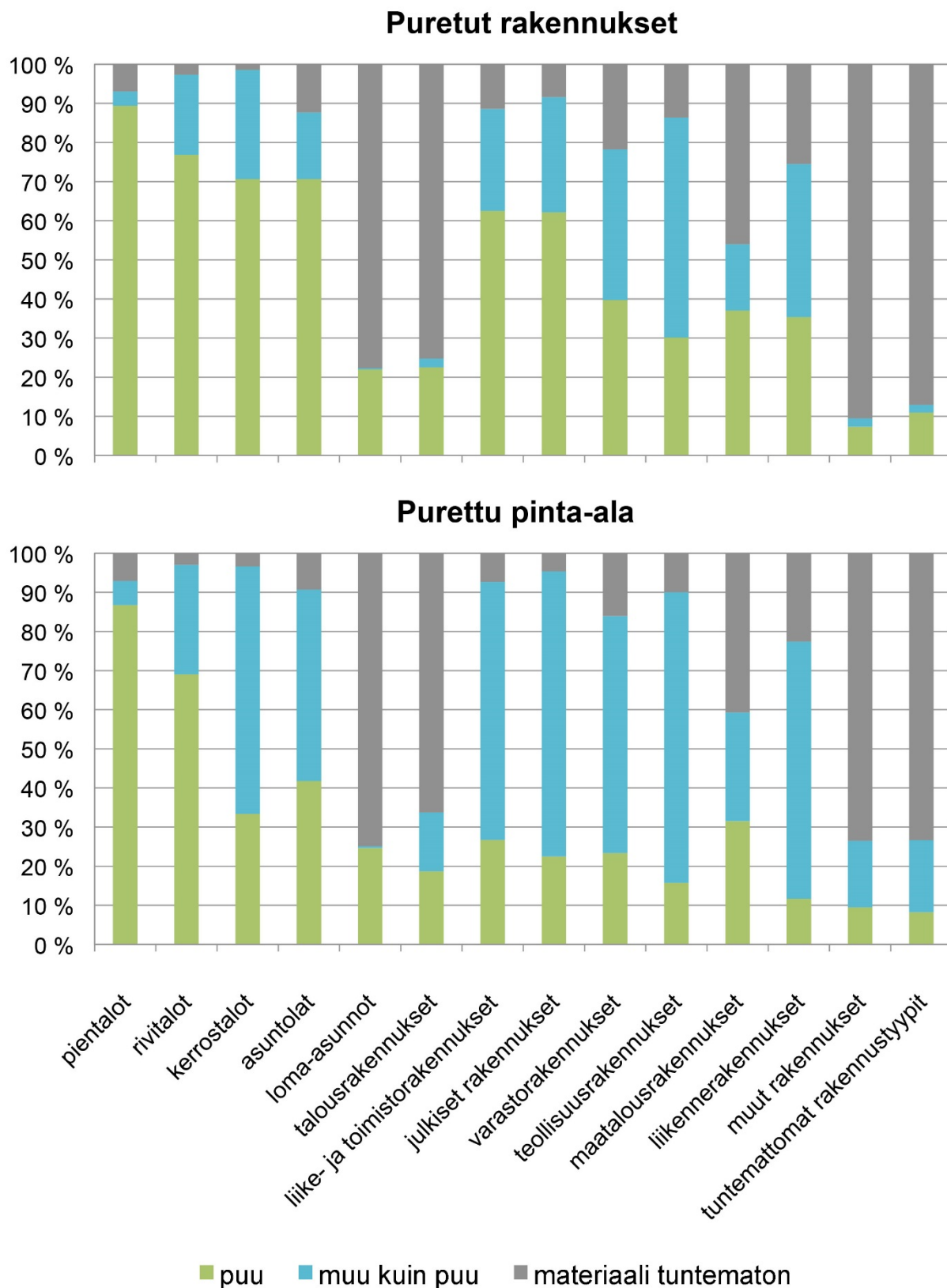
2 PURETUT PUURAKENNUKSET

Vuosien 2000 ja 2012 välillä maassamme purettiin lähes 51 000 rakennusta. Näistä hieman yli puolen pääasiallinen rakennusmateriaali tunnetaan, ja se oli 87 %:ssa tapauksista puu. Kuitenkin vain reilu 40% kaikesta puretusta pinta-alasta sijaitsi puurakenteisissa rakennuksissa. Pienempi prosenttiosuus selittyy sillä, että puu on leimallisesti pienten rakennusten materiaali. Puretun puurakennuksen pinta-ala oli keskimäärin vain 123 m². Taulukossa 1 esitetään purettujen puurakennusten rakennustyyppijakauma, ja Kuvassa 1 eritellään puurakennusten määriä ja osuuksia eri rakennustyypeistä kaikkien purettujen rakennusten joukossa.

Taulukko 1 Purettujen puurunkoisten rakennusten käyttötarkoituseritys (Huuha & Lahdensivu 2016, muokattu).

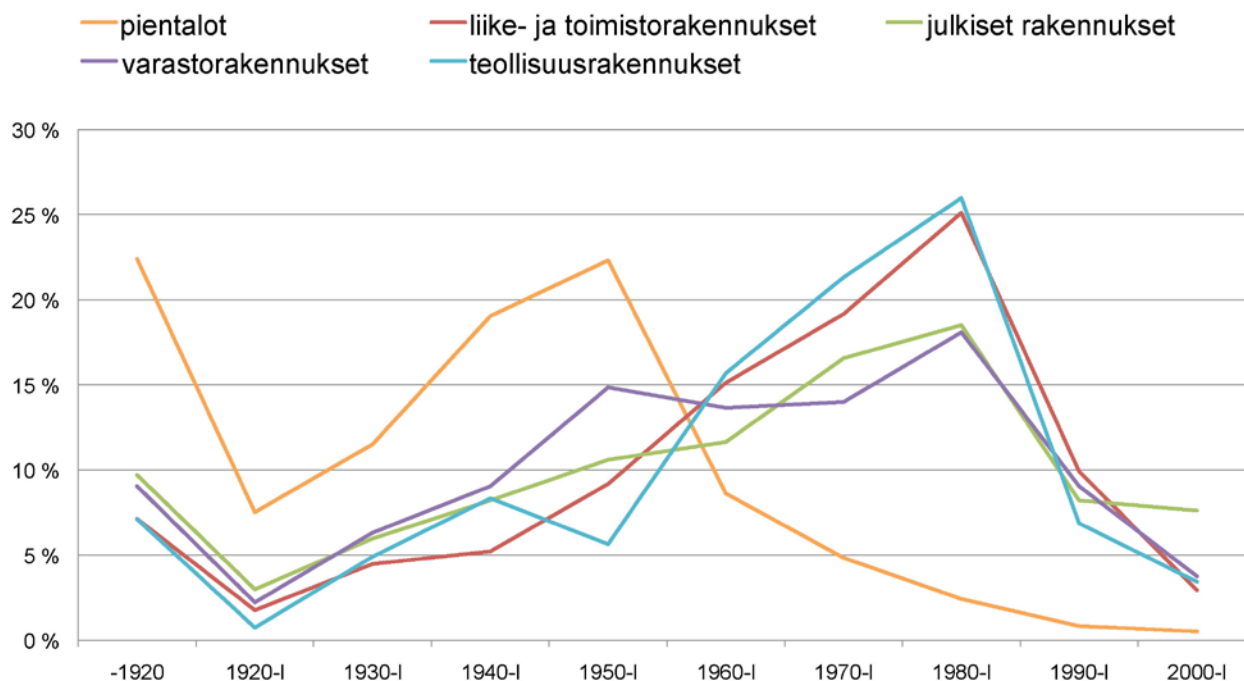
Rakennustyyppi	Rakennusten lukumäärän mukaan	Pinta-alan mukaan
pientalot	60 %	42%
rivitalot	1 %	3 %
kerrostalot	1 %	3 %
asuntolat	1 %	1 %
loma-asunnot	7 %	2 %
talousrakennukset	14 %	4 %
liike- ja toimistorakennukset	6 %	10 %
julkiset rakennukset	3 %	9 %
varastorakennukset	2 %	8 %
teollisuusrakennukset	2 %	9 %
maatalousrakennukset	2 %	4 %
liikenne rakennukset	1 %	2 %
muut rakennukset	1 %	0 %
tuntemattomat rakennustyyppit	0 %	0 %

Pientalot ovat siis määrällisesti merkittävin purettu rakennustyyppi. Pinta-alan mukaan seuraavaksi merkittävimpiä ovat liike- ja toimistorakennukset, julkiset rakennukset, teollisuusrakennukset ja varastot. Näiden rakennustyyppien ikäjakauma on esitetty Kuvassa 2. Kuva osoittaa, että pientalojen purkaminen kohdistuu erityisesti sekä kaikkein vanhimpaan ikäluokkaan (ennen 1920-lukua rakennetut) että ns. jälleerakennuskauteen (1940–50 -luvut). Muissa edellä mainituissa rakennustyypeissä purkamisen kohdistuu selvästi uudempiin rakennuksiin, erityisesti 1980-luvun kantaan. Taulukko 2 esittää purettujen puurakennusten keski-ikä ja vertailun vuoksi myös muiden rakennustyyppien vastaavat iät.



Kuva 1

Puurakennusten osuus puretuista rakennuksista rakennustyypeittäin, rakennusten kappalemäärän mukaan (ylempi kuvaaja) ja rakennusten pinta-alan mukaan (alempi kuvaaja). (Huuha & Lahdensivu 2016, muokattu).

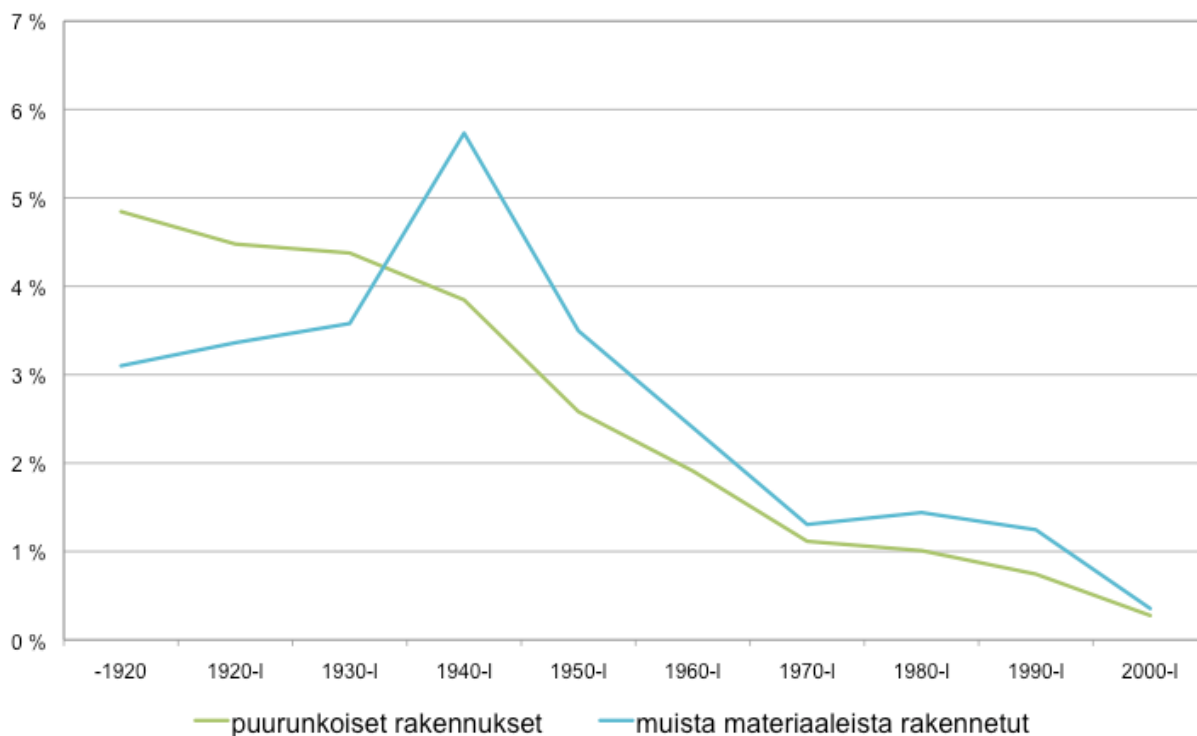


Kuva 2 Purettujen puurakennusten rakennusvuosikymmenjakaumat määrällisesti merkittävimmissä rakennustyypeissä (Huuhka 2016a, muokattu). Nämä rakennustyypit kattavat yhteensä noin 80% kaikesta puurakennuksista puretusta pinta-alasta.

Taulukko 2 Purettujen rakennusten keski-ikä¹ (vuotta). (Huuhka 2016a & saman tutkimuksen tausta-aineisto).

Rakennustyyppi	Puurunkoiset rakennukset	Muut runkomateriaalit
pientalot	64	49
rivialot	45	41
kerrostalot	68	47
asuntolat	37	35
loma-asunnot	38	37
talousrakennukset	32	29
liike- ja toimistorakennukset	39	40
julkiset rakennukset	42	40
varastorakennukset	43	30
teollisuusrakennukset	39	37
maatalousrakennukset	31	27
liikennarakennukset	35	35
muut rakennukset	34	28
tuntemattomat rakennustyypit	67	33

¹ Huom. Keski-ikä on laskettu vuosien 2000 ja 2012 välillä puretuista rakennuksista koostuvasta aineistosta. Ne eivät edusta sitä ikää, jonka tietyllä vuosikymmenellä rakennettu rakennus keskimääräisesti saavuttaa, sillä sellaisen iän laskeminen edellyttäisi tietoa kannan alkuperäisestä koosta, ennen vuotta 2000 purettujen rakennusten määrästä ja vuoden 2012 jälkeen purettujen rakennusten määrästä. Puurakennusten muita korkeampi keski-ikä johtuu siitä, että puu oli rakennusten pääasiallinen rakennusmateriaali ennen 1960-lukua. Näin ollen vanhimmat puretut rakennukset ovat useimmiten puurakennuksia, mikä nostaa niiden keski-ikää.



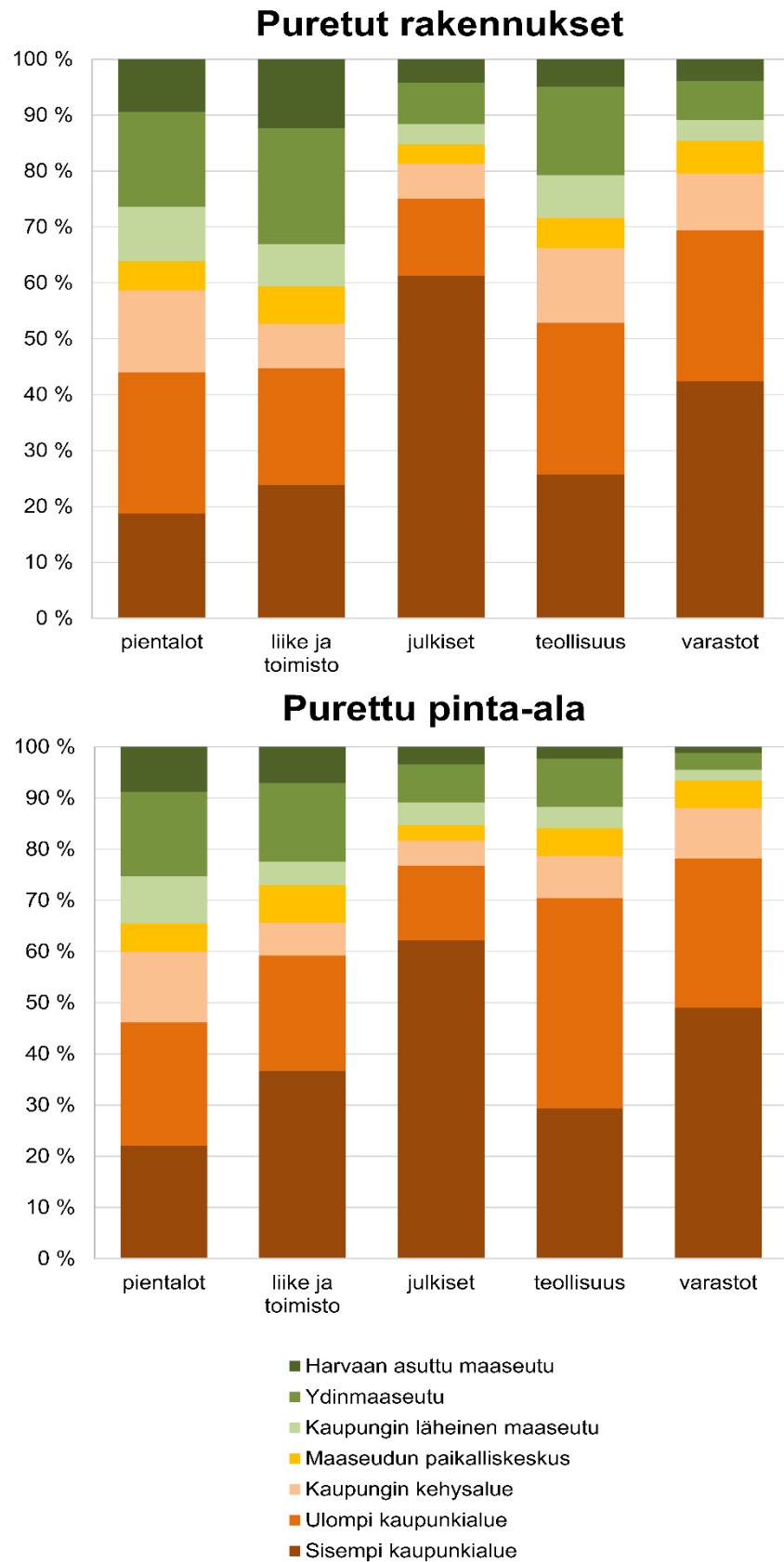
Kuva 3 Eri vuosikymmenien rakennuskannan purkuaste. Tässä kuvassa purkuaste tarkoittaa sitä prosentiosuutta vuoden 2014 kannasta, jota vuosina 2000-2012 purettujen rakennusten määrä vastaa. Kuva osoittaa siis purkamisen suhteellista kohdistumista eri vuosikymmenten kantoihin. (Huuha 2016b & saman tutkimuksen tausta-aineisto).

Kuva 3 esittää viimeaikaisen purkamisen suhteellista kohdistumista eri vuosikymmenten rakennuskantoihin sekä puurakennusten että muista materiaalista valmistettujen rakennusten suhteen. Puurakennusten kohdalla purkuaste on sitä suurempi, mitä vanhemmista rakennuksista on kysymys.

Puretuista puurakennuksista 58% sijaitsi kaupungeissa ja 42% maaseudulla, kun taas niiden kerrosalasta 65% sijaitsi kaupungeissa ja 35% maaseudulla. Puretut puurakennukset olivat pääsääntöisesti keskimäärin sitä suurempia, mitä kaupunkimaisemmalla alueella ne sijaitsivat.

Vaikka puurakennusten purkaminen on siis maantieteellisesti keskittynyttä (kaupungit kattavat vain 5% Suomen pinta-alasta), on se itse asiassa hieman vähemmän keskittynyttä kuin muista materiaaleista valmistettujen rakennusten purkaminen. Tämä todennäköisesti heijastelee koko rakennuskannan koostumusta – puu lienee sitä yleisempi rakennusmateriaali mitä maaseutumaisempi ympäristö on – mutta tässä selvityksessä ei ollut käytettävissä sellaista aineistoa, jonka avulla asia olisi voitu todentaa. Kuva 4 esittää määrällisesti merkittävimpien viiden puretun puurakennustyyppin sijoittumisen eri aluetyypeille.

Puurakenteisten rakennusten lisäksi puupohjaisia materiaaleja käytetään myös muista rakennusmateriaaleista valmistetuissa rakennuksissa, lähinnä pintamateriaaleina ja kattorakenteina. Tässä selvityksessä käytössä olleilla aineistoilla ei pystytä arvioimaan tällaisista rakennuksista peräisin olevan puujätteen määrää, eikä myöskään korjausrakentamisesta syntyvää puujätteen volyyymiä.



Kuva 4

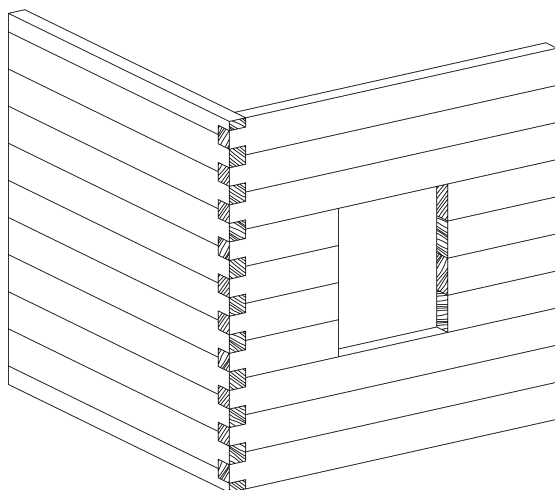
Puurakennusten purkamisen alueellinen kohdistuminen määrällisesti merkittävimmissä rakennustyypeissä. (Tutkimuksen Huuhka & Lahdensivu 2016 tausta-aineisto).

3 RAKENNEJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN KÄYTTÖKOHTEET

3.1 Hirsirakenteet

Hirsirakentaminen oli Suomessa vallitseva rakennustekniikka 1000-luvulta 1900-luvun alkuvuosikymmeniin asti. Sitä käytettiin kaikenlaiseen enintään 2-kerroksiseen rakentamiseen: sekä asuintaloihin että julkisiin ja kaupallisiin rakennuksiin. Valta- asemansa puurakennustekniikkana se menetti rankarakenteille vasta 1940- ja 50-luvuilla, palatakseen 1900-luvun jälkipuolella vähitellen uudelleen käyttöön loma-asuntojen rakentamisessa.

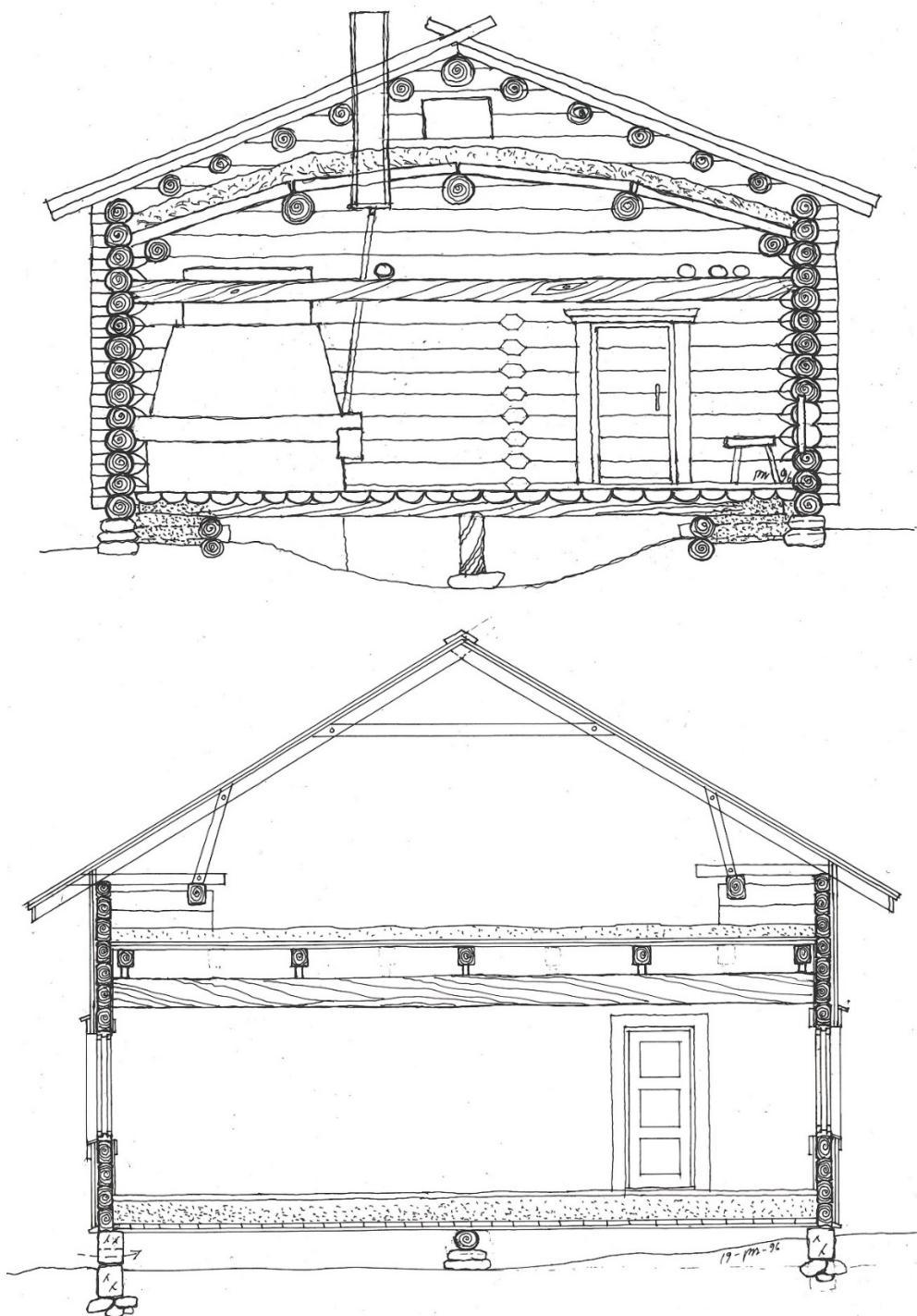
Suomalaisissa hirsirakenteissa hirsi on yleensä vaakasuunnassa. Pystyhirsirakenteitakin on käytetty, mutta ne ovat huomattavasti harvinaisempia. Vaakahirsiin perustuvassa nurkkasalvostekniikassa pyöreät hirret tai kahdelta sivultaan tasoitetut ns. pelkkahirret ladotaan päällekkäin ja liitetään toisiinsa nurkissa hirsien päihin veistettyjen liitosten eli salvosten avulla (Kuva 5). Hirsiseinien muodostamaa rakennusrunkoa kutsutaan hirsikehikoksi.



Kuva 5 Hirsirakenteen periaate.

Hirsien alapintaan veistetään pituussuunnassa ura eli varaus, joka varmistaa tiiviin liitoksen alempaan hirteen. Tämän lisäksi päällekkäiset hirret sidotaan toisiinsa puutapein eli vaarnoin, jotka lyödään hirsiin porattuihin reikiin. Hyvin pitkät tai käytössä pullistuneet hirsiseinät voidaan joskus lisätukea ns. följareilla, seinän sisä- ja ulkopuolelle kiinnitetyllä tukipilariparilla, joka on pultattu toisiinsa seinän läpi. Ovien, ikkunoiden ja palomuurien liittymissä hirsiseinän sitoo suoraksi karapuu: poikkileikkaukseltaan yleensä T:n tai U:n mallinen pystypuu. Hirsien päihin on näissä kohdin veistetty vastaava muoto peilikuvana (ura tai kieli). Perinteisessä hirsitalossa myös väliseinät ovat hirsirakenteiset. Moderneissa hirsitaloissa ne voivat olla kevyet eli rankarakenteiset (ks. seuraava kappale).

Ala- ja välipohjat sekä yläpohjat kantaa hirsipalkisto pyöreistä hirsistä, joita kutsutaan niskoiksi, vasaiksi tai vuoliaisiksi. "Uudemmissa" rakennuksissa (1800-luvun lopulta alkaen) vesikaton kannattajina toimivat sahatavarasta rakennetut kattotuolit, usein ns. ruotsalaiset kattotuolit (ks. luku 4.4 Kattorakenteet). Kuva 6 esittää kaksi perinteistä runkotyyppiä.

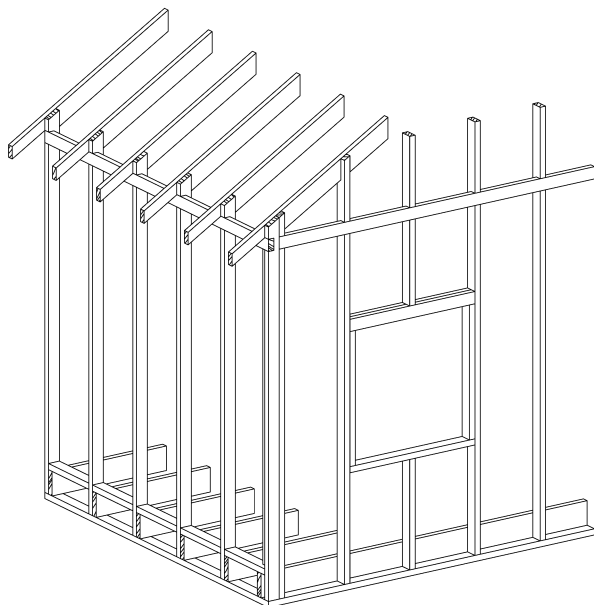


Kuva 6 Arkaaisempi (ylhäällä) ja kehittyneempi (alhaalla) perinteinen hirsirunko. Vanhemmassa tyypissä on lahovaurioitumiselle altis multapenkkiperustus ja vuoraamaton pyöröhirsirunko; kattoa kannattavat vuoliaiset. Uudemmassa tyypissä on tuulettuva alapohja eli rossipohja, lautavuorattu pelkkahirsirunko ja kattotuolit. Rakentamistavan muutos ajoittuu 1800-luvulle. (Vuolle-Apiala 2007: 58–59).

Modernit hirsirungot ovat yleensä pääpiirteiltään samankaltaisia kuin perinteiset. Vakinaiseen asuinkäyttöön tarkoitetuissa rakennuksissa käytetään kuitenkin myös kaksinkertaisia hirsiseiniä, joiden väliin asennetaan lämmöneristyskerros. Seinien sitomiseksi levymäisiksi käytetään usein puisten vaarnatappien asemesta ruuveja, nauvoja tai metallisia, päistä pulteilla kiristettäviä kierretankoja.

3.2 Rankarakenteet

Puinen rankarakenne, joskus "ranko" (Kuva 7), kehitettiin Yhdysvalloissa 1800-luvulla. Suomessa ensimmäiset kokeilut sillä tehtiin 1880-luvulla, mutta yleiseen käyttöön se siirtyi vasta toista maailmansotaa seuranneen materiaalipulan vuoksi. Tällöin sillä rakennettiin yleisesti rintamamiestalon nimellä tunnettuja, ns. jälleenrakennuskauden pientaloja sekä kaksikerroksisia pienkerrostaloja. Tekniikalla rakennettuja rakennuksia kutsuttiin aluksi "lautataloiksi". Massiiviseen hirsirakenteeseen verrattuna tällainen rakenne kuluttaa puuta huomattavasti vähemmän. Kuva 8 esittää erään rintamamiestalon tyyppiirustusmallin laskennallisen materiaalisäällön.



Kuva 7 Rankarungon periaate.

AS-tyyppi **A 19** /1952 PUUTAVARAMENEKKILASKELMA

Määrä 1 = tarve ilman ull.huoneita (n. 7,5 std)¹
Määrä 2 = lisäys ull.huoneiden osalta (n. 0,5 std)¹

	S a h a t a v a r a a j m (Ei sisällä höylättävää puutavaraa)												
	5"x5"	3"x8"	2 1/2"x8"	1 1/2"x5"	2"x4"	1 1/2"x4"	7/8"x5"	7/8"x4"	3/4"x4"	2"x2"x1"x1 1/2"	7/8"x1 1/2"x1 1/2"	1 1/2"x1 1/2"	1 1/2"x1 1/2"
Perustustyöt				450				4025					
Ulkoseinät				620 ²			1340 ¹²			3170 ¹¹			1340 ¹²
Väliseinät						170 ³		(1000) ¹³		65 ⁵			
Alapohja			90 ⁷		185 ¹⁴			(900) ¹³			185		
Välipohja	13	65 ⁸	50 ⁹					(630) ¹³			215		
Vesikatto				180 ⁶			110 ¹⁶	1425 ¹⁵				800	
Määrä 1 yht.	13	65	140	1250	185	170	1450	5450	3170	65	400	800	1340
Väliseinät						65 ⁴			1180				
Välipohja					185 ¹⁴								
Ull.huon.katto				80 ¹⁰				(500) ¹³			150		
Määrä 2 yht.				80	185	65			1180		150		
Ynt.(määrä 1+2)	13	65	140	1330	370	235	1450	5450	4350	65	550	800	1340

Kuva 8 Puutavaran menekkilaskelma Maa- ja metsätalousministeriön AS-tyyppiin A19 vuodelta 1952. Tämä pientilan asuinrakennukseksi suunniteltu tyyppitalo vastaa hyvin tyyppillistä rintamamiestaloa. (Kansallisarkisto, kokoelma Maa- ja metsätalousministeriön tyyppitalopiirustukset, yksikkö Ieb. A 19, A 19 P. Haettu Digitaaliarkistosta <http://digi.narc.fi/digi/slistaus.ka?ay=49796>, digitoitu jakso 5).

Rankarakenne koostuu verrattain pienipoikkileikkauksisesta sahatavarasta rakennetusta kehikosta. Kehikon kantavana rakenteena toimivat pystyyn asetetut tolpat ("pystyt"), jotka ala- ja yläsidepuut sitovat yhteen ja joiden välit täytetään eristemateriaalilla. Levymäisiin eristeisiin siirryttäessä runkotolppien ja lattiapalkistojen väli standardoitiin 60:ksi senttimetriksi, mutta aluksi, sahanpurua eristeenä käytettäessä, vaihteluväli oli 50–70 cm.

Rankarunko edellyttää rungon jäykistämistä erillisillä jäykistysrakenteilla. Yleisimmin rankarunkoinen seinä on jäykistetty ulkopuolisella vinolaudoituksella (rintamamiestalo) tai levytyksellä (uudemmat rakennukset). Myös vinotukia on voitu käyttää seinän jäykistämiseen. Rankarunkoisessa seinässä alaohjauspuu on sidottu perustukseen mm. terästangosta tehtyjen sideterästen avulla. Tyypillisesti yläpohja ja kattokannattajat on jäykistetty vinotukien avulla.

Rankarunko voidaan rakentaa ns. pitkästä tavarasta tai ns. "platform-rakenteena". Perinteisessä, pitkästä tavarasta rakennetussa rungossa runkotolpat ulottuvat (mahdollisesti jatkettuna) perustuksilta yläpohjaan saakka, ja välipohja tukeutuu niiden sivuun. Platform-rakenteessa seinärakenteet koostuvat yhden kerroksen korkuisista paikalla rakennetuista "elementeistä", joiden väleihin välipohjat sijoittuvat. Näin ollen platform-menetelmällä rakennetuissa seinissä puutavaran pituus on selkeästi lyhyempi kuin pitkästä tavarasta rakennetuissa. Platform-rakenteeseen perustuu myös 1990-luvulla käyttöön otettu suomalainen avoin puurakennusjärjestelmä (Siikanen 2008: 324).

Rankarakenteisen rakennusrungon toteutustapa voi perustua myös eri valmiusasteeseen rakennettujen esivalmistettujen rakennusosien käyttöön. Tehdasvalmisteisia osia on arvioitu käytettävän noin 40 % puurakentamisesta, mutta tarkkaa kirjallista dokumentaatiota asiasta ei kuitenkaan ole. Uudelleenkäytön kannalta oleellimmat puuelementtijärjestelmät ovat pienlevy-, suurlevy- ja tilaelementtijärjestelmät. Nämä ovat tehtaalla valmiiksi rakennettuja koko huoneen (tilaelementti), seinän/lattian (suurlevy) tai niiden osan (pienlevy) mittaisia elementtejä, jotka pystytetään ja liitetään ympäröiviin rakenteisiin työmaalla. Pienlevyt ovat yleisin pientaloissa käytetty puuelementtijärjestelmä (Siikanen 2008: 303).

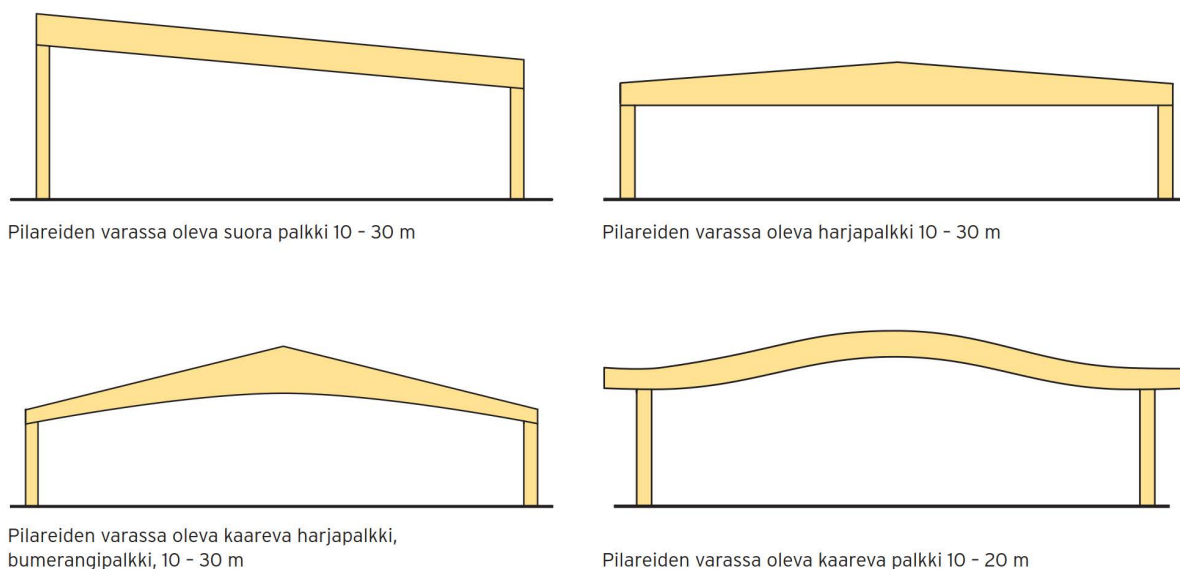
Elementtien lähtölaatu on korkea, koska rakentaminen voidaan tehdä hyvissä työskentelyolosuhteissa ja sääsuojassa. Rakennusosien välisten liitosten yhteensovittaminen vaatii kuitenkin tarkkuutta työmaalla. Elementtien väliset liitokset toteutetaan tavallisesti naulaliitoksina vastaavasti kuin paikallarakentamisessa. Suurin haaste on liitosten toteuttaminen niin, että niistä saadaan lämpöä eristävät ja tiiviit. Uudelleenkäyttöä ajatellen elementtitekniikalla rakennettu talo jakautuu luonnollisesti kerralla purettaviin ja uudelleenkäytettäviin osiin. Naulaliitokset voivat kuitenkin olla tiheitä, jolloin liitoksen purkaminen voi olla yhtä työlästä kuin paikalla rakennettujen rakenteiden.

Seinissä käytettävät pien- ja suurlevyt ovat yleensä seinän korkuisia. Molempien leveys seuraa yleensä 3M-moduulimitoitusta (mitoitus 300 mm välein). Pienlevyt ovat tyypillisesti enintään 1200 mm leveitä, mutta leveämmätkin elementit ovat mahdollisia. Suurlevyt puolestaan ovat koko rakennuksen tai seinän mittaisia, ja niiden käsittelyyn tarvitaan niiden painon vuoksi jo nosturia. Pienlevyjen etu suurlevyihin nähden onkin helppo käsiteltävyys kahden henkilön voimin ja pohjaratkaisujen joustavuus, haittapuoli taas liitoskohtien määrä. (Siikanen 2008: 303). Nämä edut ja haitat säilynevät samana myös mahdollisessa uudelleenkäytössä. Toisaalta pienlevyjen suurempi liitoskohtien määrä voi myös merkitä suurempaa riskiä rakenteiden käytön aikaiselle vaurioitumiselle, jos liitoksista ei alun perin ole onnistuttu saamaan tiiviitä.

3.3 Pilari-palkkirakenteet

Pilari-palkki -rakenejärjestelmässä kantavan rakenteen muodostavat pilarit sekä välipohjia ja yläpohjaa kannattelevat palkit (Kuva 9). Tässä rakenejärjestelmässä runko muodostuu tyypillisesti useista pilari-palkkikehistä, jotka on sidottu toisiinsa. Pilarit ja palkit ovat tyypillisesti liimapuuta. Rakenejärjestelmä on yleinen halleissa, myymälätiloissa ja muissa julkisissa rakennuksissa, joissa edellytetään laajaa vapaata tilaa ja muunneltavuutta. Liimapuurakenteilla on yleisesti myös hyvä palonkesto.

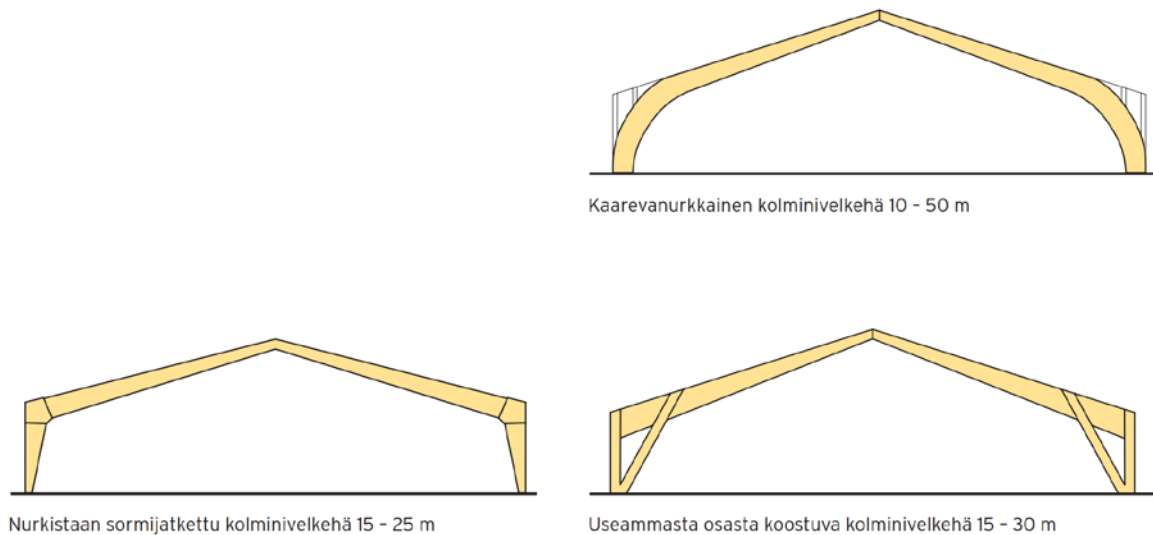
Pilari-palkkirakenne voidaan jäykistää tyypillisesti mastopilareiden avulla, jolloin pilarien perustusliitokset mitoitetaan jäykiksi. Toisaalta rakenne voidaan jäykistää myös kehän, jolloin momenttijäykkyyden vaatimuksia kohdistuu enemmän pilari-palkki-liitoksille. Kehien poikkisuunnassa runko jäykistetään esimerkiksi yläpohjarakenteissa kulkevalla vaakaristikolla. Pilari-palkkirakenteen jäykistystapa tulee selvittää suunniteltaessa rakenteiden uudelleenkäyttöä, koska jäykistystapa vaikuttaa rakenteen liitosten purettavuuteen, rungon purkujärjestykseen sekä purkutyön työturvallisuuteen.



Kuva 9 Esimerkkejä liimapuurakenteisista pilari-palkkirungoista. (Liimapuukäsikirja 2014).

3.4 Kolminivelkehät ja ristikot

Kolminivelkehä tarkoittaa rakennetta, jossa seinän ja katon rungot liittyvät toisiinsa jäykkänä nurkkana tai ne ovat jopa yhtä saumatonta rakennetta. Rakenteen nimessä esiintyvät kolme niveltä ovat harjaliitos sekä liitokset perustuksiin. Kolminivelkehä on hyödyllinen runkoratkaisu, kun rakennuksen käyttö edellyttää korkeaa vapaata tilaa (Kuva 10). Se onkin erilaisten urheilu-, maatalous-, teollisuus-, varasto- ym. hallien rakennusratkaisu.



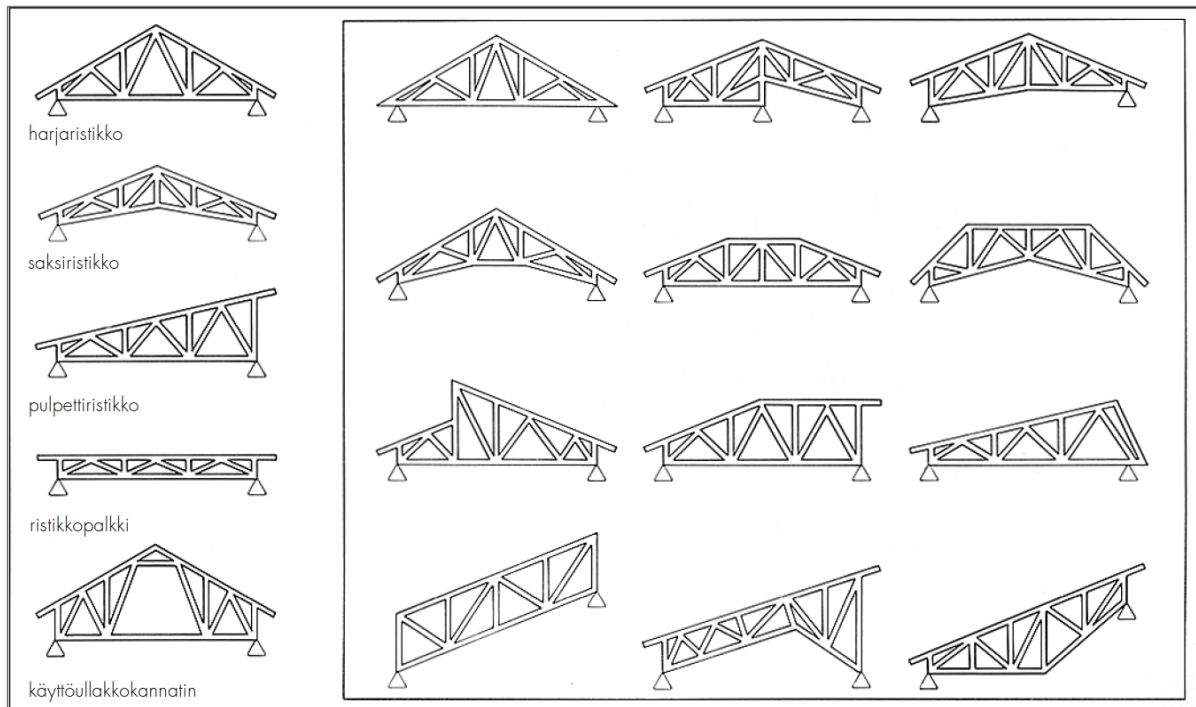
Kuva 10 Esimerkkejä liimapuurakenteisista kehistä. (Liimapuukäsikirja 2014).

Varhaisimmat puiset kolminivelkehärakenteet valmistettiin sahatusta puutavarasta naulaamalla ja mahdollisesti liimaamalla. Samalla tekniikalla valmistettiin myös palkkeja. Tällaisia naulattuja rakenteita käytettiin ainakin jo 1940-luvulla lentokonehalleissa (Laitinen 1995: 17). 1950-luvulla Suomeen saapuivat ruotsalaisen Hilding Broseniuksen kehittämät HB-rakenteet. Niiden uumat koostuivat vinolaudoituksista, joihin laudoista kaseiiniliimalla yhteen liimaamalla koostetut paarteet naulattiin. Naulaus oli varsin raskas paarteiden toiminnan varmistamiseksi. (Heikinheimo 1964). HB-rakenteet poistuivat käytöstä 1960-luvun jälkeen, jolloin niiden käytön korvasivat liimapuu ja muut materiaalit.

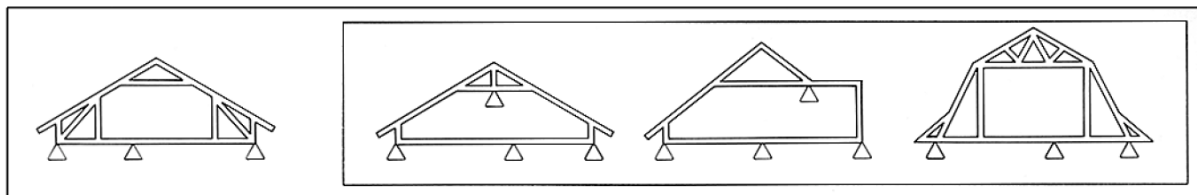
Liimapuisten rakenteiden valmistus alkoi Suomessa 1957, ja liimapuukehät alkoivat yleistyä 1960-luvulla. (Heikinheimo 1964). Nykyaikaisten liimapuurakenteisten kolminivelkehien tavanomainen jänneväli on 11–18 m, kehävälin ollessa 4–6 m. Liimapuusta rakennettujen kolminivelkehien momenttijäykkä nurkkaliitos (räystäслиitos) on tyypillisesti toteutettu pulttiliitoksena. Kolminivelkehä on yleisesti nopea pystyttää. Liitokset ovat myös purettavissa jälkikäteen. (MetsäWood 2017).

Ristikot (Kuvat 11 ja 12) ovat ikään kuin "kevennettyjä" palkkeja tai kehiä, joissa materiaalia sijaitsee ainoastaan rakenteellisen toiminnan kannalta välttämättömissä kohdissa. Ristikkorakenteet voidaan koostaa verrattain pienipoikkileikkauksisesta puutavarasta, ja silti niillä voidaan saavuttaa pitkiä jännevälejä. Ristikot muodostuvat ylä- ja alapaarteesta sekä niiden väliin sijoitetuista vino- ja pystysauvoista, eli diagonaaleista ja vertikaaleista. Ristikon periaate on, että sen sauvoihin, lukuun ottamatta yläpaarretta, muodostuu ainoastaan normaalivoimista koostuvia rasituksia (vetoa ja puristusta).

Ristikon sauvojen sijoittelulla ja suunnittelulla saadaan aikaan ristikkorakenteen pitkä jänneväli. Nykyiset puurakenteiset naulalevyliitokselliset ristikot optimoidaan puunkäytön osalta tietokoneavusteisesti hyvin tarkasti suunnitellulle kuormitukselle. Ristikossa suurimmat rasitukset muodostuvat tyypillisesti lähellä räystäслиitosta oleville sauvoille. Rakenteen suunniteltu kuormitus tulee siis olla tiedossa uudelleenkäyttöä suunniteltaessa. Purkutyössä ja ristikoihin nostettaessa on otettava huomioon sauvojen kuormitustasot ja optimointi.



Kuva 11 Eri muotoisia ristikkorakenteita (Rakennustieto 1993).



Kuva 12 Eri muotoisia kehäristikoita eli puukehiä, tilaa muodostavia kattovälipohjakannattimia. Ne ovat yleisiä nykyaikaisissa omakotitaloissa. (Rakennustieto 1993).

3.5 Massiivipuulevyrakenteet

2000-luvulla on tullut käyttöön uudenlaisia puurakenteita, joissa rakennuksen kantavat seinät ja laatat on toteutettu massiivisista puuelementeistä (Kuva 13). Elementtien materiaalina on eri tavoin liimaamalla tai mekaanisesti massiiviseksi levyksi koottu puutavara. Koska järjestelmät ovat niin uusia, purkupuutavaravirroissa ei niitä esiinny vielä pitkään aikaan. Kuitenkin, jos järjestelmät yleistyvät tulevaisuudessa, tulisi niiden purettavuus ja uudelleenkäytettävyys ratkaista mielellään nyt käyttöönottoaiheessa.

Massiivipuulevyjä käytettäessä rakennejärjestelmä on nk. kantavat seinät –järjestelmä, jossa rakennuksen välipohjat ja vaakarakenteet tukeutuvat kantavien seinälinjojen päälle samaan tapaan kuin betonielementtirakennuksissa. Massiivipuulevyt toimivat sekä rakennusrungon kantavina että jäykistävinä osina. Jäykistäviä rakenteita ovat yleensä lattiat ja osa seinistä. Puisten välipohjarakenteiden jännevälit ovat noin 7–8 metrin mittaisia. Tästä johtuen kantavia linjoja ovat tavallisesti rakennuksen ulkoseinät ja osa väliseinistä (tavallisesti huoneistojen väliset seinät). Massiivipuulevyihin voidaan tehdä melko vapaasti aukotuksia, mikä mahdollistaa monimuotoisten julkisivujen rakentamisen. Niillä voidaan toteuttaa myös tilaelementtejä. Käytännössä kaikki Suomen CLT-rakenteiset puukerrostalot onkin toteutettu tilaelementteinä (Puuinfo 2017).



Kuva 13 Esimerkki massiivipuulevyrakenteista. Tässä sovelluksessa CLT-levy (Stora Enso 2012a ja 2012b).

Massiivipuiset rakennusosat liitetään toisiinsa mekaanisesti. LVL-puulevyjen liitokset ovat yleensä ruuviliitoksia. CLT-levyrakenteissa levyjen väliset liitokset on toteutettu teräsosien avulla. Lisäksi liitoksissa on käytetty tiivistysteippiä ja tiivistysnauhaa rakenteen ilmatiivyyden saavuttamiseksi. (Stora Enso 2012a). Liitos voidaan toteuttaa pontattuna tai levyllä peitettynä liitoksena. Lisäksi liitoksissa voidaan käyttää piilotettuja liitososia.

3.6 Rakennejärjestelmien yhteenveto

Taulukko 3 esittää yhteenveton tässä raportissa esitellyistä runkojärjestelmistä niiden tyypillisten käyttökohteiden mukaan.

Taulukko 3 Rakennusten tyypilliset runkojärjestelmät käyttökohteittain.

Käyttökohte	Runkojärjestelmä	Rakennusosat / -elementit
Pientalot -1940	Hirsirakenteet, (rankarakenteet)	Hirsi, sahatavara, vesikattorakenteet sahatavarasta
Pientalot 1940-	Rankarakenteet, (hirsirakenteet)	Kuten yllä, lisäksi pien-, suur- ja tilaelementit, höylähirsi, naulalevyristikot
Kerrostalot 1940-1950	Rankarakenteet	Sahatavara
Kerrostalot 1990- (asuin- ja toimisto-)	Rankarakenteet (avoin rakennejärjestelmä), pilari-palkki –runko, massiivipuulevyrakenteet	Sahatavara, suurelementit, LVL-pilari-palkkirakenteet, CLT-tilaelementit, naulalevyristikot
Varhaisemmat liikerakennukset -1960	Rankarakenteet, kehä- ja ristikkorakenteet, (hirsirakenteet)	Sahatavara
Liikerakennukset 1960- Teollisuus- ja varastorakennukset	Pilari-palkki –runko, kehä- ja ristikkorakenteet, (rankarakenteet)	Liimapuupalkit, liimapuupilarit, liimapuukehät, liimapuuristikot, (sahatavara)
Maatalousrakennukset		
Urheilu-/liikunta-rakennukset		

4 RAKENNUSOSAT

4.1 Seinät

4.1.1 Hirsiseinät

Perinteisissä rakennuksissa pyöreiden hirsien halkaisija ja pelkkahirsien korkeus määräytyy tukin halkaisijan mukaan. Ne ovat tyypillisesti samassakin rakennuksessa vaihtelevia, yleensä vajaan 20:n ja 30 cm välillä. Pelkkahirren sivut on tasoitettu joko kirveellä veistämällä eli piiluttamalla tai sahaamalla. Tyypillinen pelkkahirren paksuus on 6 tuumaa eli 15 cm. Hirsien pituus ei yleensä ylitä 8 metriä. Pisimmät hirret esiintyvät rakennuksessa ikkunoiden ylä- ja alapuolella ja aukottomilla ulkoseinillä. Tyypillisesti suurin osa hirsistä on kuitenkin selvästi lyhyempiä, koska perinteisissä rakennuksissa on ikkuna- ja oviaukkoja jokaisella seinällä. Väliseinähirret ovat muuten ulkoseinähirsien kaltaisia mutta lyhyempiä, koska ne päättyvät huoneiden sisänurkissa tulisijojen palomuureihin.

Teollisesti valmistetut pyöreät hirret on sorvattu, ja pelkkahirren kaltaiset kulmikkaat hirret höylätty. Ne ovat perinteisiin hirsiiin verrattuna erittäin mittatarkkoja. Höylähirren paksuudet vaihtelevat 70–270 mm ja pyöröhirren halkaisijat 130–230 mm. Lisäeristämättömänä kulmikas höylähirsi täyttää nykyiset lämmöneristysvaatimukset 180 mm paksuna ja pyöröhirsi 210 mm paksuna, joten nämä mitat lienevät yleisimmät. Hirsiteollisuus valmistaa nykyään myös liimapuusta hirren kaltaisia massiivipuorakenteita, ns. lamellihirsiiä (liimahirsiiä). (Rakennustieto 2014).

4.1.2 Rankaseinät

Rankaseinät koostuvat ainakin 1970-luvun puoliväliin asti tyypillisesti ns. kakkosnelosista eli 50x100 mm puutavarasta. Tämä poikkileikkaus riittää yleensä kantamaan seinärakenteille pientaloissa tulevat kuormitukset. Käytetystä liitosdetaljiikasta riippuen runkotolpissa saattaa esiintyä loveuksia liittyviä rakennusosia varten välipohjien tai yläpohjien kohdalla.

Lämmöneristemääräysten kiristyttyä 1970-luvun energiakriisin myötä runkotolpat on usein mitoitettu eristepaksuuden mukaan (Taulukko 4). Vaihtoehtoisesti varsinaisiin runkotolppiin on voitu liittää koolaus pienempidimensioisesta puutavarasta (esim. 50x50 mm) riittävän eristetilan leveyden aikaansaamiseksi. 1990-luvulla käyttöön otetun avoimen puurakennusjärjestelmän vakioidut runkotolpan leveydet ovat 147 ja 172 mm (mitallistettua puutavaraa).

Myös väliseinärungot ovat usein puurakenteiset. Niiden materiaali on joko sahatavaraa tai uudemmissa rakennuksissa usein viilupuuta (tuotenimen mukaan "kertopuuta"). Rintamamiestaloissa on yleisesti käytetty 50x100 mm runkoa myös väliseinissä. Yleinen väliseinärunгон leveys uudemmassa rakentamisessa on 66 mm. Nykyään väliseinärungot ovat hyvin yleisesti myös teräsrunkarakenteisia.

Taulukko 4 Rankarakenteisten pientalojen puutavaran tyypillisiä poikkileikkauksia.

Kohde	Rintamamiestalo	Uudempi pientalo
Seinärunko	50 x 100 mm, tai 50 x 125 mm	48 x 148 mm, tai 48 x 198 mm (mitallistettu, lujuusluokiteltu)
Ala- ja yläohjauspuut	100 x 100 mm, tai 125 x 125 mm	sama kuin seinärunko
Välipohjan kannattimet	50 x 200 50 x 100 (ristiinkannatettuna)	48 x 198 mm (mitallistettu, lujuusluokiteltu) (keskellä yl. kantava väliseinä)
Yläpohjan kannattimet	vaihtelevia poikkileikkauksia 50 x 100 50 x 125 50 x 150 100 x 100 (lisäpalkkeina) 50 x 200 (lisäpalkkeina)	naulalevyristikko ristikon osat esim. 42x98 mm, 42x123 mm tai 42x148 mm (mitallistettu, lujuusluokiteltu)
Jäykistys	22 x 100 (umpilaudoitus) 25 x 100 (umpilaudoitus)	levytys

4.1.3 Massiivipuulevyseinät

Massiivipuulevyt muodostuvat joko liimaamalla tai mekaanisesti toisiinsa kiinnitetystä puutavarasta. Puutavaraa toisiinsa liittämällä on saatu aikaan mitoiltaan betonielementin kaltaisia massiivisia puisia levyjä, joista voidaan rakentaa sekä rakennuksen pysty- että vaakarakenteita. Nämä rakennusosat toimivat rakennuksen kantavana runkona betoniseinien tapaan ja vaativat erillisen rakennusvaipan, johon sijoitetaan lämmöneristys ja ulkopuolisilta kosteuslähteiltä suojaava ulkoverhous.

Liimattuja massiivipuulevyjä ovat esimerkiksi puutavarasta ristiinliimattu CLT, cross-laminated-timber, ja viiluista ristiin tai pituussuuntaan liimattu viilupuu LVL, laminated veneer lumber. Mekaanisesti eli naulaten yhdistettyjä ovat puolestaan kanttilautaelementti Brettstapel, ja massiivipuuelementti MHM, Massiv-Holz-Mauer.

Näistä tällä hetkellä yleisin lienee CLT. CLT-levyissä liimattuja lauta- tai rimakerroksia eli lamelleja on tyypillisesti 3–8 kpl, ja näin levyjen vakiopaksuudet vaihtelevat n. 60–320 mm. Tyypillisiä paksuuksia ovat 100, 120 ja 140 mm. Levyjen valmistusmittoja rajoittavat käytännössä valmistuslinjan ja kuljetuksen asettamat rajoitukset.

CLT-seinäelementin korkeus määrittyy rakennuksen kerroskorkeuden mukaan ollen yleensä noin 3 m. Seinäelementtien leveydet puolestaan määräytyvät huoneistojaon kautta siten, että elementin leveys on huoneiston leveys (yleensä enintään 8 m). Välipohjalaatat ovat yleisesti 1,8 m leveitä ja rungon syvyisiä, kuitenkin enintään 8,5 m tai välituen kanssa 12 m. CLT-tilaelementtien tyypillinen koko on reilu huoneen koko: pieni yksiö voi koostua yhdestä tilaelementistä, kaksio vaatii kaksi elementtiä, jne.

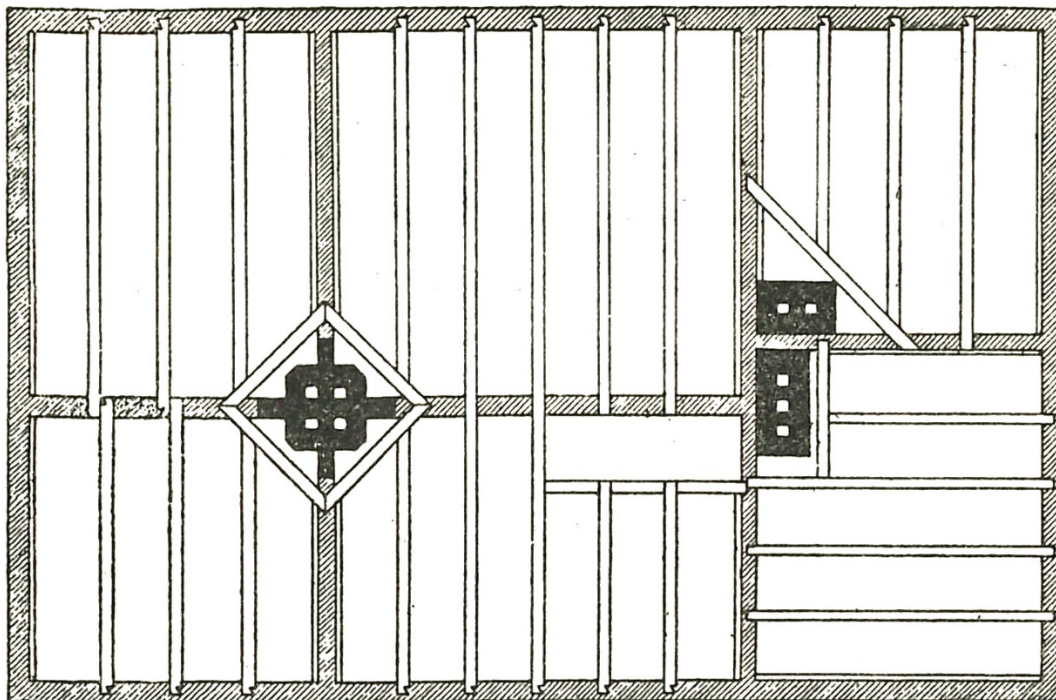
4.2 Pilarit

Tyypillinen puurakenteisessa pilari-palkkirungossa käytetty materiaali on liimapuu. Sitä käytetään sekä palkeissa että pilareissa. Liimapuu on puusoiroista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote. Se koostuu vähintään kahdesta, enintään 45 mm paksusta sahatavaralamellista, joiden syysuunta on liimapuutuotteen pituussuuntainen. Liimapuu on tavallisesti ympärihöylättyä ja sitä on saatavilla erilaisilla pintakäsittelyillä sekä painekyllästettynä.

Liimapuisen rakennusosan poikkileikkauksen leveys riippuu materiaaliksi saatavan sahatavaran koosta. Tämä käytännössä rajoittaa liimapuisten osien leveyden 225 mm:iin. Poikkileikkauksen korkeus on lamellin paksuuden monikerta. Pilarien poikkileikkauksen mitat voivat vaihdella mitoituksen mukaan 90x90...215x405. Pienipoikkileikkauksisissa (sivumitta <200 mm) pilarirakenteissa materiaalina voi olla myös sahatavara.

4.3 Palkit ja välipohjat

Puurakenteisen rakennuksen välipohja muodostuu puisesta palkistosta ja sen päälle rakennetuista pintakerroksista (Kuva 14). Poikkeuksena ovat yksiaineiset massiivipuulevyrakenteiset välipohjat (ks. 4.1.3 Massiivipuulevyseinät). Välipohjarakenne on usein täytetty eristemateriaalilla ääneneristyksen vuoksi.



Kuva 14 Välipohjapalkiston muodostamisperiaate (Orola 1943: 69). Osa palkeista on esitetty jatkuvina, jotta ne sitoisivat rakennuksen runkoa. Kuinka yleistä tämä on ollut, ei ole tiedossa. Vaihtoehtoisesti kantavan väliseinän päällä kohtaavien palkkien päät on voitu sitoa toisiinsa. Tulisijat ja välipohjan aukot on kierretty ns. vaihto- eli vekselipalkein.

Rakennusosapituudet pientaloissa ovat hyvin lyhyet. Tätä ohjaavat hyvin pitkälti sahoille päätyvän puuaineksen pituudet. Välipohjien kannattajien pituudet ovat arviolta 4–5 m. Tätä pidemmät jänneväli on niin rintamamiestaloissa kuin uudemman tyyppisissäkin pientaloissa jaettu jo lyhyemmäksi kantavien väliseinin.

Perinteisissä hirsitaloissa palkiston muodostavat vasat ovat hirsiiä. Niissä ei esiinny seinähirsille tyypillisiä vaarnatappien reikiä, minkä johdosta ne muistuttavat poikkileikkaukseltaan tukkia. Ne ovat tosin usein lyhyempiä kuin seinähirret, koska niiden jänneväli on tyypillisesti vain huoneen mitta. Rintamamiestaloissa palkisto on muodostettu sahatavarasta. Taulukko 5 esittää jälleenrakennuskauden suosituksia välipohjapalkkien poikkileikkauksille ja jänneväleille. Välipohjakannattimien jako (k-mitta) vaihteli usein samassa rakennuksessa.

Nykyään lattiapalkkien mitat vaihtelevat 42x180...90x315 riippuen jännevälistä (Puuinfo 2014). Sahatavarasta valmistettujen välipohjapalkkien poikkileikkaus on tyypillisesti 48x198 mm (2x8"). Viilupuupalkkeja on käytetty välipohjarakenteissa 1990-luvulta lähtien. Niiden mitat ovat tyypillisesti 39/45/51x200 (Taulukko 6). Välipohjakannattimien tyypillinen jako on k600, mutta siihen vaikuttavat myös kuormitus, välipohjan mitat sekä kantavien seinälinjojen sijainti.

Taulukko 5 1½ -kerroksisen rintamamiestalon välipohjapalkkien mitoitusohje (Särkinen 2005: 69).

Jänneväli	Palkit (")	k-mitta
200	2 x 5	57
225	2½ x 5	57
250	3 x 5	54
275	2 x 7	59
300	2 x 7	50
325	2 x 8	56
350	2½ x 8	61
375	2½ x 8	54
400	4 x 7	57
425	4 x 7	52
450	4 x 8	60
475	4 x 8	54
500	5 x 8	61
525	5 x 8	56
550	6 x 8	61
575	6 x 8	56
600	7 x 8	60

Suurissa rakennuksissa liimapuurakenteisia palkkeja käytetään yleisesti sekä vesikaton että välipohjan kannattajina. Tällaisissa rakennuksissa tyypillinen suorakaidepoikkileikkaus (rakennuksen runkosyvyys 15 m, kehäväli 4 m) on 140x750...850. Harjapalkin (ks. Kuva 9 oik. ylh.) tyypilliset mitat vastaavassa rakenteessa ovat leveys 115, korkeus 581–1050...691–1160. Liimapuupalkin enimmäiskorkeus on noin 2 m ja enimmäispituus noin 30 m. Mitat ovat kuitenkin valmistajakohtaisia.

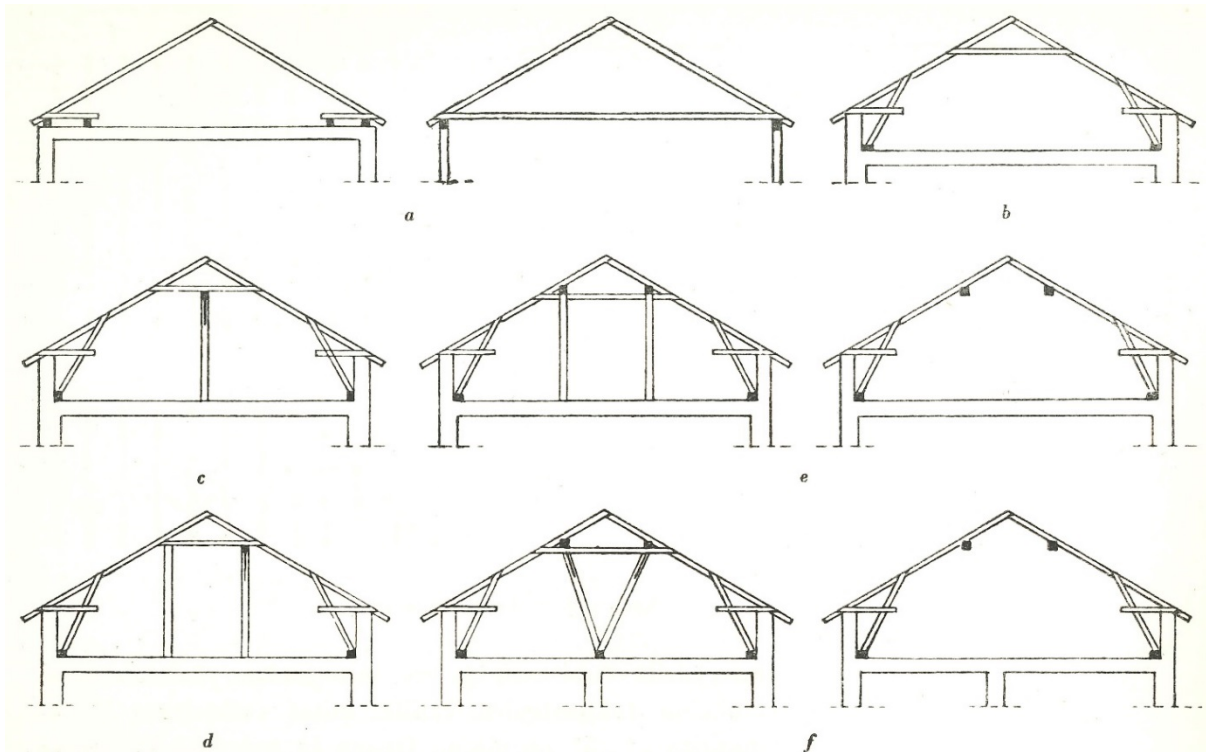
Taulukko 6 Välipohjiin tarkoitettujen liima- ja viilupuupalkkien vakiokokoja.

Lev.	Korkeus
Halkaistu liimapuu (Puuinfo 2014)	
	225 270 280 300 315 360 405
42	
56	
66	
Liimapuu (Puuinfo 2014)	
	90 115 140 225 270 315 360 405 450 495
90	
115	
140	
165	
Viilupuu (Kerto-S) (MetsäWood 2015)	
	200 225 260 300 360 400 450 500 600
27	
33	
39	
45	
51	
57	
63	
75	

4.4 Kattorakenteet

Puurakenteiset kattorakenteet ovat varhaisemmassa rakennuskannassa tyypillisesti paikalla rakennettuja. Tällöin vesikatetta kannattelevat kattokannattajat on tuettu alapuolisen ristikkorakenteen tai pilarien ja harjalla kulkevan ”kurkihirren” varaan (Kuva 15). Näissä vesikattorakenteissa käytetty sahatavara on tyypillisesti poikkileikkaukseltaan verrattain suurta, vähintään 50x100. Perinteisen paikalla rakennetun ristikon puuosat liittyvät toisiinsa puuliitoksin (loveuksin). Paikalla rakennettuja puurakenteisia yläpohjia esiintyy myös varhaisissa tiilirakenteisissa rakennuksissa sekä usein uudemmissakin betonirakennuksissa, erityisesti vinokattoisissa kerrostaloissa.

Nykyisin yleisin puurakenteisen yläpohjan ja vesikattorakenteiden toteutustapa erityisesti pientaloissa on esivalmisteisten kattoristikoiden, naulalevyristikoiden, käyttö. Ne tulivat käyttöön arviolta 1970–1980 -lukujen taitteessa. Niiden yleisyys ja edullisuus perustuu niiden suureen valmistusvolyymiin sekä tarkkaan rakenteen optimointiin. Naulalevyristikossa käytetty puutavara on tyypillisesti poikkileikkaukseltaan optimoitua ja poikkileikkausmitat ovat näin ollen mahdollisimman pienet kuormitukseen nähden. Yksittäinen ristikko ei voi toimia kantavana osana ennen sen vaatimien nurjahdus- ja sivutuntojen asennusta. Ristikojen asennusväli on tyypillisesti 900–1200 mm. Ne asennetaan yksi kerrallaan nostamalla ja mekaanisesti kiinnittämällä, joten ristikon liitos runkoon on periaatteeltaan myös uudelleenkäyttöä ajatellen purettavissa. Naulalevyristikko on aina optimoitu aina tiettyä käyttötarkoitusta ja kuormitustapausta silmällä pitäen, joten uudelleenkäyttökohteen tulee vastata alkuperäistä käyttöä.



Kuva 15 Erilaisia harjakattorakenteita 1900-luvun alkupuoliskolta (Levón 1946: 176).

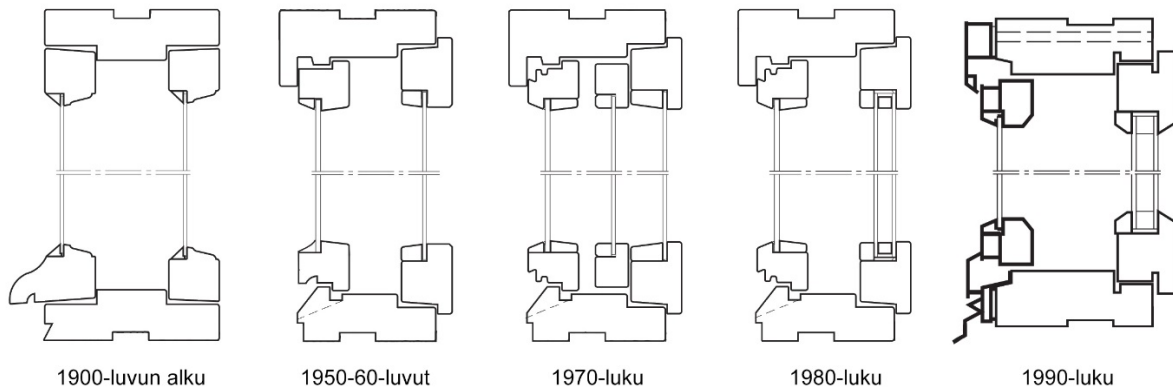
4.5 Täydentävät rakennusosat

Kantavan rakenteen lisäksi puurakenteiset rakennukset sisältävät tyypillisesti paljon täydentäviä puisia rakennusosia. Ne saattavat myös sisältää runsaasti muista materiaaleista valmistettuja varusteita ja laitteita, jotka ovat uudelleenkäytettävissä. Tällaisia ovat esimerkiksi metalliset ovet, nosto-ovet, putkikanavat, jne. Niitä ei kuitenkaan käsitellä tässä selvityksessä.

4.5.1 Ikkunat

Perinteiset puuikkunat ovat 2-lasisia sisään-ulosaukeavia ikkunoita puisin karmeihin ja puitteihin. Malliltaan ne ovat tyypillisesti pystysuuntaisia ja useampaan puitteeseen jaettu. Puitteet voivat olla edelleen jaettu välipuitteihin useampaan ruutuun. Yleisiä malleja ovat esimerkiksi kolmipuitteinen T-ikkuna (ns. venäläinen ikkuna) ja kaksipuitteinen, kuusiruutuinen ikkuna. Kaikkia ikkunoita (erityisesti sisäpuitteita, yläikkunoita ym.) ei ole aina saranoitu, vaan ne on kiinnitetty pienin nauloin tai kääntyvin kiinnikkein. Sisäpuitteiden kohdalla ajatus on ollut, että ne otetaan kokonaan pois paikaltaan kesäajaksi. Vaakasuuntaiset ikkunat yleistyivät 1930-luvulta eteenpäin ja muuttuivat vallitseviksi viimeistään 1950-luvulla. Sisään-sisäänaukeavat ikkunat yleistyivät kerrostaloissa 1940-luvulla ja pientaloissa 1960-luvulla (Rakennustieto 2000).

Perinteisten puuikkunoiden lasit ovat joko puhallettua tai vedettyä lasia, jotka ovat pinnaltaan hieman epätasaisia. Lasit on kiinnitetty kitillä (1800-luku ja 1900-luvun alkupuoli) tai puisilla lasituslistoilla (1900-luvun puoliväli). Ikkunoihin käytetty puutavara on ollut tarkoin valikoitua, yleensä männyn sydänpuuta. Tyypillinen karmin syvyys on 6" (150 mm) ja paksuus 2–3". Puitteet höylättiin yleensä 2x2" puutavarasta (valmiin puitteen paksuus 35–45 mm) ja välipuitteet 1x1,5" puutavarasta. (Mikkola & Böök 2011: 71). Käsiteollisten ikkunoiden koot eivät noudata moduulimitoitusta, ja "samankin" kokoisissa esiintyy pientä kokovaihtelua.



Kuva 16 Eri ikäisten ikkunoiden karmi- ja puiteprofileja (Rakennustieto 2000, muokattu).

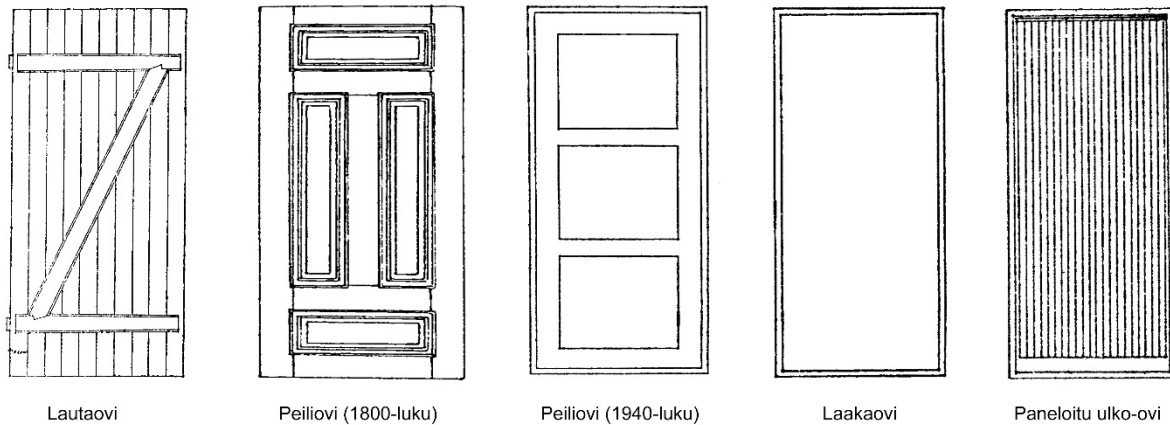
Ikkunavalmistus teollistui 1960-luvulla eli samaan aikaan kuin muukin rakentaminen. 1970-luvulla ikkunavalmistuksessa luovuttiin valikoidun puutavaran käytöstä (Rakennustieto 2000). Teollisesti valmistetut ikkunat voivat olla joko kiinteitä tai aukeavia. Aukeavat voivat olla yksi-, kaksi- tai kolmipuitteisia ja kaksi-, kolmi- tai nelilasisia (Rakennustieto 2009). Teollistenkin ikkunoiden puitteet ovat yleensä puuta, mutta niissä käytetyt profiilit ovat perinteisiä kookkaampia ja muodoltaan yksinkertaisempia (Kuva 16). 1990-luvulla yleistyivät puu-alumiini-ikkunat, joissa ulkopuite ja -karmi on verhoiltu alumiinilla. Vaihtoehtoisesti ulkopuite voi myös olla valmistettu kokonaan alumiinista. Ulkomaisten rautakauppaketjujen myötä Suomeen ovat viime vuosina rantautuneet myös PVC-muovista valmistetut ikkunat, joissa ei ole mitään puisia osia.

Yleisimmät teolliset ikkunatyypit ovat MSK (sisäänaukeava, kolmipuitteinen, kolmilasinen ikkuna tasolasista) ja MSE (sisäänaukeava, kaksipuitteinen kolmilasinen ikkuna, jossa sisäpuitteen lasi on eristyslaselementti). Tyypilliset karmisyvytydet ovat 130, 170 ja 210 mm. Teollisten ikkunoiden koot seuraavat 1M-moduulimitoitusta eli niiden korkeudet ja leveydet ovat 10 cm kerrannaisia. (Rakennustieto 2009). Ne ovat tyypillisesti vaakasuuntaisia, sillä rakennustekniikan vaatimukset ja arkkitehtuurin trendit ovat suosineet vaakakikkunoita teollisen rakentamisen alkua ajoista saakka. Teollisissa ikkunoissa 12M on yleinen ikkunan korkeus ja 12M, 15M ja 18M ovat tavanomaisia leveyksiä.

Varhaisimmissa teollisissa ikkunoissa käytetty lasi on tasolasia. Eristyslaselementtien (myös "umpiolasi" tai "lämpölasia") valmistus alkoi Suomessa 1955 (Mikkola & Böök 2011: 121). Eristyslasi on kahdesta tasolasista koostuva elementti, jossa lasien väli on suljettu tiiviisti. Uusimmissa laseissa tämä väli on jopa täytetty erityisellä kaasulla, joka parantaa elementin lämmöneristyskykyä. Eristyslasiä käytettiin aluksi vain sisäpuitteissa, mutta uusimmissa ikkunoissa niitä käytetään sekä sisä- että ulkopuitteessa.

4.5.2 Ovet

Perinteisiä täyspuuovityyppejä (Kuva 17) edustavat lautaovet ja peiliovet (jossa "peili" ei viittaa heijastavaan pintaan vaan puiseen levyyn). Myös vanerisia laakaovia, joita valmistettiin 1930-50-luvuilla, voitaneen tänä päivänä pitää perinteisinä puuovina. Perinteiset puuovet ovat yleensä huultamattomia, eli ne asettuvat suljettuna karmin etupinnan kanssa samaan tasoon. Karmin syvyys on hirsiseinän mukaan tyypillisesti n. 145 mm ja paksuus n. 45 mm. Itse ovilevyn leveys on yleensä väliltä 80–90 cm. Myös pariovet ovat tavallisia, jolloin ovet ovat usein 60 cm leveät. Ovien korkeus vaihtelee leveyttä enemmän, ollen tyypillisesti väliltä 180–210 cm. Myös tätäkin korkeampia ovia esiintyy aina 2,4, 2,6 ja jopa 3 m saakka.

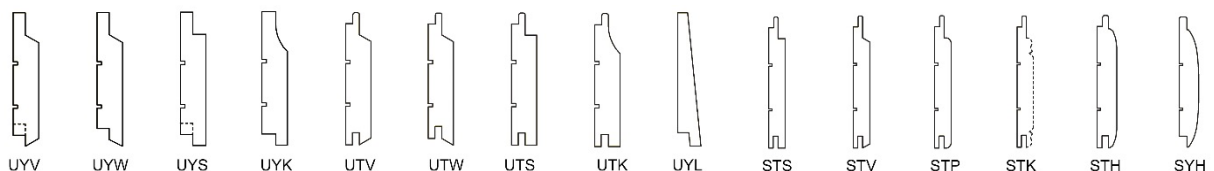


Kuva 17 Erilaisia puuovia. Koostettu eri lähteistä (vasemmalta oikealle): Suomen Arkkitehtiliitto (1943a), Museovirasto (2000a), Suomen Arkkitehtiliitto (1943b), Suomen Arkkitehtiliitto (1943c) ja Suomen Arkkitehtiliitto (1943d).

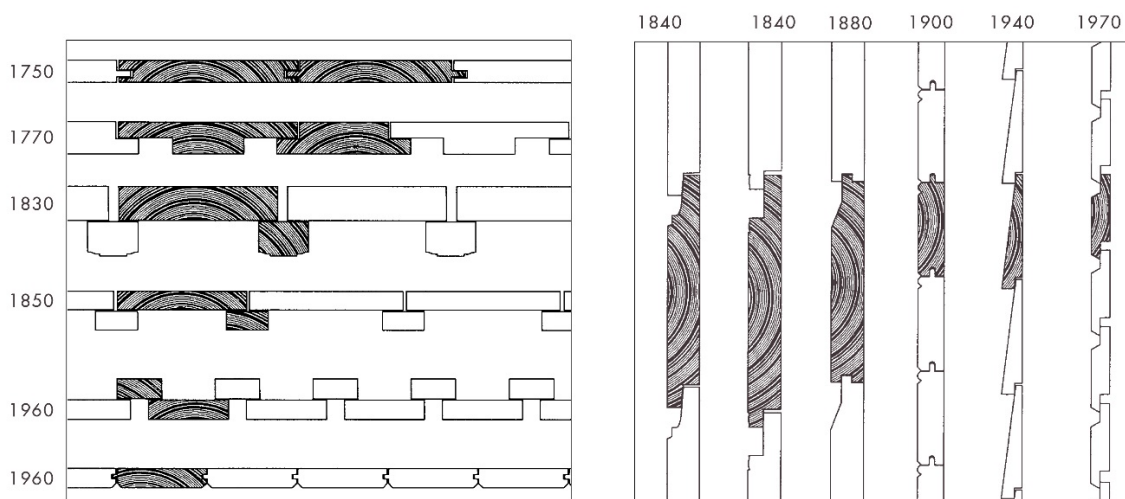
Teolliset puuovet ovat yleensä pinnaltaan tasaisia laakaovia, mutta erityisesti 1990-luvulta lähtien esiintyy myös peiliovia jäljitteleviä puukuitumassasta muotoonpuristettuja ovia. Teolliset ovet ovat levy- tai kennorakenteisia. Ne ovat yleensä huullettuja, eli ne asettuvat suljettuna aavistuksen karmin etupinnan päälle. Koot seuraavat 1M-moduulimitoitusta eli niiden korkeudet ja leveydet ovat 10 cm kerrannaisia. Tavanomaiset ovileveydet ovat 7M–10M, 8M ollessa kaikkien tavallisin. Leveydet ovat suurentuneet esteettömyysvaatimusten myötä. Oven korkeus on yleensä 21M (joskus 19M tai 20M). Yleisiä karmisvyvyksiä ovat 68 ja 92 mm (väliovet) ja 115 ja 130 mm (ulko-ovet).

4.5.3 Verhouslaudat ja -paneelit

Puisia verhouslautoja ja -paneeleja on käytetty rakennuksen ulkoverhouksena sekä sisäkatoissa ja sisäseinissä (perinteisesti erityisesti kuisteissa ja porrashuoneissa). Verhouslaudat voivat olla sahattuja tai höylättyjä. Paneelit ovat pontattuja ja yleensä höylättyjä. Uudemmissa paneelituotteissa joskus vain laudan perusmuodosta poikkeava profiili on höylätty, jolloin paneelin sileä osa on jätetty sahatulle pinnalle. 2000-luvulla markkinoille on tullut uudestaan leveitä ja paksuja verhouksia, mutta tällä kertaa liimaamalla valmistettuja. Kuva 18 esittää modernien verhouslautojen ja -paneelien profiileja. Aivan viime aikoihin asti verhoukset ovat säännönmukaisesti olleet sitä leveämpiä ja paksummasta puutavarasta valmistettuja, mitä vanhempia ne ovat (Kuva 19).



Kuva 18 Moderneja verhousprofiileja. U=ulkokäyttöön tarkoitettu, S=sisäkäyttöön tarkoitettu. Koostettu lähteestä Rakennustieto (2017: 13–15, muokattu).



Kuva 19 Verhouslautojen ja -paneelien profiileja kautta aikojen. Vasemmalla pystyverhouksia, oikealla vaakaverhouksia. (Museovirasto 2000b).

4.5.4 Lattiat

Aidot puulattiat voidaan jakaa lankku-, lauta- ja parkettilattioihin. Lankut ja laudat ovat höylättyjä. Lankun ja laudan ero on materiaalin paksuudessa ja leveydessä: lankku on yli 38 mm paksu ja yli 175 mm leveä, ja lauta alle näiden. Puulattioihin pätee sama perussääntö kuin verhouspaneeliinkin: vanhemmat ovat yleensä valmistettu vahvemmassa aineesta. Perinteisten hirsirakennusten puulankut ovat erittäin paksuja ja leveitä (esim. 50 mm x 300 mm), ja niiden leveys voi vaihdella samassakin lattiassa. Ne ovat usein ponttaamattomia.

Lattialaudan vähimmäispaksuus on 21 mm; tavallisimmat paksuudet ovat 28 ja 33 mm. Yleisimmät leveydet ovat vaihteluvälillä 70-145 mm. Pituudet ovat 3–6 m, 4,2 m ollessa tavallisin. (Rakennustieto 1996). Lattialaudat ovat pontattuja. Muut lattiamateriaalit syrjäyttivät lautalattiat 1950-luvun kuluessa. Puulattiat palasivat uudestaan suosioon 1980-luvulla erityisesti parketteina.

Parketit on kokonaista lautaa pienemmistä puokappaleista koostettu lattianpäällyste. Parketit voivat olla massiivipuuta, mutta usein ne koostuvat yhteen liimatuista kerroksista siten, että pintakerros on kalliimpaa puulajia ja näkymättömiin jäävät kerrokset edullisempaa puulajia tai puulevyä. Parketit ovat pontattuja. (Siikanen 2008: 237). 2000-luvulla puulattiat ovat jälleen menettäneet asemaansa muille lattianpäällysteille, erityisesti laminaatille. Puukuvioidut laminaattilattiat muistuttavat parkettia, mutta niiden kuviointi on tosiasiaa vain painettu kuva puusta. Laminaattien runkona on kuitenkin puukuitulevy.

4.5.5 Levyt

Tavanomaisia suomalaisissa rakennuksissa esiintyviä puulevyjä ovat vanerit, lastulevyt, kovat puukuitulevyt (kovalevyt) ja huokoiset puukuitulevyt. Vanereita käytetään rakenteellisiin tarkoituksiin lattia- ja kattorakenteissa (havuvaneri) ja modernien rakennusten näkyviin jäävissä sisäverhouksissa (koivuvaneri). Lastulevyjä käytetään rakenteellisesti lattioissa sekä sisäverhouksiin varsinaisten pinnoitteen (esim. tapetin) alustana. Kovalevyjä käytetään aluskatteina sekä sisäverhouksiin varsinaisten pinnoitteen alustana. Huokoisia puukuitulevyjä käytetään tuulensuojalevyinä ja sisäverhouksiin varsinaisten pinnoitteen alustana. Taulukko 7 esittää levyjen tyypillisiä mittoja.

Taulukko 7 Puulevyjen tavalliset paksuudet ja koot (Siikanen 2008: 108, 110–111, 117).

Levytyyppi	Paksuus (mm)	Levykoko (mm)
Vaneri	4	1200 x 1200
	6,5	1200 x 1800
	9	1200 x 2400
	12	1200 x 3000
	15	1200 x 3600
	18	1500 x 1500
	21	1500 x 3000
	24	
	27	
	30...50	
	Lastulevy	9
10		600 x 2500
11		600 x 2550
12		600 x 2600
15		600 x 2750
18		600 x 3050
22		1200 x 2400
25		1200 x 2500
		1200 x 2550
		1200 x 2600
		1200 x 2750
		1200 x 3050
		1800 x 2500
		1800 x 2550
		1800 x 2600
	1800 x 2750	
	1800 x 3000	
Kovalevy	2	1220 x 2440
	2,4	1220 x 2745
	3,2	1220 x 3050
	4,8	1700 x 2060
	6,0	1700 x 2745
	1700 x 3090	
Huokoinen puukuitulevy	12	1200 x 2700
	25	1200 x 3000

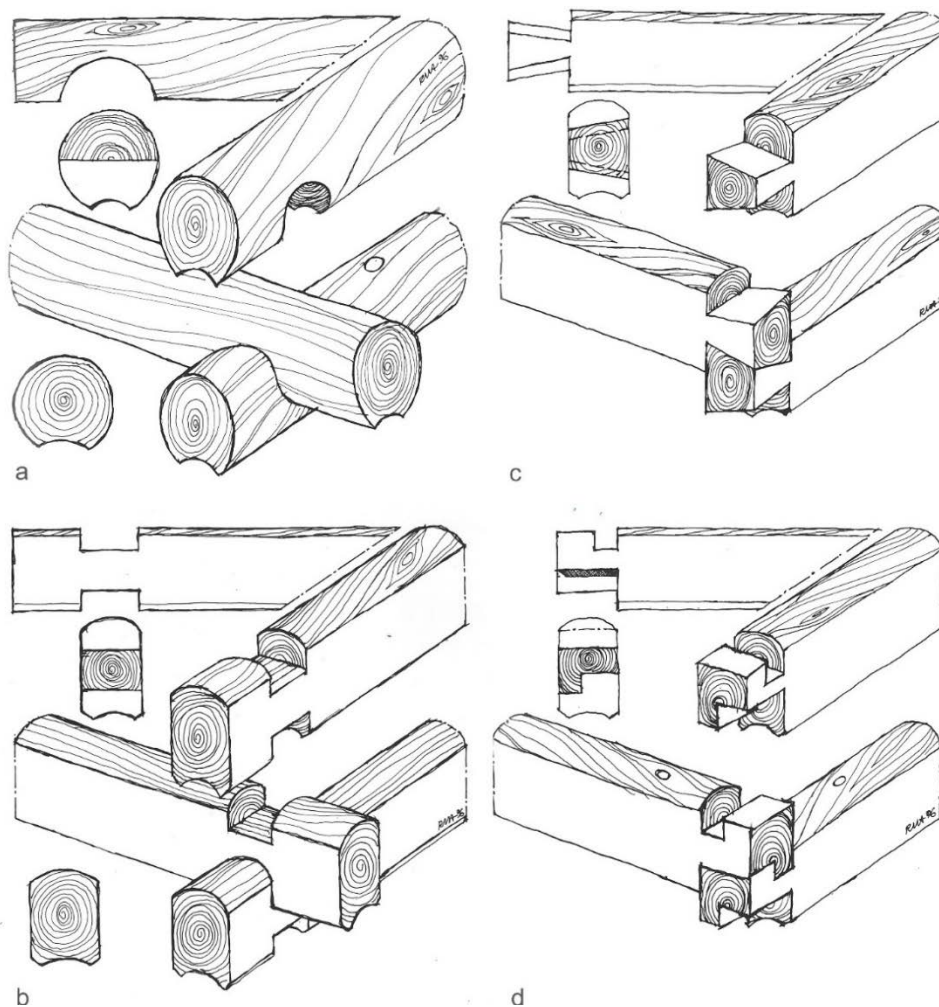
5 ASENNUS JA LIITOKSET

5.1 Osien liitokset runkoon ja toisiinsa

Erlaisia puurakenteiden liitostyyppejä ja liitososia on hyvin paljon. Määrään vaikuttaa rakennejärjestelmien erilaiset ominaisuudet sekä rakenteille ja liitoksille asetetut erilaiset vaatimukset. Tässä luvussa esitellään yleisimpiä liitostyyppejä ja niissä käytettyjä liitososia.

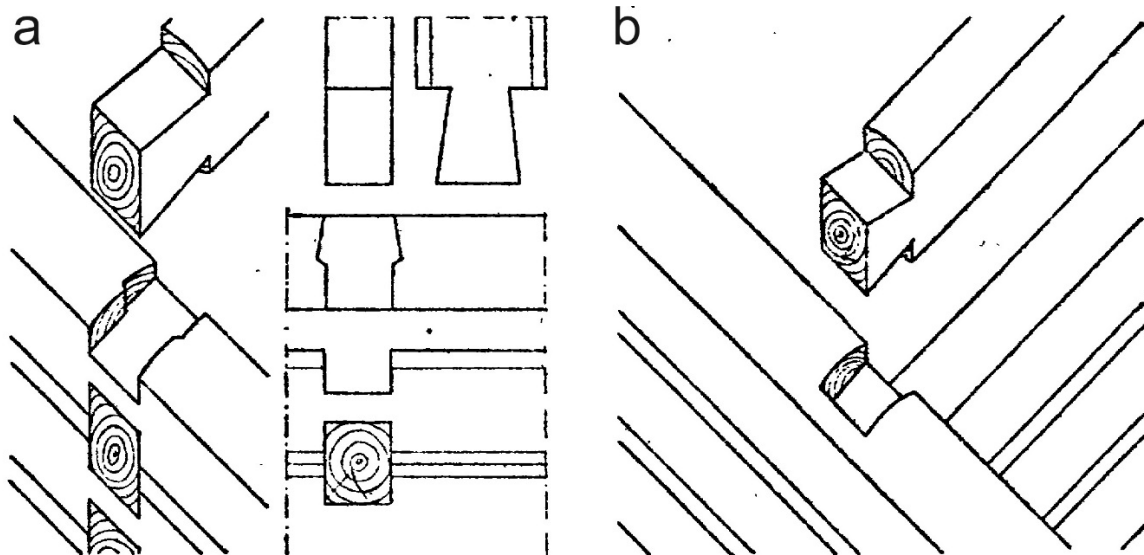
5.1.1 Salvokset ja muut puuliitokset

Perinteisessä hirsirakentamisessa kaikki liitokset ovat puuliitoksia. Vaakahirsirakenteiden nurkkaliitoksia kutsutaan salvoksiksi. Nurkat voivat olla pitkät tai lyhyet – pitkissä hirsi jatkuu jonkin verran salvoksen ulkopuolelle, kun lyhyissä hirsi päättyy salvokseen (Kuva 20). Hirsirakenteiset väliseinät liittyvät ulkoseiniin niin ikään salvoksilla, jotka ulottuvat ulkoseinähirren läpi tai jättävät hirren ulkopuolen ehjäksi (Kuva 21).



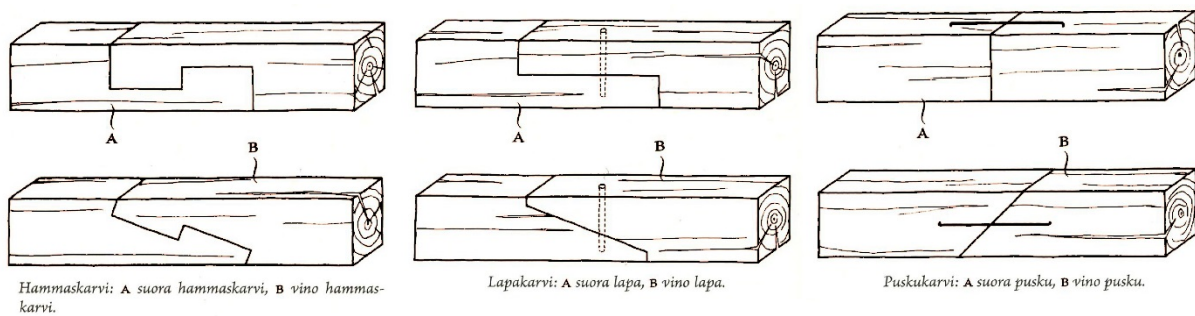
Kuva 20

Yleisimpiä nurkkasalvoksia: a) ämmännurkka, tyypillinen moderneille pyöröhirsirakenteille; b) suoranurkka, 1800-1900 -lukujen yleisin pitkänurkkatyyppi; c) lohenpyrstö- eli sinkkanurkka, 1920- ja 30-luvuilla yleinen laudoitettujen talojen nurkkatyyppi; d) hammasnurkka, laudoitettujen kaupunkitalojen yleisin lyhytnurkkatyyppi. (Vuolle-Apiala 2007: 41, 44–45).

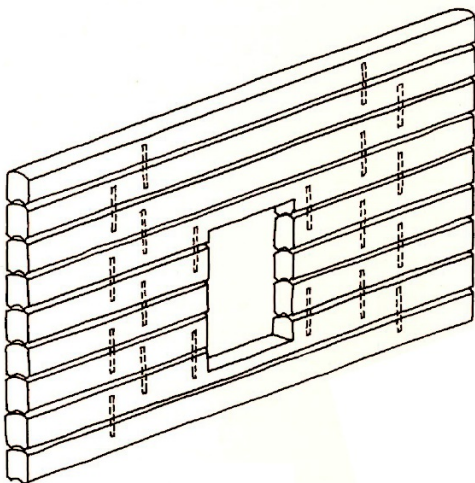


Kuva 21 Hirsirungon väliseinän liitos, a) ulkoseinään; b) väliseinään (Suomen Arkkitehtiilitto 1943e).

Pitkillä seinillä hirsiiä on voitu ja voidaan myös uudelleenikäytössä jatkaa (Kuva 22). Päällekkäisiä hirsiiä sitovat vaarnat (Kuva 23) sijoitetaan ohjeellisesti pareittain (ylemman ja alemman hirren suuntaan) parin metrin välein, mutta käytännössä ne voivat olla harvemmassa tai puuttua kokonaan, erityisesti mitä vanhempi rakennus on.



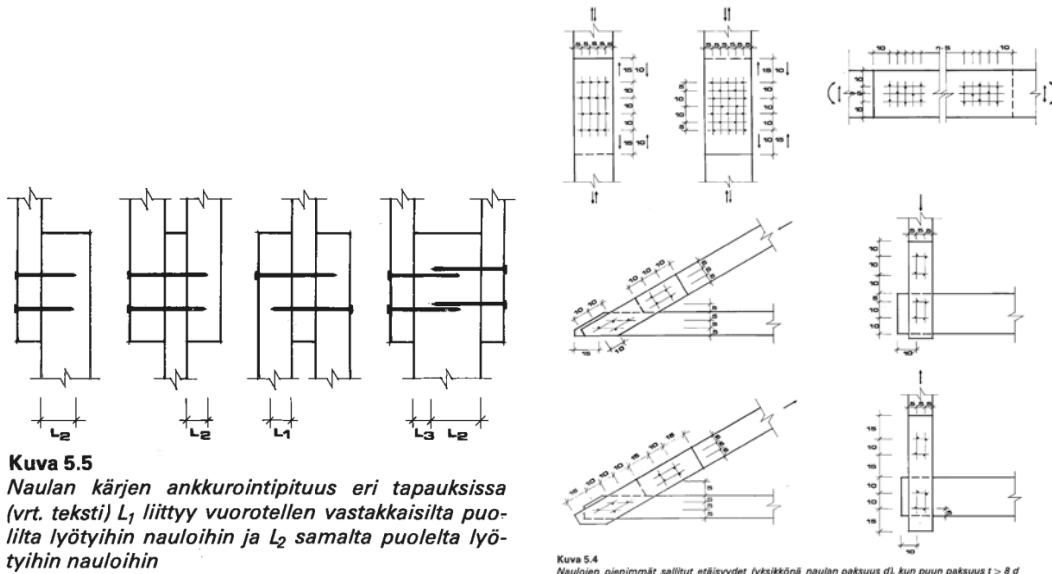
Kuva 22 Muutamia hirsijatkostyyppjä eli karveja (Helamaa 2004: 33, 116, 191).



Kuva 23 Vaarnatapituksen sijoitteluperiaate hirsiseinässä (Helamaa 2004: 275).

5.1.2 Naula-, ruuvi ja tappiliitokset

Rakennusosien liittäminen erilaisten naulojen, ruuvien ja tappien avulla on tavanomainen ja yleisin puurakenteiden liittostyyppi. Liitoksen kestävyys perustuu pääasiassa liittimien leikkauskapasiteettiin sekä liitettävien osien puristumiseen toisiaan vasten. Erityisesti ruuviliitokset voivat kantaa myös jonkin verran vetorasituksia. Liitoksen suunnittelussa ja toteutuksessa on oleellista liitoksen leikkeiden määrä, eli kuinka monta liitettävien osien rajapintaa liitoksessa on (Kuva 24). Leikkeiden lukumäärän kasvaessa myös yksittäiselle liittimelle tuleva leikkausrasitus pienenee, mikä vaikuttaa tarvittavien liittimien lukumäärään ja näin myös sijoitukseen liitosalueella.



Kuva 24 Puurakenteiden naulaliitoksia, liitoksen leikkeisyys ja liittimen ankkurointi liitoskappaleisiin (RakMK B10, 1978).

Tarvittava määrä liittimiä sijoitetaan liitosalueelle Kuvassa 24 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Tyypillistä on, että varsinkin suuria kuormia siirtävissä vesikattorakenteiden tai välipohjapalkkien liitoksissa on käytetty suuria määriä liittimiä. Liitoksen varmuutta on voitu vielä erikseen työmaalla lisätä käyttämällä mitoitusta enemmän kiinnikkeitä.

Rintamamiestaloissa ja sitä vanhemmissa rankarakenteisissa taloissa ei naulojen lisäksi ole käytetty juurikaan muita kiinnikkeitä. Järeitä pultteja saattaa olla käytetty seinärungon kytkemiseksi perustuksiin, mutta lähtökohtaisesti muita teräsosia on ollut hyvin vähän käytössä. Käytetyt naulat ovat nykynauloihin verraten hyvinkin järeitä. Naulat ovat pääsääntöisesti aina vähintäänkin neljän tuuman nauloja, kantavissa rakenteissa jopa pidempiä, aina kuuden seitsemän tuuman nauloja, joiden halkaisija saattaa olla jopa 6-8mm.

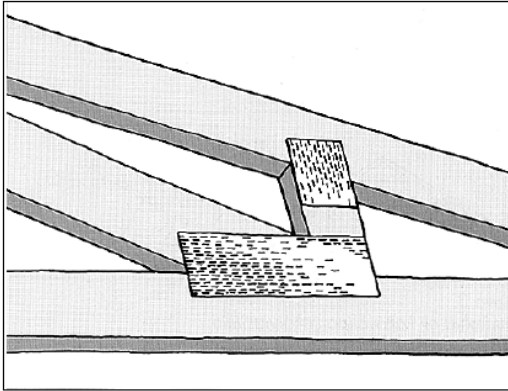
Uudempien pientalojen puurakenneseosien kiinnitystavat vastaavat jo hyvinkin tämän päivän rakentamista. Niissä on käytetty jo jonkin verran ruuveja, kulmarautoja, naulauslevyjä sekä normaaleja nauloja. Naulapyssyt ovat näitä rakentaessa jo yleistyneet, joten naulojen kannat eivät ole niinkään näkyvissä. Purkutyö konenaulatuille puutarvikkeille on hidasta ja usein puutarvike rikkoutuu purkutyössä.

5.1.3 Naulalevyt ja naulauslevyt

Erlaisia naulaus- ja naulalevyjä käytetään erityisesti liitoksissa, joilta vaaditaan momenttijäykkyyttä, ja joissa liitinmäärä naulaliitoksena kasvaa tästä syystä suureksi. Naulauslevyjen avulla voidaan myös varmistaa tarvittavat liittimien etäisyydet.

Naulauslevyliitos toteutetaan naulaamalla kiinnikkeet levyssä olevien rei'itysten mukaan. Niitä käytetään lähinnä rankarakenteissa naulaliitoksia täydentävinä.

Naulalevyt ovat teräslevyjä, joihin on kiinnitetty piikit joko hitsaamalla tai läpäisemällä levyn perusaine. Niiden pääasialliset käyttökohteet ovat teolliset naulalevyristikot, sillä ne mahdollistavat ristikoiden pitkälle viedyn optimoinnin. Naulalevyliitos toteutetaan puristamalla naulalevy liitosalueen päälle molemmiin puolin liitettäviä puuosia (Kuva 25). Naulalevyliitokset eivät todennäköisesti ole purettavissa rikkomatta liitintä ja liitettäviä rakennusosia.

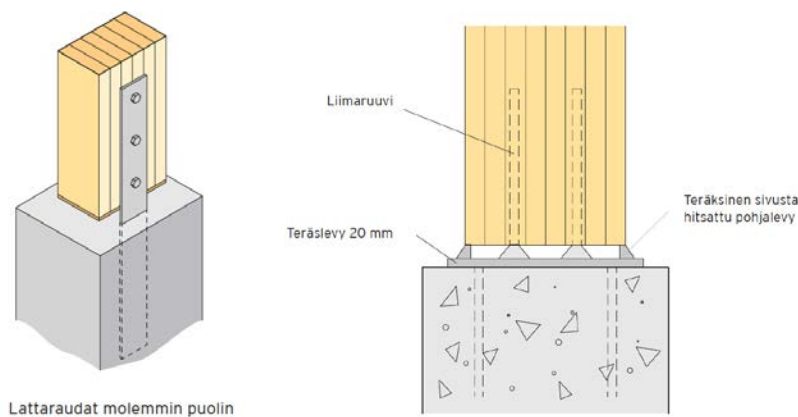


Kuva 25 Naulalevyliitos kattoristikossa (Rakennustieto 1993).

5.1.4 Metalliset tartuntaosat

Noin 1980-luvulta lähtien rakentamisessa on myös yleistynyt erilaisten tarkkaan käyttötarkoitukseen valmistettujen tartuntaosien kuten pilarikenkien, palkkikenkien, kulmarautojen, ym. käyttö. Nämä osat toimivat myös usein osana momenttijäykkää liitosta. Nämä liitokset ovat joko naulattuja, ruuvattuja tai pultattuja.

Eriyiseen käyttötarkoitukseen suunniteltuja liitososia esiintyy yleisesti myös mm. liimapuurunkojen pilarien liitoksissa perustuksiin (Kuva 26). Teräsosin toteutetuissa liitoksissa liitososat on tyypillisesti upotettu betonivaluun. Liittimet voivat olla näkyvillä tai ne on voitu valaa betonin sisään. Liimapuupilarien momenttijäykkää perustusliitoksia on voitu tehdä myös upottamalla liimapuupilarin alapää suoraan betoniperustukseen.



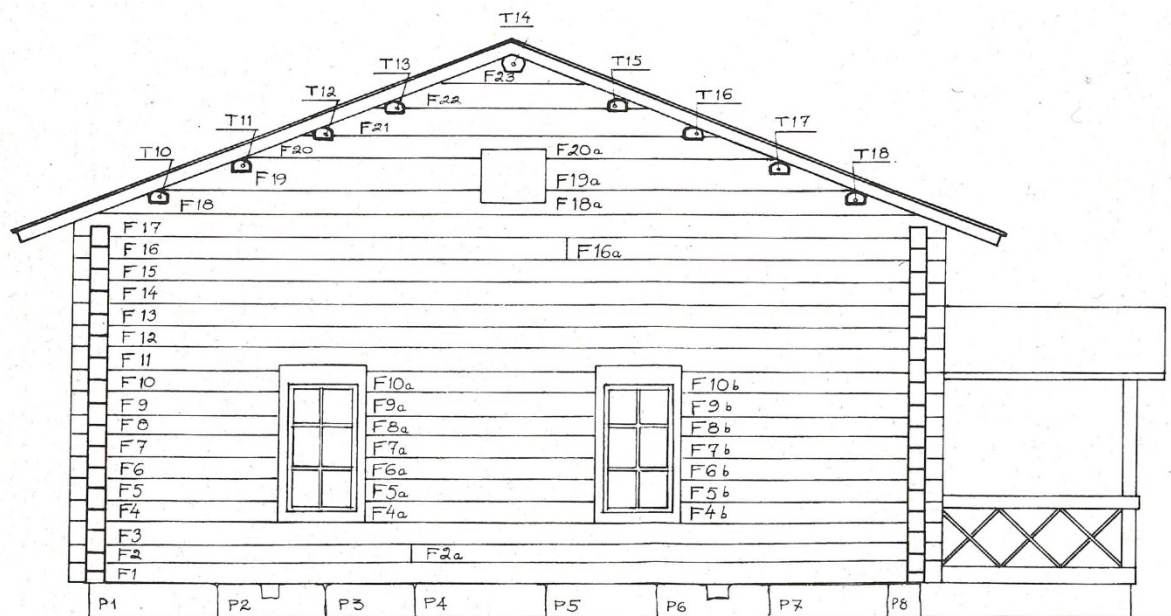
Kuva 26 Liimapuupilarin perustusliitoksia. Vas. nivelenä toimiva liitos, oik. momenttijäykkä liitos. (Puuinfo 2014).

5.1.5 Liimaliitokset

Liimaliitokset käsittävät pääosin rakenneosien sisäiset liimaliitokset liimapuupalkkien lamellien välissä sekä uumapalkkien osien välillä. Liimat on luokiteltu säänkestäviin ja säästä kestävämpiin liimoihin, mikä tulee ottaa huomioon rasitusluokissa rakenteen uudelleenkäyttöä suositeltaessa (esimerkiksi, voidaanko sisätiloihin suunniteltua palkkia käyttää ulko-olosuhteissa). Käytettävän liiman on tullut olla lujuudeltaan yli heikomman liitettävän osan lujuus.

5.2 Alkuperäisten liitosten purettavuus

Hirsisalvokset ovat mekaanisina puuliitoksina täysin purettavia. Hirsikehikko voidaan purkaa osiin ja siirtää toiseen paikkaan. Koska hirsien sovitus toisiinsa (varaus ja salvokset) on käsityötä, ei hirsä voi korvata toisilla ilman, että ne sovitetaan uudelleen toisiinsa. Jotta tältä työläältä vaiheelta vältytään, kannattaa hirsien keskinäinen järjestys säilyttää ennallaan. Tämän vuoksi kehikon osat numeroidaan (Kuva 27). Kehikkoon voidaan myös tehdä muutoksia: esimerkiksi lyhentää rakennusta tai muuttaa sen väliseinäjakoa. Kokonaisen kehikon lisäksi voidaan siitä hyödyntää huoneen tai seinän kokoisia osia, tai yksittäisiä hirsä, jotka tarpeen mukaan varataan ja salvotaan uudelleen uuteen runkoon. Muutosten johdosta tarpeettomat kolot (esim. entiset väliseinien paikat) voidaan täyttää puupaikoilla. Pienet hirsikehikot – ja rankarungotkin – voidaan siirtää myös nosturiautolla kokonaisina tai muutamissa osissa (esim. kerrokset erikseen).



Kuva 27 Siirrettävän hirsikehikon numerointi (Keski-Suomen Museo n.d. lähteessä Vuolle-Apiala 1999: 66).

Rankarunkoisten rakenteiden naulaliitokset ovat usein vaikeasti purettavia. Rintamamiestaloissa runko on vuorattu umpilaudoituksin molemmin puolin. Tämä tarkoittaa sitä, että pelkästään laudoituksen kiinnityksistä johtuva naulojen määrä runkotolpan juoksumetriä kohden on erittäin suuri (arviolta 40 naulaa/jm tai 70 naulaa/m²), jolloin jo pelkästään rungon näkyviin saaminen on työlästä. Puuosien jatkokäyttöä ajatellen rintamamiestalojen runkotavan suuri naulaisuus onkin ongelmallista.

Levyjäykisteisessä seinässä naulojen määrä on pienempi (arvioilta 10 naulaa/m²). Levyjäykisteisessä seinässä naulat ovat myös pienempiä (2") kuin vinolautajäykisteisessä (4"). Levyt voidaankin usein saada irti verrattain vähäisin vaurioin. Konenaulattujen puutarvikkeiden purkutyö voi kuitenkin olla myös vaikeaa, koska naulaus voi olla runsas, nauloihin liittyy liima, ja naulojen päät ovat usein uponneet puun sisälle.

Pien- ja suur- ja tilaelementtirakenteisissa rakennuksissa purkaminen voi helpottua, jos elementtejä ei pyritäkään purkamaan osikseen, vaan ne irrotetaan rungosta kokonaisina uudelleenkäyttöä varten. Osa uudemmista puutaloista on kuitenkin tiiliverhoiltuja, jolloin verhoilu on purettava ennen kuin elementtejä tai puuosia voidaan irrottaa. Teoriassa myös paikalla rakennettuja rankaseiniä voitaisiin yrittää purkaa elementin kaltaisina osina, jolloin ne tulisi ensin tukea tilapäisesti siirtoa varten.

Vanhimmissa kattorakenteissa käytetyt naulat ovat usein olleet rakennusosan kiinnitykseen ylipitkiä, jolloin ne on saatettu taittaa rakenteen toiselta puolelta eli kotkattu. Naulat ovat usein sellaisissa paikoissa, tai niin huolellisesti naulattuja, että niihin voi olla vaikea päästä käsiksi poistamista varten.

Uudemmissa rakennuksissa kattojen naulalevyristikoita ei kannata purkaa osiin, vaan ne voidaan irrotuksen jälkeen nostaa pois kokonaisina. Naulalevyristikoiden irrotuksen ja kuljetuksen haasteena on ristikkojen osien pitkälle viety optimointi, mikä tekee ristikoista herkkiä rikkoontumiselle ja asettaa täten vaatimuksia niiden käsittelylle.

Ikkunanpuutteiden ja ovilevyjen irrotus on yksinkertaista, koska ne voidaan vain nostaa saranoiltaan. Karmien irrotus rungosta karmiruuvit katkaisemalla on täysin mahdollista, mutta hiukan työläämpää. Käytännössä purkutaloista peräisin olevien ovien ja ikkunoiden ongelmana onkin tällä hetkellä se, että karmeja ei usein ole vaivauduttu irrottamaan ovien tai ikkunanpuutteiden mukana.

Pientaloja puretaan yleensä käsityökaluilla siihen asti, kun kaikki säästettäväksi haluttu rakennusmateriaali on saatu irrotettua. Varsin usein pientalot kuitenkin puretaan sen jälkeen tai jopa kokonaisuudessaan kaivinkoneella. Näistä menetelmistä käsin purkaminen tuottaisi paremmat mahdollisuudet purkupuutavaran uudelleenkäytölle, mutta menetelmä on hidas ja sitä myöten kallis. Tosin erään suomalaisen tapaustutkimuksen (Sakaguchi 2014) mukaan myös koneella purkaminen voi tuottaa varsin pitkää puutavaraa, ainakin kaikkein pienimmissä ja toisaalta suurissa poikkileikkauksissa.

Käsin purkaessa säästettävät rakennusosat on määriteltävä harkitusti. Pienen poikkileikkauksen puutarvikkeet ovat usein niin edullisia, että purkutyön kustannukset ovat rajoittava tekijä. Raskaasti tai tiukasti naulatuissa rakenteissa purkutavaksi valikoituu helposti katkaiseminen moottorisahalla, jolloin puutarvikkeen pituus lyhenee. Myös käsin purettaessa puutarvike voi helposti rikkoutua purkutyössä vähintään päistään.

Hallirakennusten liimapuiset pilari-palkkirakenteet ja kehät ovat selkeitä purettavia. Niiden liitokset ovat usein verrattain yksinkertaisesti irrotettavia pulttiliitoksia. Pilarin perustusliitos osoittautuu todennäköisesti näiden rakenteiden vaikeimmaksi purkaa. Perustusliitos sisältää lähes aina betoniin upotettuja teräksisiä liitososia, jolloin alkuperäisten liittimien säästäminen edellyttäisi betoniperustuksen purkamista murtamalla. Purkaminen voidaan tehdä myös leikkaamalla, jolloin liitos tulee uudessa käyttötarkoituksessa suunnitella uudelleen. Liimapuupilari on voitu myös upottaa betonirakenteeseen momenttijäykän liitoksen aikaansaamiseksi, jolloin pilari on liitoksen purkamiseksi katkaistava.

Massiivipuulevyistä kootut rakenteet ovat periaatteessa selkeästi purettavissa. Liitokset ovat tyypillisesti ruuviliitoksia, joskin liittimien määrä on yleisesti suuri. Massiivipuulevyjen liitoksissa käytetyt ruuvit ovat pitkiä, mikä voi lisätä riskiä mm. ruuvien katkeamiselle liitosta

purettaessa. Selkein purkutapa myös massiivipuulevyrakenteille on rakenteen leikkaaminen liitosalueen vierestä, jolloin kuitenkin uudelleenkäyttöön saatava rakenneosia lyhenee.

5.3 Uudelleenliittäminen

Uudelleenliittämisessä voidaan usein hyödyntää alkuperäistä liittämistapaa erityisesti elementtirakenteissa ja elementtimäisissä rakenteissa. Paikalla rakennettavissa rakenteissa liitokset ovat tapauskohtaisia, mutta yleensä alkuperäisen kaltaisten liitosten käyttö on todennäköisintä.

Eri lähteistä peräisin olevista vanhoista hirsistä voidaan koota uusia kehikoita uusimalla hirsien väliset varaukset ja salvokset. Pituusjatkokset eivät puristusvoimiin perustuvassa massiivirakenteessa ole ongelma, vaan hirsirunko voidaan tarvittaessa rakentaa verrattain lyhyistäkin pätkestä. Hallirakennusten pilari-palkkirakenteiden ja kehien metallisiin tartuntaosiin perustuvat liitokset voidaan usein kiinnittää uudelleen edellyttäen, että niiden purkaminen kokonaisuutena onnistuu. Massiivipuulevyrakenteiden osalta on luontevaa käyttää uudelleenkiinnittämisessä vastaavaa liitostapaa, kuin alkuperäisessä rakenteessa myös siinä tapauksessa, että rakenneosia on irrotettu leikkaamalla. Tällöin liitoksen mahdollisesti vaatima profiili muokataan uudestaan levyn liitettävään reunaan.

Rankarakenteiden kohdalla kysymys on monimutkaisempi. Purettavista rankarungoista ei ehkä useinkaan voida saada riittävän pitkää puutavaraa uusien vastaavien rakennusten rakentamiseen, eikä runkotolppien jatkaminen ole järkevää. Uudelleenkäytettävän sahatavaran jatkamisen tulisikin mieluummin tapahtua tehdasolosuhteissa esim. liimatuin sormijatkoksina. Rakenteiden purkamisen yhteydessä syntyvälle lyhyelle sahatavaralle voi löytyä käyttökohteita elementtien (esim. CLT) ja elementtien kaltaisten (esim. ristikoiden) valmistuksesta.

Jos riittävän pitkää sahatavaraa kuitenkin on saatavissa, voidaan uusissa rankarungoissa käyttää niille tyypillisiä liitostapoja eli naulaliitoksia. Koska näiden liitosten purettavuus on kuitenkin ongelma puun uudelleenkäyttöä ajatellen, olisi järkevää etsiä niille vaihtoehtoja sekä uudelleenkäytössä että normaalissa uudisrakentamisessa. Vaihtoehtojen tutkiminen ei ole kuulunut tämän raportin rajaukseen. Selvinä mahdollisuuksina voidaan kuitenkin mainita ruuvien käyttö naulojen sijaan sekä kaksoiskantanaulojen käyttö silloin, kun liitoksen sijainti rakenteessa sen sallii. Muitakin tapoja saattaa olla löydettävissä.

Rakenteiden uudelleenliittämistä varten toteutetun liitoksen on, vastaavasti kuin uuden liitoksen, täytettävä rakennukselle asetettu tiivysvaatimus. Seinämäisten ja elementtimäisten rakenneosien liitokset ovat haastavimpia riittävän ilmatiiviiden saavuttamiseksi (Lahdensivu et al. 2012).

6 RAKENTEIDEN OMINAISUUDET JA VAURIOT

6.1 Uudelleenkäytettävien puurakenteiden ominaisuudet

6.1.1 Puulajit

Suomessa rakennuspuuna käytetään mäntyä, kuusta, koivua ja tammea. Käytännössä lähes kaikki rakennuspuu on mäntyä tai kuusta. Koivua on käytetty pienissä määrin sisätiloissa (lautoina, vanerina, parkettina), sillä se ei kestä Suomen oloissa ulkotiloissa. Tammea on käytetty arvorakennusten ovissa, ikkunoissa ja sisätilojen paneloinneissa, mutta myös sen esiintyvyys on määrällisesti erittäin vähäistä. Uudelleenkäytettävien rakennusosien puulajit ovat siis samoja kuin uusissa puutuotteissa, käytännössä yleensä mäntyä ja kuusta. Ulkomaisessa kirjallisuudessa tehdään uudelleenkäytön suhteen usein ero arvokkaan kovapuun (lehtipuun) ja vähemmän arvokkaan havupuun välillä, mutta Suomen olosuhteissa tällaisesta lähestymistavasta ei ole apua.

6.1.2 Puuaineksen laatu ja lujuus

Kullakin puulajilla on sille ominaiset ominaisuudet. Kuusen ja männyn lujuusominaisuuksissa ei ole merkittävää eroa, ja puurungoissa niitä käytetäänkin toistensa vaihtoehtoina. Kuusi on kuitenkin ulko-olosuhteissa mäntyä lahonkestävämpää, koska se imee itseensä vähemmän kosteutta; toisaalta männyn sydänpuu, jollaista kuusessa ei esiinny, on puolestaan erittäin lahonkestävää.

Puulla yleensä on hyvät lujuusominaisuudet sekä puristus- että vetovoimia vastaan, mikä tekee siitä monikäyttöisen materiaalin. Uudelleenkäytössä se mahdollistaa kuormituksen suunnan muuttamisen: esimerkiksi aiemmin puristuksessa ollut rakennusosa (kuten seinähirsi) voidaan uudelleenkäytössä muuttaa vedetyksi tai taivutetuksi rakenteeksi (kuten välipohjapalkiksi).

Luonnollisesti kuitenkin myös puussa alun perin olevat, lujuutta alentavat virheet (kuten oksat, vinosyisyys ja halkeamat) säilyvät siinä koko sen käyttöiän. Tämän vuoksi uudelleenkäytettävän puuosan käyttötarkoitusta ei tule suin päin vaihtaa esimerkiksi lattialankusta runkotolpaksi ilman puuaineksen ominaisuuksien tarkastelua.

Puuaineksen tiheys vaikuttaa sen lujuuteen: tiheämpi puu on lujempaa. Hidas kasvu tuottaa tiheää puuainesta. Männyssä myös sydänpuun osuus on sitä suurempi, mitä vanhempi puu on kaadettaessa. Myös koko tuotantoprosessi metsästä rakennukseen (valinta, kaato ja kuivaus) vaikuttaa puuaineksen laatuun. Moderni rakennuspuu kaadetaan entistä nuorempana, eikä sen tuotantoprosessi ole yhtä huolellinen kuin perinteisessä rakentamisessa. Näin ollen satavuotiaasta rakennuksesta puretun, 200-vuotiaana kaadetun hongan puuaines osoittautuukin usein tiheimmäksi, lujemmaksi ja lahonkestävämmäksi kuin uuden, 50-vuotiaana kaadetun kasvatetun puun puuaines.

Koska alkuperäisiä ominaisuuksia ei yleensä kuitenkaan tunneta, on puuaineksen ikääntymisen vaikutuksia sen lujuuteen vaikea arvioida. Puun puristus- ja vetolujuudet eivät ilmeisesti muutu pelkän materiaalin ikääntymisen vaikutuksesta. Ikääntyminen saattaa jossain tapauksissa vähentää taivutuslujuutta hieman, mutta vähenemä ei ole merkittävä uudelleenkäytön kannalta. Todistettavasti ainoastaan törmäyslujuus heikkenee selkeästi

puumateriaalin ikääntyessä. On hyvä huomata, että ikääntymisestä johtuva vähenemä materiaalin törmäyslujuudessa ei kuitenkaan uudelleenkäytössä millään tavalla poikkea käytössä olevien rakennusten ikääntyvissä puurakenteissa tapahtuvista muutoksista.

Sen sijaan vaurioituminen joko käytön tai purkamisen aikana voi heikentää uudelleenkäytettävän puun lujuusominaisuuksia alkuperäisiin verrattuna. Entisestä käytöstä johtuvia vikoja ovat (yli)kuormituksen aiheuttama pysyvä taipuma, kiinnittimien (yleisimmin naulojen) reiät sekä lahottajien ja hyönteisten aiheuttama puuaineksen tuhoutuminen. Pysyvä taipuma lähinnä vaikeuttaa uuden käytön löytämistä taipuneelle kappaleelle. Naulanrei'illä on ilmeisesti samankaltainen vaikutus lujuuteen kuin oksilla. Kuitenkin jos naulanrei'kiä on yhdessä kappaleessa kymmenittäin tai sadoittain, voi niillä olla lujuutta selvästi heikentävä vaikutus. Myös pahasti lahonnut tai hyönteisten syömä puuaines on menettänyt lujuutensa. Nämä viat on helppo tunnistaa puutavarasta visuaalisesti. Niitä käsitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa 6.2.

6.1.3 Pintakäsittelyt

Osa uudelleenkäytettävien puurakenteiden pintojen ominaisuuksista periytyy niiden valmistamisesta ja osa niiden käytöstä. Niin uudet kuin uudelleenkäytettävätkin puutuotteet ovat työstöltään käytännössä joko sahattuja tai höylättyjä. Höylätty puu on vähemmän herkkä mikrobivaurioille kuin sahattu puu (Pitkäranta, 2016:133), ja höylätty säilyy ulkoverhouksessa myös puhtaampana, sillä siinä on lialle vähemmän tarttumapintaa. Vanhimmissa, käsin työstetyissä hirsissä esiintyy myös kirveellä veistettyä piilupintaa. Piiluaminen tiivistää höyläyksen tapaan puun pintasolukon, mikä vähentää kosteuden imeytymistä ja syttymisherkkyyttä.

Puukappaleiden työstötapa määräytyy pitkälti aiotun ensimmäisen käyttötarkoituksen mukaan. Ulkoverhoukset voivat olla joko sahattuja tai höylättyjä, mutta perinteisessä rakentamisessa ne ovat yleensä höylättyjä, kun taas nykyään ne ovat yleensä sahattuja. Sisäverhoukset sekä ikkunoiden ja ovien puitteet ja karmit ovat höylättyjä, kun taas verhouksien alle piiloon jäävät tuotteet ovat yleensä sahattuja. Poikkeuksen muodostaa höyläämällä mitallistettu rakennepuutavara, jota tosin on käytetty vasta muutamia kymmeniä vuosia.

Koska Suomessa on aina suosittu pintaverhousten maalaamista, on rakennuksen pintaosista peräisin oleva uudelleenkäytettävä puutavara käytännössä aina maalattua, tai sisäpintojen tapauksessa joskus lakattua. Rakenteen sisäosien materiaalit kuten laudoitukset ja runko ovat maalaamattomia, mutta enemmän tai vähemmän tummaksi patinoituneita. Koska vanha puutavara on usein jo useaan kertaan käytettyä, voi siinä esiintyä myös erilaisia jäänteitä menneistä käytöistä. Puuosien sisässä voi purkamisen jälkeen esiintyä nauloja tai ruuveja, ja niiden pinnassa kiinni tarttuneita eristemateriaaleja tai betonia/laastia, joka on usein peräisin lautojen käyttämisestä saman rakennuksen perustusten valumuottina.

Pintakäsittelyt sekä puun seassa olevat vierasesineet ja -materiaalit vaikeuttavat huomattavasti puun kierrätystä, mutta haittaavat vähemmän sen uudelleenkäyttöä. Puretun puun ulkonäköön vaikuttavilla ominaisuuksilla ei ole merkitystä silloin, kun puuta käytetään rakenteen sisässä. Puuosien pintakäsittelyjä voidaan korjata ja uusia samaan tapaan kuin rakennuksia korjattaessa, mutta se nostaa uudelleenkäytön kustannuksia ja työläyttä. Parhaimmillaan kuitenkin puun tai sen pintakäsittelyn patinoitunut ulkonäkö voi olla myös haluttava ominaisuus, joka antaa tuotteelle lisäarvoa.

6.1.4 Rakennusosien mitat

Uudelleenkäytettävien rakennusosien mitat periytyvät ensisijaisesti niiden entisestä käytöstä. Ne määräytyvät sekä entisen rakennuksen mitoista että sen rakennejärjestelmästä. Näin ollen esimerkiksi hirsirakennuksista on saatavissa poikkileikkaukseltaan huomattavasti järeämpää puutavaraa kuin rankarakenteista. Uudelleenkäytettävän puutavaran mitat poikkeavat kuitenkin yleisesti uudesta puutavarasta kolmella tavalla: ne ovat lyhyempiä, poikkileikkaukseltaan pienempiä ja niiden mitat ovat epäsäännönmukaisia.

Lyhyys ja/tai lyhentyminen johtuu sekä vanhempien rakennusten nykyistä pienemmästä mitoitusmitasta että rakennusosien vaurioitumisesta joko käytön tai purkamisen aikana. Esimerkiksi huonekorkeus heijastuu rankarakenteisten rakennusten runkotolppien pituuteen. Muun muassa rintamamiestalojen huonekorkeus on yleisesti vain 2,4m, kun nykyään tavoitellaan usein vähintään 2,7 metriä, vaikka pientalojen huonekorkeudesta ei olekaan säädetty mitään Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa. Nykyarkkitehtuuri suosii myös suuria avotiloja esimerkiksi oleskelutiloina, mikä vaatii pidempiä ja järeämpiä palkkeja kuin vanhemmista rakennuksista on saatavissa. Lisäksi sääille alttiina olleet rakennusosat, kuten verhoukslaudat, ovat usein vaurioituneet päistään niihin imeytyneen veden vaikutuksesta. Naulattuja rakennusosia on myös vaikea purkaa ilman, että vähintään niiden päät halkeavat. Purkutekniikalla on tähän kuitenkin suuri vaikutus. Koneellisessa purkamisessa lyhentyminen voi olla huomattavaa, kun taas käsityönä purkaen saadaan parempi tulos. Kuitenkin erään tapaustutkimuksen (Sakaguchi 2014) mukaan myös koneellisessa purkamisessa puutavara saattaa pystyä pitämään alkuperäisen mittansa hyvin.

Poikkileikkauksen pienentyminen on yleensä paikallista. Se voi johtua joko entisestä käytöstä (liitoksiin liittyvät loveukset) tai purkamisessa tapahtuneesta vaurioitumisesta. Paikallinenkin poikkileikkauksen pienentyminen voi helposti johtaa myös kappaleen lyhentymiseen, sillä katkaisemalla kappale loveuksen vierestä saadaan puutavarasta täysisärmäistä. Varsinaisen poikkileikkauksen pienentymisen lisäksi huomionarvoista on, että mitoituskuormia on vuosikymmenten mittaan kasvatettu. Näin ollen täysisärmäiselläkin vanhalla puutavaralla on usein liian pieni poikkileikkaus kuin nykyään vastaavaan tarkoitukseen käytettävällä. Tämän lisäksi runkokuormien poikkileikkauksen määrää nykyään kuormia useammin eristepaksuus, joka on huomattavan paljon suurempi kuin menneinä vuosikymmeninä.

Uudelleenkäytettävän puutavaran mittojen epäsäännönmukaisuus seuraa sekä niiden satunnaisesta muuttumisesta käytön tai purkamisen johdosta (ts. lyhentymisestä ja/tai poikkileikkauksen pienentymisestä) että moduulimitoituksen puuttumisesta. Moduulimitoitus otettiin yleisesti käyttöön 1970-luvulla, ja ennen tätä valmistetut, erityisesti käsityönä tehdyt rakennusosat ovat yleisesti kooltaan vaihtelevampia, eikä niitä ole suunniteltu liittymään moduulimitoitettuihin rakenteisiin. Näin ollen esimerkiksi uudelleenkäytettävistä ovista tai ikkunoista puuttuvia karmeja ei saa korvattua standardituotteilla, vaan ne on valmistettava yksilöllisesti. Lisäksi erityisesti esteettömyyssäännökset ovat vakiinnuttaneet käyttöön vain tietyt ovikoot, eivätkä vanhemmat moduulimitoitettukaan ovet ole aina enää riittävän leveitä.

6.2 Puurakenteiden vauriot

Puurakenteiden vauriot voidaan jakaa biologisiin ja mekaanisiin. Biologiset vauriot syntyvät maakosketuksessa tai muuten pitkäaikaiselle korkealle kosteudelle altistuvassa puurakenteessa. Mekaaniset vauriot puolestaan voivat syntyä joko käytön aikana ja siitä johtuen tai sitten purkamisen yhteydessä.

Biologiset vauriot voivat tyypillisesti olla neljän tyyppisten eliöiden aiheuttamia (Rakennustieto 1999). Nämä ovat:

- lahottaj sienet
- hyönteiset
- bakteerit
- homesienet.

Kaksi ensimmäistä vaurioittavat rakenteen kantavuutta, joten niitä käsitellään tässä kappaleessa. Kaksi jälkimmäistä puolestaan voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveyshaittoja, joten niitä käsitellään seuraavassa kappaleessa.

Eliöiden esiintymiseen, lajistoon ja määriin, vaikuttaa keskeisesti ilmanvaihdon tehokkuus, lämpötila, kosteusolosuhteet ja rakennusmateriaalin ominaisuudet ja koostumus. Tästä syystä samassa rakennuksessa voi olosuhteiden vaihdella esiintyä hyvin erilaisia eliöitä ja eliöperäisiä vaurioita. Vauriot voivat myös samasta syystä olla pistemäisiä tai koskea laajempia alueita ja johtua eri tekijöistä/lajistosta eri puolilla rakennusta.

6.2.1 Lahovauriot

Puun lahovauriot kehittyvät lahottaj sienien vaikutuksesta puuhun, jonka kosteuspitoisuus on korkea. Kehittyäkseen lahottaj sienet tarvitsevat vettä, happea, ravinteita ja sopivan lämpötilan. Yleisesti lahottaj sienien kasvu käynnistyy puun kosteuden ollessa yli 20 paino-% ja ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 80–95 %. (Rakennustieto 1990).

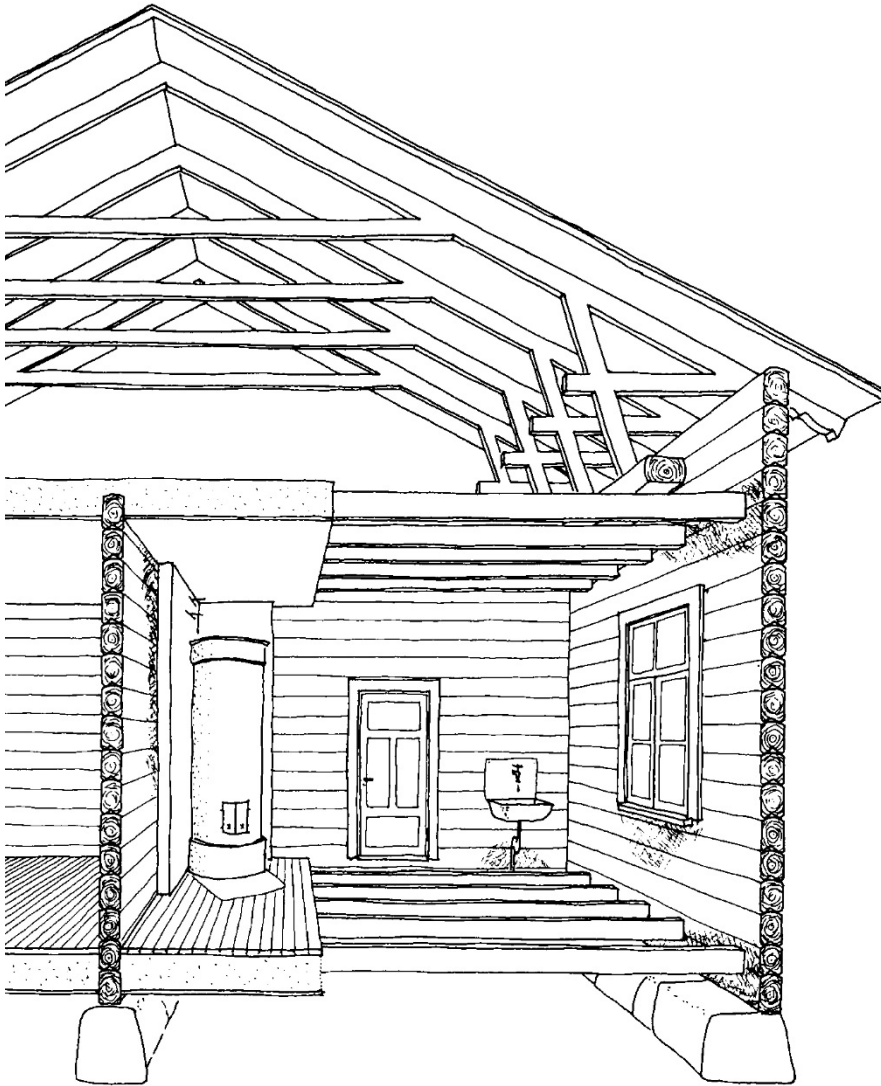
Lahottaj sienet lahottavat puun selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä, mistä syystä puun rakenteelliset ominaisuudet muuttuvat. Puussa esiintyvä laho voi näin merkittävästi vähentää puurakenteen kantokykyä ja/tai kasvattaa huomattavasti pitkäaikaistaipumia (Sagot n.d.). Kantavissa rakenteissa ei näin tule käyttää puuta, joka on altistunut lahottaj sienille eikä kantavia rakenteita tule altistaa olosuhteille, joissa ne voivat olla kosteina pitkiä aikoja.

Lahovaurioita esiintyy puurakennuksessa tyypillisesti Kuvan 28 osoittamissa paikoissa. Hirsirakennuksissa erityisesti alimmat seinähirret ovat usein lahonneet, ja ne tulee varautua korvaamaan toisilla. Pelkkä pinnallinen laho ei kuitenkaan estä uudelleenkäyttöä, vaan se voidaan veistää pois ja korvata puupaikalla.

6.2.2 Hyönteisvauriot

Hyönteisvauriot kehittyvät yleisesti hyönteisille suotuisissa olosuhteissa korkeassa kosteuspitoisuudessa ja lämpötilassa. Laajat hyönteisvauriot voivat vahingoittaa rakenteen kantavuutta. Suomessa ei kuitenkaan esiinny termiittejä, jotka voivat aiheuttaa puurakenteille laajoja vaurioita. Puun kestävyys hyönteisvaurioita vastaan riippuu puulajista ja tuhohyönteislajista. Yleisesti sydänpuu on kestävä hyönteisvaurioita vastaan. Kemikaalit voivat lisätä puun kestävyttä hyönteisvaurioita vastaan, mutta esimerkiksi laajenevat halkeamat, jotka ulottuvat puun kyllästekerroksen läpi muodostavat hyönteisille soveltuvia kasvupaikkoja. (Rakennustieto 1990).

Jos rakenneosissa esiintyy hyönteisiä tai niiden tuottamia reikiä, tulee puuosat tarkastaa huolellisesti ennen uudelleenkäyttöä. Hyönteisvauriot voivat näet olla myös merkki puun lahovauriosta, sillä ne käyttävät tyypillisesti ravinnokseen lahottaj sienien rihmastoja ja lahottaj sienien pehmentämää puuta.



Kuva 28 Lahovaurioiden tyypillisiä sijainteja hirsirakennuksessa: ulkoseinän alaosa, ikkunoiden alapuolet, yläpohjan liittymä ulkoseinään, vesipisteiden kohdat, piippujen juuret, palomuurien taukset (Museovirasto 2000c).

6.2.3 Taipumat

Yksi puurakenteiden erityispiirre muihin rakennusmateriaaleihin nähden on, että rakenteen rasitukseen vaikuttaa myös kuorman pitkäkestoisuus, aikaluokka. Puurakenteisiin syntyy usein pitkäaikaisen kuormituksen vaikutuksesta materiaalin virumisen vaikutuksesta taipumia. Taipumia syntyy tyypillisesti vaakarakenteisiin ja ne ovat luonteeltaan pysyviä. Koska vanhoissa rakennuksissa on käytetty pienipoikkileikkauksista puutavaraa, on taipumia voinut syntyä jo verrattain pienillä jänneväleillä. Etenkin vesikatoissa, yläpohjissa ja välipohjissa taipumat voivat usein olla huomattavia. Uudelleenkäyttöä ajatellen mahdollinen rakenneosan taipuma voi vaikuttaa siihen, millaiseen käyttötarkoitukseen purettu osa voidaan asettaa. Esimerkiksi taipunutta palkkia ei voida käyttää pilarina rakenteessa, jossa pilarin epäkeskisyydelle tai toisen kertaluokan rasituksille on asetettu tarkat vaatimukset. Taipunutta rakennetta voi myös olla vaikea sovittaa yhteen taipumattomien kanssa esimerkiksi samaan palkistoon.

6.2.4 Naulat ja naulanreiät

Naulanreikien vaikutusta runkotolppien lujuusominaisuuksiin on selvitetty eräässä japanilaisessa tutkimuksessa (Nakajima & Murakami 2008). Tutkimuksessa runkotolppien lujuusominaisuudet heikkenivät, jos niiden lyhyillä sivuilla esiintyi naulanreikiä määrää, joka vastaa molemminpuolisessa naulauksessa tiheämpää naulausta kuin 67 mm välein.

Edellä on todettu, että rintamamiestalon pystyrungossa esiintyy jopa 40 naulaa eli naulanreikää juoksumetriä kohden. Tämä vastaa molemminpuolista naulausta 50 mm välein. Rintamamiestalon rakenteelle ominainen naulanreikien määrä saattaa siis jo vaikuttaa rakenteen kantavuuteen. Uudemmissa pientaloissa reikien määrä lienee vähäisempi.

Toisessa japanilaisessa tutkimuksessa naulanrei'illä oli yleisesti vastaava vaikutus lujuuteen kuin oksilla (Nakajima & Nakagawa 2010). Tämän perustella VTT:n tutkija Petr Hradil onkin ehdottanut, että laatumielessä uudelleenkäytettävän puutavaran reikäisyys voitaisiin rinnastaa neitseellisen puutavaran oksaisuuteen.

Usein kaikkia nautoja ei saada irti, vaan osa katkeaa puun sisälle tai päästään. Katkenneiden nautojen poistaminen voi olla vaikeaa. Usein katkennut naula jätetäänkin puuhun, ja sen ulostyöntövä osa vain taitetaan eli kotkataan sisään. Jos puutarvikkeita tämän jälkeen työstetään, voi nautoista olla haittaa työstämisessä käytetyille työkaluille tai ne voivat jopa rikkoa laitteen (kuten sirkkelin tai höylän) terän.

6.2.5 Vaurioituminen purkamisen yhteydessä

Eräässä suomalaisessa tutkimuksessa (Sakaguchi 2014) havainnoitiin rankarakenteisen päiväkodin koneellista purkamista. Tällä purkumenetelmällä rakennusosien pituudet lyhentyivät poikkileikkauksesta riippuen 1–69 % niiden alkuperäiseen pituuteen verrattuna. Parhaiten pituutensa säilyttivät järeet palkit (4x4”), katon aluslaudoitukset (1x4”) sekä ulkoverhouslaudat (1x4” ja 1x6”). Sen sijaan runkotolpat lyhentyivät selvästi, alkuperäisestä 3–4 metristä keskimäärin 2:een metriin.

Kuten jo todettua, puutarvikkeiden vaurioituminen on toki todennäköisempää konepurkamisessa kuin käsin purkamisessa, mutta myöskään käsin purkaessa vaurioitumista (esim. päiden halkeamista) ei voida täysin välttää.

6.3 Terveydelle ja ympäristölle haitalliset aineet

Mitä tahansa rakennusosia uudelleenkäytettäessä on tärkeä tunnistaa terveydelle ja ympäristölle haitalliset aineet, jotta niitä sisältävät rakennusosat saadaan poistettua kierrosta tai kohdistettua edelleen sallittuihin käyttötapoihin.

6.3.1 Haitta-aineet

Yleisimpiä haitta-aineita ovat asbesti, PAH-yhdisteet, PCB ja lyijy. Puisten rakennusten haitta-aineet sijaitsevat yleensä muissa kuin puisissa rakenteissa, poislukien puun kyllästeet (seuraava kappale) ja valkoisissa maaleissa 1960-luvulle saakka käytetty lyijyvalkoinen. Haitta-aineet kohdistuvat yleensä betonirakenteisiin, perustusrakenteisiin, pesuhuonerakenteisiin tai vesikatto- ja julkisivurakenteisiin. Tyypillisiä asbestia tai haitta-aineita sisältäviä rakenteita ovat betonirakenteiden julkisivumaalit, julkisivuverhouslevyt, vesikatteet, seinäpintojen tasoitteet, lattiatasoitteet, laatoituslaastit ja lattialiimat. Yleisesti siis haitalliset aineet eivät useinkaan ole suorassa kontaktissa sellaisen puutavaran kanssa, jonka jatkokäyttö voisi olla järkevää. Muovimattojen liimat ja mahdolliset pesutilojen laatoitukset ja laastit ovat yleensä kiinni sellaisessa rakennusmateriaalissa, jonka jatkokäyttö

ei ole mahdollista. Vesikattojen ja julkisivuverhousten materiaalit ("mineriittilevyt", "varttikatot" jne.) ovat yleisesti helposti kappaletavarana purettavia, joten ne eivät juurikaan vaikuta ympäröivien puurakenteiden jatkokäyttöön. Asbesti- ja haitta-ainepitoisten materiaalien purkaminen nykyasbestisäädösten mukaan kuitenkin lisää purkutyökustannuksia.

6.3.2 Kyllästeet

Kemiallisella puunsuojauksella tarkoitetaan puun käsittelyä tai kyllästämistä biosideilla tai suoja-aineilla. Paineekyllästettyä puuta on Suomessa käytetty rakennusten kosteudelle altistuvissa osissa sekä betonirakenteiden vastaisissa puuosissa kuten puurungon alaohjauspuussa sekä lähinnä piharakenteissa, kuten terasseissa. Kyllästetyn puun käyttörajoitukset ovat tiukentuneet, joten kyllästettyä puutavaraa saattaa esiintyä rakenteissa, jossa sitä ei enää nykyään käytettäisi. Esimerkiksi karjasuojiiin tarkoitettuja ikkunoita valmistettiin 1950-luvulla kyllästetystä puusta (Mikkola & Bök 2011: 115). Tänä päivänä kyllästettyä puuta käytetään lähinnä sateelta suojaamattomissa ulkorakenteissa ja erityisesti maakosketuksessa, jossa se myös lahoaa ajan myötä, vaikkakin selvästi hitaammin kuin kyllästämätön puu. Jos kyllästetty puu ei käytöstä poistettaessa ole vielä menettänyt lujuuttaan, on uudelleenkäyttö ainoa vaihtoehto sen hyödyntämiseksi edelleen. Kyllästettyä puuta ei näet voi kierrättää muiksi puutuotteiksi, vaan se erilliskerätään ongelmajätteenä ja hävitetään polttamalla.

Haitallisin puun kyllästämisen käytetty aine on kreosootti, joka tislataan kivihiilitervästä. Se on tehokas mutta myrkyllinen puunsuoja-aine. Se sisältää syöpää aiheuttavia PAH-yhdisteitä, jotka varsinkin purettaessa vapautuvat hiukkasina ja höyryinä ilmaan. Kreosootilla on tunnusomainen, pistävä haju, joka on helppo tunnistaa. Haju on tuttu vanhoista puhelinpylväistä ja rautatiepölyistä. Sillä käsitelty puu on tummanruskeata. Kreosoottia käytettiin rakennuksissa yleisesti aina 1960-luvulle saakka. Lopullisesti sen käyttö tavallisessa rakentamisessa kiellettiin vasta 2003. (Ympäristöministeriö 2017). Kreosootilla kyllästettyä puutavaraa voi siis edelleen esiintyä vanhemmissa rakennuksissa ja rakenteissa. Sillä käsiteltyä puuta ei saa käyttää sisustamiseen tai rakennuksen sisällä, leluihin, leikkikenttien tai virkistysalueiden tai muiden vastaavien ulkotilojen rakenteisiin, jos iho voi toistuvasti joutua kosketukseen puun kanssa, eikä puutarhakalusteisiin, ravintokasvien kasvatukseen tarkoitettujen astioiden, pakkausten tai muiden esineiden valmistukseen ja käyttöön, jos esine voi joutua kosketuksiin ihmisten tai eläinten ravinnoksi käytettävien tuotteiden, niiden raaka-aineiden tai välituotteiden kanssa taikka saastuttaa niitä. (VnA 8/2003).²

Puuta painekyllästettiin 1950-luvulta 2000-luvulle CCA- (kromi-kupari-arseeni) ja CC (kromi-kupari) –suoloilla. Nämä suolat ovat karsinogeenisiä. Nykyään kyllästeet sisältävät pelkästään kuparia. (Ympäristöministeriö 2017).

Uusi kysymys on 1930-80 -luvuilla käytettyjen kloorifenolipohjaisten puunsuoja-aineiden mahdollinen haitallisuus puurakenteiden kastuessa. Kloorifenoleja käytettiin estämään sinistymistä, homehtumista ja lahoamista mm. kaikenlaisessa runkopuutavarassa sekä ikkunoiden ja ovien karmeissa. Suomessa on käytetty erityisesti KY5-tuotenimistä pentakloorifenolipohjaista sinistymisenestoainetta. Kastuessaan nämä rakenteet voivat emittoida kloorianisoleja, jotka ilmenevät homemaisena hajuna, joka on erittäin tarttuvaa. Haju on tunnusomainen ("mummonmökki") ja helposti tunnistettava. Kloorianisoliin terveysvaikutuksia ei juuri ole tutkittu, mutta mitä tahansa asuintilojen voimakasta hajua voidaan itsessään pitää mahdollisena terveyshaitan aiheuttajana. Kloorianisoliin pitoisuuksille huoneilmassa ei kuitenkaan ole asetettu mitään raja-arvoja. (Envall 2017).

² VnA 8/2003 on sittemmin kumottu ja sen korvaa EU:n kemikaaliasetus, ns. REACH-asetus (No 1907/2006). Kreosootin käyttörajoitukset ovat kuitenkin edelleen samat kuin kumotussa asetuksessa.

6.3.3 Mikrobit

Terveydelle haitallisia mikrobeja voivat olla bakteerit ja homesienet. Bakteerit eroavat puun lahottajasienistä (kappale 6.2.1) siinä, että ne eivät tyypillisesti muuta puun lujuusominaisuuksia. Bakteerit kuitenkin myös tuhoavat puun rakennetta vähentäen puun kosteusliikkeitä. Home- ja sinistäjäsienet eivät myöskään suoraan vaikuta puun lujuusominaisuuksiin, mutta voivat edesauttaa lahovaurioiden syntymistä ja etenemistä. (Rakennustieto 1999). Mikrobivaurioituneita (bakteeri- ja home-) puuosia ei tulisi käyttää uudelleen sisäilmariskin välttämiseksi. Näille puuosille voi kuitenkin löytyä käyttökohteita toissijaisissa (ulko-)rakenteissa, joissa sisäilmariskin ehkäisy on varmistettu.

Bakteerikasvu aiheuttaa hajua, joka tarttuu tekstiileihin. Lisäksi bakteerikasvu ja bakteerien aiheuttamat aineenvaihduntatuotteet ovat osasyynä rakennuksen kosteus- ja homevaurioista aiheutuviin sisäilmaongelmiin.

Homesienet voidaan havaita puun pinnalle syntyvistä värjäyryistä. Homesienten merkittävin vaikutus ilmenee kuitenkin tekstiileihin tarttuvana hajuna sekä aineenvaihduntatuotteiden vaikutusten kautta. Osan homesienistä aineenvaihduntatuotteet on havaittu aiheuttavan rakennusten käyttäjillä allergiatyypisiä oireita, kuumereaktioita ja hengitystiesairauksia. Osa homemaisista hajuista voi kuitenkin olla myös kloorianisolien aiheuttamaa (ks. edellinen kappale).

Sinistäjäsiementen aiheuttama suurin haitta on puun värjäytyminen, mikä johtuu mm. puun pintasolujen vahingoittumisesta. Sinistynyt puu on osana myös puun luonnollisessa harmaantumisprosessissa, mitä usein arvostetaan ulkonäöllisesti ns. patinoituneena pintana.

Kosteus- ja mikrobivaurioiden laajuutta eri rakenneosissa on tutkittu tuoreessa tutkimuksessa ja havaittu, että vauriot ovat keskimääräisesti luonteeltaan enemmän pistemäisiä kuin laaja-alaisia (Annala et al. 2017a). Tosin vaihtelu rakennusten välillä on suurta ja jokainen rakennus pitääkin käsitellä tapauskohtaisesti. Tutkimuksen mukaan kosteus- ja mikrobivauriot koskevat rakenneosasta riippuen 2,4 – 16,3 % kyseisen rakenteen kokonaismäärästä. Laajimpia kosteus- ja mikrobivauriot ovat keskimääräisesti olleet maanvastaisissa seinärakenteissa sekä alapohjarakenteissa. Maanvastaiset seinärakenteet eivät yleensä ole puurakenteisia, mutta alapohjarakenteiden ryhmä käsittää sekä ryömintätilalliset alapohjat, jotka ovat yleensä puurakenteisia, että maanvastaiset alapohjat (aina betonirakenteisia). Yläpohjarakenteissa, ulkoseinissä sekä välipohja- ja väliseinärakenteissa vaurioiden laajuus on ollut keskimäärin vain 2,4 – 4,5 % rakenneosan kokonaismäärästä. (Annala et al. 2017a)

Toisessa tuoreessa tutkimuksessa (Annala et al. 2017b) on selvitetty, miten usein eri rakenneosissa esiintyy kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyvää korjaus- ja toimenpidetarvetta. Tutkimus edustaa vain sisäilmaongelmista kärsiviä tai muista syistä peruskorjattavia rakennuksia, eikä siitä siten voida tehdä koko rakennuskantaa koskevia suoria päätelmiä. Kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyvää korjaustarvetta esiintyy 14–96 % riippuen rakenneosasta ja rakennuksen iässä. Mitä vanhempi rakennus on, sitä enemmän korjattavaa keskimääräisesti on.

Suurin korjaustarve liittyy puurakenteisiin ryömintätilaisiin alapohjiin (85 %), maanvastaisiin alapohjiin (82 %), ulkoseiniin betonirunkoisissa rakennuksissa (67 %) sekä maanvastaisiin seiniin (56 %). Pienin korjaustarve on harja- ja tasakatoissa, ollen 29 ja 30 %. (Annala et al. 2017b).

Tutkimuksessa (Annala et al. 2017b) ei ole suoranaisesti verrattu eri materiaaleja keskenään, mutta puurunkoisten rakennusten kosteus- ja mikrobivaurioiden määrä ei selkeästi eroa muista runkoratkaisuista.

Mietittäessä puisten runkorakenteiden uudelleenkäyttöä, on mahdollista, että runkorakenteissa esiintyy kosteus- tai mikrobivaurioita. Esiintymisen todennäköisyys kasvaa, jos sisäilmaongelmat ovat rakennuksen purkamisen taustalla. Kuitenkin myös kosteus- ja mikrobivaurioituneessa kohteessa voi todennäköisesti olla uudelleenkäyttöön soveltuvia puurungon rakenneosia, sillä keskimääräinen vauriolaaajuus vauriokohteissakin on melko alhainen (Annala et al. 2017a).

Uudelleenkäytön kannalta haasteelliseksi nouseekin materiaalien lajittelu uudelleenkäyttöön soveltuviksi ja soveltumattomiksi. Aina tätä rajausta ei voida tehdä aistinvaraisesti, koska mikrobivaurioita tai muita puun pinnassa tai halkeamissa olevia epäpuhtauksia ei välttämättä voida havaita silmämääräisesti. Komponenttien määrän ollessa suuri, esimerkiksi välipohjan kantavien palkkien kohdalla, on tarkempien laboratoriotutkimusten ja materiaalinäytteiden kustannus korkea, jos uudelleenkäyttöön soveltuvuutta selvitetään tarkemmin tutkimuksin jokaisen komponentin osalta.

Edellä kuvatun mukaisesti on tarve ohjeistukselle, jonka perusteella puurakenteet voidaan luokitella uudelleenkäytön kannalta kolmeen ryhmään:

- 1) soveltuu uudelleenkäytettäväksi sellaisenaan
- 2) soveltuu uudelleenkäytettäväksi mekaanisesti puhdistettuna
- 3) ei sovellu uudelleenkäyttöön.

Luokittelussa ja puukomponentin puhtauden arvioinnissa on aiheellista tarkastella myös uudelleenkäyttökohdetta ja komponentin sijaintia valmiissa rakennuksessa. Jos rakennuksessa on korkea vaatimustaso puhtauden suhteen tai siellä noudatetaan terveen talon toteutuksen kriteereitä (Rakennustieto 2003 & 2004; Hyvärinen et al. 2017), on aiheellista varmistaa uudelleenkäyttävien komponenttien puhtaus laboratorioanalyysin riittävän suurella otoskoolalla, esimerkiksi 10% rakennusosista.

Mekaanisen puhdistamisen (sahaus, höyläys, hionta) osalta nykyisellään ei ole riittävästi tietoa turvaetäisyyksistä silmämääräisesti havaittavaan kosteus- tai mikrobivaurioon tai toisaalta kriteereitä, miten rajaus tehdään ryhmien 2 ja 3 välillä. Toisaalta myös mekaanisen puhdistamisen syvyyden ja perusteellisuuden osalta tarvitaan lisätietoa. Puhdistamista koskeva tutkittu lisätieto toisi lisäarvoa myös kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaamiseen ja korjaussuunnitteluun.

7 NORMIEN MUUTOKSET

Maankäyttö- ja rakennuslaki asettaa vaatimuksia rakentamiselle koskien rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, ääniolosuhteita, energiatehokkuutta sekä lämmitystä. Rakennuksen suunnittelussa näitä ominaisuuksia on ohjattu normien, määräysten ja ohjeiden avulla. EU- ja ETA-alueella rakenteet mitoitetaan Eurokoodien mukaisesti. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja.

Tässä esitetty rakentamisen normeja ja niiden muutoksia kuvaava tarkastelu ei kata ajallisesti kaikkia puurakentamista koskevia määräyksiä. Normien katsaus on tehty siinä laajuudessa, että normien muutoksen trendeistä on saatu riittävä käsitys. Normien muutokset paitsi selittävät puurakentamistavoissa tapahtuneita muutoksia, selventävät myös niitä vaatimuksia, jotka uudelleenkäytettävien rakenteiden on tänä päivänä täytettävä.

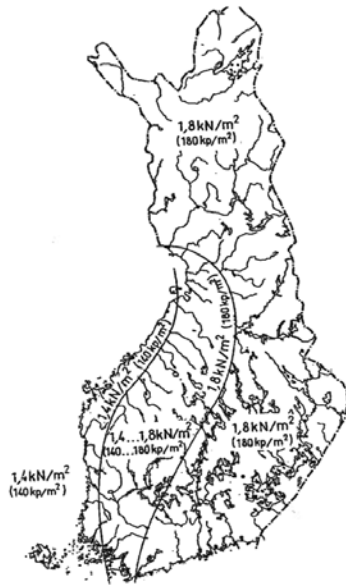
7.1 Rakenteiden kuormitus ja varmuus

Rakentamismääräyskokoelman osa B10 on ohjannut puurakenteiden suunnittelua 1978–2007 (RakMK B10 1978, 1983, 2001). Vuodesta 2007 eteenpäin yhtenäiset eurooppalaiset Eurocode-suunnittelustandardit kansallisine liitteineen (Eurokoodi 2007) korvasivat kansallisen rakentamismääräyskokoelman puurakenteiden mitoituksessa. Puurakenteiden materiaaleina rakentamismääräyskokoelma on tunnistanut lujuusluokitellun rakennuspuutavaran, liimaamalla jatkettun sahatavaran ja liimapuun sekä kuitu- ja lastulevyt ja vanerituotteet. Vuoteen 1983 asti on mainittu mahdollisuus käyttää myös lujuusluokittelematonta puumateriaalia laadultaan yksinkertaisissa rakennuksissa. Liittiminä on tunnettu mekaaniset liittimet (naulat, ruuvit, pultit, vaarnat sekä naulalevyt) ja liimaliitokset.

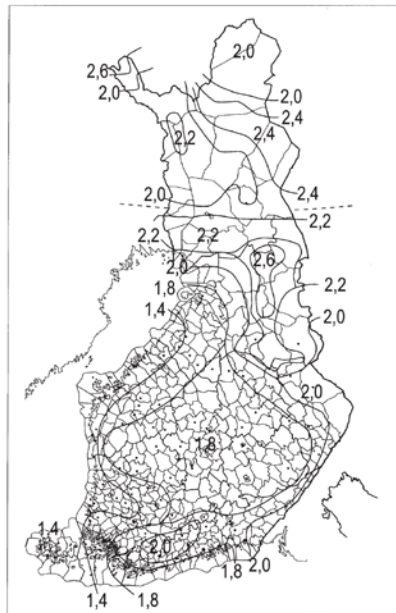
Rakentamismääräyskokoelma on ohjannut rakenteiden varmuutta ja kuormitusta vuodesta 1976 lähtien (RakMK B1–3 1976, RakMK B1 1998). Eurokoodi on korvannut myös tämän määräyskokoelman osan vuodesta 2007 lähtien. Yleinen vaatimus on, että rakenteiden kuormitus ei johda rakenteen tai sen osan sortumiseen, liiallisiin muodonmuutoksiin, rakenteisiin kiinnitettyjen varusteiden ja laitteiden vaurioitumiseen tai rakenteeseen nähden pienen ulkopuolisen tekijän kuten törmäyksen aiheuttamaan vaurioon. Määräyskokoelman vaatimusten mukaan välipohjan vähimmäiskuormituksen ominaisarvo on voinut pienimmillään olla 1,5 kN/m². Vuodesta 2007 lähtien pienin mahdollinen vähimmäiskuormituksen ominaisarvo on ollut 2,0 kN/m². Myös pistekuorman osalta vaatimus on kasvanut vastaavasti 1,5 kN:sta 2,0 kN:iin. Lisäksi kantaville rakenteille mitoituksessa asetettava lumikuorman ominaisarvo on kasvanut rakennuspaikan sijainnista riippuen huomattavasti, n. 40...70 % (Kuva 29).

Suunnittelumääräykset ovat rajoittaneet kantavien rakenteiden taipumia ja vaakasiirtymiä, mikäli niistä on nähty olevan haittaa. Vuoteen 1983 asti on annettu kylmän tilan vesikattorakenteille taipumaraja L/120. Tämän jälkeen suurin sallittu taipuma on ollut lämpimän tilan yläpohjalle L/200 ja väli- ja alapohjalle L/300. Hyötykuorman aiheuttama taipuma asuinrakennuksen ala- tai välipohjassa on kuitenkin vuodesta 1990 lähtien rajoitettu 12 mm:iin. Eurokoodin kansallinen liite on asettanut taipumarajaksi pääkannattimille L/300 ja toisiokannattimille L/200. Lattioiden pääkannattimien taipumaraja on ollut L/400. Ulokkeellisella rakenteella taipuma on saanut olla jännevälin suhteen kaksinkertainen.

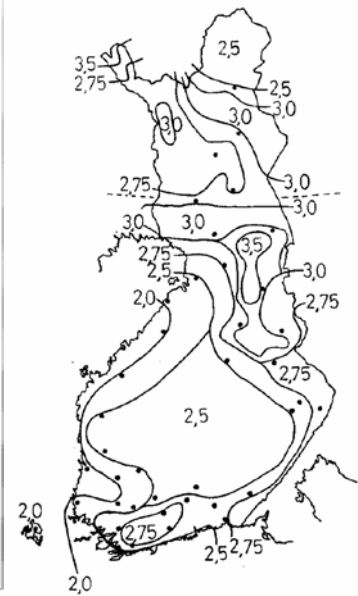
Suunnittelukuormien kasvu ja sallittujen taipumien rajoittaminen voi uudelleenkäytössä vaatia muutoksia rakenteisiin, esimerkiksi jännevälin lyhentämistä tai palkiston tihentämistä.



Kuva 1 Kattojen lumikuormat



Kuva 1. Kattojen peruslumikuormat s_0 . Rakennuspaikan sijaintesta aiheutit, jossa arvo ei ole vakio, välisarvot interpoloidaan suoraviivaisesti suhteessa etäisyyksien lähimmästä käytävään.



Kuva 29 Lumikuormien ominaisarvot RakMK B1–3 (1976), RakMK B1 (1998), Eurokoodi (2007).

7.2 Lämmöneristys

Vuoden 1947 RT-kortissa ”RT-086.1 Lämmönläpäisy-luku, korkein sallittu” (Rakennustieto 1947) on annettu sallitut lämmönläpäisy-luvut puurakenteisille ulkoseinille sekä ylä- ja alapohjille. Vaatimukset on annettu erikseen eri rakennusmateriaaleista rakennetuille seinille sekä riippuen rakennuksen sijainnista vaihdellen 1,05 (tiilirakenteinen ulkoseinä Etelä-Suomessa)...0,47 (puurakenteinen ulkoseinä Pohjois-Suomessa). Erikoistapauksissa on myös voitu sallia vaatimuksia korkeampia lämmönläpäisy-lukuja.

Vuoden 1960 Rakentajain kalenterissa oli annettu lämmönläpäisy-luvut (k-arvo) erikseen eri materiaaleista rakennetuille seinille. Lukuja tarkasteltaessa ei voi välttyä ajatukselta, että Rakentajain kalenteriin on pikemminkin kirjattu yleisesti käytössä olleiden rakenteiden toteutuneet lämmönläpäisy-luvut, sillä annetut arvot ovat kovasti toisistaan poikkeavia.

Vuodesta 1976 lähtien rakennusten lämmöneristysmääräykset on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C3, missä on annettu eri rakennusosien lämmönläpäisy-kertoimien vertailuarvot (Taulukko 8). Taulukkoon ei ole sisällytetty hirsirakennusten vaatimuksia, joille on tänäkin päivänä säädetty poikkeus (0,60) lämmönläpäisy-kertoimeen.

Ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisylle ei ole annettu merkittäviä määräyksiä tai ohjeita ennen vuoden 1976 Rakentamismääräyskokoelman julkaisua. Kuten Taulukosta 8 voidaan todeta, ikkunoiden U-arvot ovat monikertaisia verrattuna ulkoseinien U-arvoihin. Asuinkerrostaloissa sekä toimistorakennuksissa, joissa ikkunapinta-alaa on julkisivujen kokonaispinta-alasta paljon, ikkunoiden kautta tapahtuva lämpöhäviö on merkittävä.

Lämmönläpäisy-kertoimen tulee määräysten mukaan täytyä myös uudelleenkäytössä. Lisäeristäminen voisi tulla tarpeeseen esimerkiksi hirsii tai kokonaisia seinäelementtejä käytettäessä. Sen sijaan uudelleenkäytettävien ikkunoiden ja ovien U-arvojen parantaminen on vaikeaa. Määräyksiin tosin sisältyy kompensatioperiaate, joka mahdollistaa huonosti eristävien rakenteiden aiheuttamien lämpöhäviöiden kompensoimisen toisaalla, muilla ratkaisulla.

Taulukko 8 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen arvoja rakentamismääräysten mukaan.
*) Rakennustieto 1947, muutettu yksikköön W/Km² kertoimella 1,163.

	1947*	1962	1969	1976	1978	1985	2003	2007	2010, 2012
Ulkoseinä	0,47/0,58	0,70	0,70	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja	0,47	0,41	0,41	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,35/0,47	0,47/0,41	0,47/0,35	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna	-	-	3,14–2,44	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovi	-	-	3,14–2,44	-	-	-	1,4	1,4	1,0

7.3 Veden- ja kosteudeneristys

Olellinen vaatimus rakennuksille ja rakenteille on, että niiden käyttäjille ei aiheudu kosteudesta johtuvia hygienia- tai terveysriskejä. Tämän vaatimuksen täytyminen varmistetaan toteuttamalla yleisesti hyväksytyjä kosteusteknisesti toimivia rakenteita. Rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen liittyvä rakentamismääräyskokoelman osa C2 on julkaistu vuonna 1976 ja päivitetty vuosina 1998 sekä tänä vuonna 2017, jolloin määräykset muuttuivat Ympäristöministeriön asetukseksi.

Erityisesti märkätilojen rakenteille sekä ulkovaipparakenteille asetetut vaatimukset ovat tarkentuneet, jolloin vanhojen uudelleenkäytettävien rakennusosien, kuten seinäelementtien, rakenneratkaisujen yksityiskohtien soveltuvuus on tarkastettava. Nämä yksityiskohdat voivat liittyä esimerkiksi rakenteiden tuulettavuuteen tai korkoon maan pinnasta, tai pellitysten nostoon tai kaatoon. Ennen kaikkea puutteelliset kosteudenhallinnan käytännöt voivat kuitenkin rajoittaa vanhoista rakennuksista saatavissa olevien puuosien määrää.

7.4 Ääneneristys

Rakenteiden ääneneristävyyden ja taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on yleisesti oltava sellaisia, että rakennuksessa oleskelevien uni ja lepo eivät häiriinny ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta on ääniolosuhteiden puolesta mahdollista. Rakennuksen ääniolosuhteet on määritettävä äänitason ja kaiuntaisuuden avulla sekä piha- ja oleskelualueilla äänitasojen avulla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 on annettu vaatimuksia ilmaääneneristävyydestä asuinhuoneistojen, asuinhuoneistojen ja uloskäytävien, asuinhuoneiston ja teknisen tilan sekä asuinhuoneen ja toimistotilan välillä. Lisäksi on annettu vaatimuksia askeläänieristykselle, jälkikaiunta-ajalle sekä melutasolle.

Taulukko 9 esittää rakentamismääräyskokoelman osan C1 antamia vaatimuksia talorakenteiden ääneneristävyydelle sekä äänitasoille. Asuintilojen akustiset vaatimukset ovat tulleet käyttöön 1976, eivätkä ne ole merkittävästi muuttuneet ajan saatossa. Tosin vuodesta 1985 lähtien määräyksissä on hyvin tarkasti eritelty eri tyyppisten rakennusten vaatimuksia.

Akustiset vaatimukset heijastuvat lähinnä rakenteiden paksuuteen sekä rakenneratkaisuihin (esimerkiksi eri huoneistojen välisten seinien kaksoiseinäratkaisuihin). Niiden toteutumista ja ääneneristävyyden parantamista saattaa joutua tarkastelemaan esimerkiksi kokonaisia seinä- tai välipohjaelementtejä uudelleenkäytettäessä.

Taulukko 9. Ääneneristävyyden vaatimuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1.

	C1 1976		C1 1985		C1 1998
	ilmääneneristysindeksi		ilmääneneristysindeksi		ilmääneneristysluku
asuinhuoneistojen välillä	vaakasuunta	52 dB	vaakasuunta	52 dB	55 dB
	pystysuunta	53 dB	pystysuunta	53 dB	
asuinhuoneiston ja uloskäytävän välillä		39 dB		39 dB	39 dB
toimistohuoneistojen välillä		44 dB			
	askeläänitasoindeksi		askeläänitasoindeksi		askeläänitasoluku
välipohja asuntojen välillä		63 dB		49 dB	53 dB
asuinhuoneiston ja työhuoneiston välillä		54 dB		58 dB	53 dB
Jälkikaiunta-aika porrashuoneessa		1,5 s (> 500 Hz)		1,3 s (>500 Hz)	1,3 s (>500 Hz)
Teknisten laitteiden melutaso asuinhuoneessa		30 dB		30 dB	max. 33 dB (myös muita ohjeita)
Melutaso rakennuksen ulkopuolella		45 dB			45 dB

7.5 Rakenteen ilmatiiveys

Rakenteiden ilmatiiveydelle on asetettu vaatimuksia osana virallisia määräyksiä vasta nykyrakentamisen kautena mm. rakennuksen ilmatiiveyslukuna. Rakennuksen ilmatiiveyteen vaikutetaan rakenteen höyrynsulku- ja tuulensuojakerroksilla ja niiden liitoksilla.

Ilmatiiveyskysymys voi tulla vastaan esimerkiksi kokonaisia seinäelementtejä uudelleenkäytettäessä, jolloin höyrynsulkukerros voi olla tarpeen uudistaa.

7.6 Palonkestävyys

Rakentamismääräyskokoelma esittää palonkestävyyden vaatimuksia sekä kantaville rakenteille että rakenteiden pinnoille, mutta myös koko rakennuksen suunnittelua käsittäviä vaatimuksia, kuten palo-osastoinnin, rakennuksen tyyppin mukaan. Rakennusten paloluokitus on muuttunut vuonna 1997 julkaistuun määräyskokoelmaan. Ennen tätä rakennukset on jaettu palonkestäviin, paloapidettäviin ja paloahidastaviin rakennuksiin, ja vuodesta 1997 lähtien paloluokkiin P1, P2 ja P3. Puusta voidaan rakentaa luokkien P2 ja P3 rakennuksia. Yleensä puurakennukset ovat P3-luokan rakennuksia. P2-luokan rakennuksia ovat esimerkiksi puukerrostalot.

Kantavien vaaka- ja pystyrakenteiden rakenteelliset palonkestävyysvaatimukset ovat tiukentuneet määräysten uudistuessa (1976, 1981, 1997, 2002). Palomääräyksiä tarkistetaan jälleen vuoden 2018 alussa. Rakennusosia uudelleenkäytettäessä rakenteita koskevien palomääräysten täyttymiseen on kiinnitettävä erityisesti huomiota paloluokan P2 rakennuksissa, sen sijaan alimman paloluokan P3 rakennuksien suunnittelussa uudelleenkäyttö ei aiheuta erityisiä toimenpiteitä.

7.7 Tuotehyväksyntä

Uusimman rakennustuoteasetuksen mukaan, vuodesta 2013 lähtien kaikkien rakennustuotteiden, joille on olemassa luokittelun mahdollistava harmonisoitu tuotestandardi, tulee olla CE-merkittyjä. Tämän merkinnän lisäksi tuotevalmistajalta edellytetään suoritustasoilmoitusta (Declaration of Performance, DoP). CE-merkinnän vaatimukset koskevat ainakin seuraavia puutuotteita (Puuinfo 2016):

- puulevyt
- naulalevyrakenteet
- rakenteellinen viilupuu
- puulattiat
- liimapuu
- lujuuslajiteltu puutavara
- sormijatkettu rakennesahatavara
- puupaneelit ja –verhoukset
- puurakenteiden liittimet
- vaarnakiinnittimet
- puiset sähköpylväät
- ikkunat ja ovet
- puiset seinä-, lattia- ja kattoelementit
- CLT

Uudelleenkäytettäessä nykyisen CE-merkinnän piiriin kuuluvia rakennustuotteita tulee määräys ottaa huomioon ja tarvittaessa hankkia tuotteelle CE-merkintä. Joissain tapauksissa, kuten liimapuupalkkien osalta, CE-merkintä on voitu myöntää ominaisuuksiltaan täysin vastaavalle tuotteelle vuoden 2013 jälkeen, vaikka rakennustuotetta ei olisi rakentamisaikana CE-merkitty. Toisaalta on myös tulkittu, että CE-merkintää ei tarvittaisi ollenkaan, jos rakennustuote on saatettu markkinoille ennen vuotta 2013. Valvovana viranomaisena tulkinnasta vastaavat viime kädessä paikalliset rakennusvalvonnat.

7.8 Haitalliset aineet

Kuva 30 esittää haitta-aineiden markkinoillaoloaikoja, mikä kuvaa myös sääntelyn kehittymistä asiassa. Kuvaan on valittu erityisesti puutarvikkeissa esiintyviä haitta-aineita. Kuvaan ei sisälly asbestia, koska sitä yleensä ei esiinny puussa kuin korkeintaan muista materiaaleista tapahtuneen kontaminaation kautta, jos asbestipurkua ei ole suoritettu asianmukaisesti. Asbestin käyttö kiellettiin 1990-luvun alussa.

	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
	PAH-yhdisteet														
Puunkyllästeet															
	PCB-yhdisteet														
Eristyslasit															
	Metallit														
Maalit															
Puunkyllästeet															
	Kloorifenolit														
Puunkyllästeet															

Kuva 30 Puutarvikkeissa esiintyviä haitta-aineita (Rakennustieto 2016: 25, muokattu).

8 PÄÄTELMÄT JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

8.1 Rakenneosien uudelleenkäyttöpotentiaali

Puu on lähtökohtaisesti monipuolinen materiaali: sillä on rakentamisessa sekä massiivisia että rankamaisia sovelluksia, ja se on helposti työstettävää, jopa käsityökaluin. Tämä monipuolisuus ja työstettävyys lisäävät myös puun uudelleenkäyttömahdollisuuksia, sillä uudelleenkäytön ei tarvitse rajoittua alkuperäisiin käyttötarkoituksiin ja –tapoihin.

Suurin osa (60%) puretuista puurakennuksista on pientaloja, jotka ovat rakenteidensa osalta verrattain heterogeenisiä. Pientalojen rakentamistapojen päätyypit ovat hirsirakenteet ja rankarakenteet. Kun ennen 1940-lukua rakennetut puretut puupientalot oletetaan hirsirakenteisiksi, on hirsirakenteiden osuus reilu 40% ja rankarakenteiden osuus vajaa 60% purettujen pientalojen rakenteista. Rankarakenteisista puretuista pientaloista valtaosa on peräisin jälleenrakennuskaudelta eli 1940- ja 1950-luvuilta.

Hirsirakennukset ovat teknisesti yksinkertaisesti uudelleenkäytettävissä ja niiden uudelleenkäyttömahdollisuudet ovat monipuolisia. Hirsikehikot ovat siirrettävissä, niitä voidaan helposti laajentaa ja korjata, ja irrallisista hirsistä voidaan myös koostaa alkuperäisestä poikkeavia runkoja. Hirsistä voidaan myös sahata pienempää puutavaraa. Vaarnatappien reiät seinähirsien keskellä rajoittavat jonkin verran sahattavissa olevan puutavaran poikkileikkauksen enimmäisleveyttä, mutta vaakarakenteiden vuoliaisissa niitäkään ei esiinny. Hirsirakenteiden uudelleenkäytön suurimpien haasteiden voidaankin ajatella liittyvän ammattitaitoisen työvoiman saatavuuteen. Hirsirakenteiden osalta nykyisten energiamääräysten täyttäminen edellyttää yleensä lisäeristämistä tai seinän lämpöhäviöiden kompensoimista muissa teknisissä järjestelmissä.

Rankarakenteet ovat uudelleenkäytön kannalta ongelmallisempia. Niitä esiintyy paitsi pientaloissa, myös 1900-luvun puolivälin molemmin puolin pienehköissä liikerakennuksissa ja julkisissa rakennuksissa. Rankarakenteissa käytetyt rakenneratkaisut (mm. kantavien seinien sijainti, aukotukset, välipohjan kehäpalkin sijainti), materiaalit (mm. poikkileikkaukset, lujuus- ja kimmo-ominaisuudet erityisesti lujuuslajittelemattomassa sahatavarassa) ja liitosten yksityiskohdat vaihtelevat suuresti, mikä vaikeuttaa rakenteiden uudelleenkäytön suunnittelua, koska on vaikea selvittää tarkalleen, minkälaiseen käyttöön soveltuvaa puutavaraa niistä voitaisiin saada. Rakenteiden voidaan olettaa yhtenäistyneen teollisen talonvalmistuksen myötä 1980-luvulla ja sen jälkeen, mm. avoimen rakennejärjestelmän sekä rakennusmateriaalien sääntelyn tarkentumisen myötä. Purettujen rankarakennusten valtaosa periytyy kuitenkin vielä tällä hetkellä tätä edeltävältä ajalta, jälleenrakennuskaudelta.

Suurimmat vaikeudet jälleenrakennuskauden rankarakenteisista pientaloista peräisin olevien runkorakenteiden hyödyntämiseen liittyvät niiden naulaisuuteen. Suuren naulamäärän vuoksi jo rungon näkyviin saaminen on työlästä, ja voikin olla varsin vaikeaa säilyttää ehjänä sekä runko että sitä ympäröivät laudoitukset. Naulojen poisto on työvoimaintensiivistä, ja sen onnistuessa saatu puutavara on reikäistä. Reikien määrä on niin suuri, että sillä saattaa olla vaikutusta puutavaran lujuusominaisuuksiin. Puutavarassa saattaa lisäksi esiintyä välipohjan liitokseen liittyviä koloja. Kun säästävää purkumenetelmä on käsityövaltainen ja työläs, on taloudellinen yhtälö rankarunkoisten rakennusten kohdalla haastava. Vastaava neitseellinen pienipoikkileikkauksellinen puutavara on edullista, ja puutavaran osuus pientalon kokonaiskustannuksista pienehkö, ehkä noin 15–20 % hankkeesta. Tällaisissa rakennuksissa käsinpurku on järkevää kohdistaa ensi sijassa arvokkaimpiin kohteisiin, joita ovat täydentävät rakennusosat, kuten erilaiset listoitukset ja paneloinnit, lattialaudat sekä ikkunat ja ovet karmeineen.

1900-luvun loppupuolen rankarakenteet voivat olla helpommin purettavia pienemmän naulamäärän, levytysten kiinnittämisessä käytettyjen pienempien naulojen ja erilaisten elementointiratkaisujen (pien-, suur- ja tilaelementit, naulalevyristikot) vuoksi. Erityisesti naulalevyristikot ovat uudelleenkäytettävissä ja irrotettavissa purettavasta rakennuksesta verrattain helposti. Näiden rakenteiden osalta on otettava huomioon, että ristikko on vahvasti optimoitu kyseistä kuormitustapausta ajatellen. Kuormituksen tulee siis vastata alkuperiästä (tai olla lievempi) myös uudessa käytössä. Uudelleenkäytettäessä naulalevyristikoita tukipisteiden on oltava likimain samalla etäisyydellä toisistaan kuin alkuperäisessä rakenteessa erityisesti, kun uudelleenkäytetään epäjatkuvalle alapaarteella olevia ristikoita (ullakollinen ristikko, ristikon lappeet eri dimensioilla). Näiden rakenteiden osuus purettujen pientalojen kokonaisvolyymistä on ainakin vielä tällä hetkellä erittäin pieni, mutta sen voidaan olettaa lisääntyvän tulevaisuudessa.

Vanhempien pientalojen ohella toinen merkittävä rakennusryhmä purettujen puurakennusten joukossa ovat suuret puiset hallirakennukset (teollisuus-, varasto- ja maatalousrakennukset sekä uudemmat liikerakennukset), jollaisia on rakennettu 1960-luvulta lähtien. Niiden rakennejärjestelmänä on joko pilari-palkkirakenne tai kolminivelkehä, ja itse rakennusosat ovat liimapuuta. Liitokset ovat tyypillisesti helposti aukaistavia ja usein myös sellaisenaan uudelleenkäytettäviä. Liimapuurakenteissa uudelleenkäytön kannalta haastavimpia ovat pilarien perustusliitosten purku ja uudelleen kiinnitys, mikä voi käytetyistä kiinnitysratkaisuista johtuen osoittautua hankalaksi. Liimapuurakenteiden liiman säänkestävyys tulee varmistaa rakenteen uudelleenkäyttöä suunniteltaessa, jos rakenteen sääräsit muuttuu.

Taulukko 10 Arvio erityyppisten puurakenteiden uudelleenkäyttöpotentiaalista. () riippuu rakentamisajankohdasta ja liittyvistä materiaaleista; * haitta-aineita mahd. liittyvissä materiaaleissa.

Rakenne	Soveltuvuus uudelleenkäyttöön	Vauriot, terveyshaitat ja haitta-aineet	Purettavuus, nostettavuus, uudelleenkäytettävyyys	Materiaalin ja osien koko ja/tai laatu	Arvo uudelleenkäyttynä
Hirsirakenteet	+++	+ / +++ *	+++	+++	+++
Rankarakenteet	-	(-)...(0) *	- / 0	- / 0	0
Pien- ja suurelementit, rankarak. tilaelementit, elementiksi muokatut rankarakenteet	0 / +	(-) / (0) *	+	+ / ++	+
Puiset vesikattorakenteet	+	(-) / 0 *	0 / +	+ / ++	+
Naulalevyristikkorakenteet	++	(-) / 0 *	++	++	++
Massiivipuulevyrakenteet	+	+	++	++	++
Kehä- ja ristikkorakenteet	++	(-) – (++)	+++	+++	++
Liimapuupalkit ja –pilarit	+++	(-) – (++)	+++	+++	+++
Välipohjapalkit, sahatavara	0	(-) – (+) *	0	+	0 / +
Välipohjapalkit, viilupu	++	+	+	++	+++

Taulukko 10 vetää yhteen raportin tekijöiden käsityksen eri puurakenteiden uudelleenkäytettävyydestä rakentamisessa eri näkökulmat huomioiden. Huomattavaa on kuitenkin, että puretuille puisille rakennusosille on löydettävissä hyvin eri tasoisia uudelleenkäyttökohteita. Osa näistä voi löytyä rakentamisesta muista kuin rakenteellisista tarkoituksista, ja osa myös rakentamisen ulkopuolelta. Luontevia käyttökohteita voivat olla rakennusten ja rakennelmien (pihavajat, roskakatokset ja muut pienemmät piharakenteet) lisäksi myös esimerkiksi huonekalut, puiset pienesineet, kuormalavat, erilaiset (esim. tapahtumiin liittyvät) tilapäisrakenteet jne. Näistä monet pienemmät (piha)rakennelmat ja esineet sopivat hyvin tuotteistettaviksi. Lyhyttä purettua puutavaraa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös tehdasvalmisteisten elementtien (pien- ja suurelementit, CLT) valmistuksessa.

8.2 Rakenteiden ominaisuuksien ja vaurioitumisen vaikutus uudelleenkäyttöön

Vallitsevan käsityksen mukaisesti vanheneminen ei itsessään muuta puumateriaalin ominaisuuksia. Uudelleenkäytettävien puurakenteiden aineksen laatu on näin ollen pääosin määräytynyt jo puun kasvaessa. Vanhimpien puurakennusten puuaines on yleensä huomattavasti laadukkaampaa ja tarkemmin valikoitua kuin 1900-luvun loppupuolen puumateriaalit, mikä voi lisätä niiden haluttavuutta. Myös vanhan puun patinoitunutta ulkonäköä voidaan pitää tavoiteltavana ominaisuutena.

Rakenteiden taipumat ovat kuitenkin tyyppisiä vaakarakenteissa (palkistoissa), erityisesti mitä pienipoikkileikkauksisemmasta puutavarasta on kysymys. Ne voivat rajoittaa sitä, millaiseen uuteen käyttötarkoitukseen purettu osa voidaan asettaa.

Puisten rakennusten haitta-aineet eivät yleensä sijaitse puussa itsessään. Rakennuspuussa esiintyviä haitta-aineita ovat lähinnä kyllästeet, kuten kreosootti ja pentakloorifenoli. Molemmilla on voimakas tunnusomainen haju, jonka perusteella ne ovat helposti tunnistettavissa.

Rintamamiestaloissa rungon puutavara on usein ollut kosteusrasitukseltaan haastavissa olosuhteissa. Tämä seikka saattaa vähentää niistä saatavissa olevan puutavaran määrää. Puurakenteiden vauriot, kuten laho- ja hyönteisvauriot, ovat kuitenkin helposti tunnistettavissa visuaalisesti. Lahovaurioitunutta puutavaraa ei tule käyttää kantavissa rakenteissa, sillä laho heikentää puun kantavuutta. Koska vauriot ovat tyyppisesti paikallisia, voi myös vaurioituneista rakennuksista löytyä uudelleenkäyttökelpoisia osia. Mikrobivaurioituneiden rakennusten osien uudelleenkäyttö tulisi sen sijaan rajoittaa toissijaisiin rakenteisiin, esim. ulkorakennelmiin, joissa niistä ei aiheudu sisäilmariskiä.

Rankarakenteista helpommin irrotettavat osat eli pien- ja suurelementit sekä rankarunkoiset tilaelementit sisältävät eristeitä. Eristeiden kontaminoituminen voi niin ikään aiheuttaa uudelleenkäytössä sisäilmariskin, joka on huomioitava esimerkiksi näytteenoton tai uudelleenkäyttökohteiden rajaamisen kautta.

8.3 Normien muutokset

Uudelta rakennukselta edellytetään, että se vastaa nykyisten rakentamismääräysten vaatimuksia mm. kantavuudelta, terveellisyydeltä ja energiatehokkuudelta. Vanhoja rakenteita uudelleenkäytettäessä niiden vastaavuus nykymääräyksiin on varmistettava tapauskohtaisesti. Toisaalta, tulisi sopia yhtenäinen käytäntö siitä, miten uudelleen

käytettäviä rakennusosia kohdellaan määräysten valossa, ja tulisiko niille mahdollistaa poikkeamia mm. tuotehyväksyntöjä koskien.

Puurakenteiden uudelleenkäyttö on usein yksittäisten rakenteen osien (kuten palkkien) uudelleenkäyttöä. Useimmat rakentamismääräykset (kosteudenhallinta, ääneneristävyys, lämmöneristävyys, ilmatiiveys) voidaan tällöin ottaa huomioon uuden rakenteen kokonaisuutta suunniteltaessa, eivätkä uudelleenkäytettävän osan ominaisuudet yleensä muodostu rajoittavaksi tekijäksi. Yksittäisten rakenneosien kannalta merkittävin määräysten muutos onkin, että rakenteet suunnitellaan nykyisin tyyppillisesti suuremmille kuormituksille kuin aikaisemmin ja niille sallitaan vähemmän taipumia. Tästä syystä aikaisemmin tietyssä käyttötarkoituksessa toiminut rakennusosa voi vaatia rakenteeseen muutoksia, kuten jännevälin tai pituuden lyhentämistä tai k-mitan tihentämistä, jotta rakennusosa voidaan käyttää uudelleen samaan käyttötarkoitukseen. Samasta syystä tarkasti optimoitujen rakenteiden, mm. naulalevyristikoiden, uudelleenkäyttö voi edellyttää erityistarkasteluja.

Toisaalta osa rakennusosista toimii rakennuksen ulkovaipan osana eli lämpöä eristävänä rakenteena. Tällaisia ovat esimerkiksi hirsikehikot tai –seinät (jossa hirret itsessään toimivat eristeenä), rankarakenteiset seinäelementit sekä ikkunat ja ovet. Näiden uudelleenkäytön mahdollisuuksiin vaikuttavat myös energiatehokkuusvaatimusten muutokset. Vanhan uudelleenkäytettävän seinän tai ikkunan lämpöhäviö muodostuu väistämättä nykyistä vertailuarvoa suuremmaksi, jolloin määräysten valossa edellytetään lisäeristämistä tai lämpöhäviön kompensoimista muilla järjestelmillä, kuten talotekniikan energiatehokkuudella. Lisäeristämisen tekniikat ovat vastaavia kuin olemassa olevien korjausrakentamisessa. Rakenteen saaminen riittävän ilmatiiviiksi voi edellyttää mm. höyrynsulkuna toimivan kerroksen rakentamista kauttaaltaan uudestaan.

Jotta rakenteiden uudelleenkäyttö olisi mahdollista, tulee rakentamisen tuotehyväksynnän käytäntöjä tarkistaa uudelleenkäytettävien rakennusosien näkökulmasta. Tulisiko mm. selvittää missä tapauksissa aikaisemmin lujuslajittelematonta puutavaraa voidaan uudelleenkäyttää, ja voidaanko uudelleenkäytettävä rakennusosa hyväksyä käyttöön ilman CE-merkintää.

8.4 Toimenpidesuositukset ja lisätutkimustarpeet

Tämän esiselvityksen tarkoitus on ollut tarkastella ja tunnistaa puisten runkorakenteiden ja rakennusosien uudelleenkäytön mahdollisuuksia. Lähes kaikista puurakentamisen tavoista on saatavissa jonkinlaisia uudelleenkäytökelpoisia osia. Osa rakennejärjestelmistä näyttäisi soveltuvan uudelleenkäyttöön hyvin (esim. hirsirakenteet, pilari-palkkirakenteet), mutta selvityksen yhteydessä havaittiin myös rakenteita, joiden uudelleenkäyttö sellaisenaan on vaikeaa (esim. rankarakenteet). Lähes kaikkien puurakennejärjestelmien uudelleenkäytön suunnitteluun liittyy kuitenkin jatkotutkimustarpeita, joiden selvittäminen on edellytys uudelleenkäytön toteutukselle käytännössä.

Lainsäädäntöön, tuotehyväksyntään ja rakentamismääräyksiin liittyvät kysymykset

Rakentamisen tuotteisiin liittyvä sääntely ja rakentamisen määräykset ovat muuttuneet ja tarkentuneet jatkuvan prosessin kautta. Nykyisin voimassa olevat määräykset eivät yleensä ole olleet voimassa uudelleenkäytettävän osan valmistushetkellä. Määräykset eivät nykyisellään myöskään tunnista uudelleenkäytettävien rakennusosien olemassaoloa ja niiden mahdollisia erityispiirteitä. Sääntelyä tulisi selkeyttää ja yhtenäistää uudelleenkäytettävien rakennusosien osalta, jotta luodaan edellytykset mm. kestäväälle liiketoiminnalle. Kehitystyön pohjana voidaan käyttää mm. tässä raportissa esitettyjä havaintoja. Erityisesti lujusluokittelun ja CE-merkinnän puuttuminen muodostaa esteen puurakenteiden uudelleenkäytölle rakenteellisissa tarkoituksissa. CE-merkinnän suhteen olisi toivottavaa saada ympäristöministeriöltä yhtenäinen valtakunnallinen tulkinta.

Lajittelu ja luokittelu

Jos puutavaraa puretaan ja kerätään uudelleenkäyttöä ja myyntiä varten, sen tulee olla poikkileikkauksen ja pituuden suhteen riittävän lajiteltua. Puretun puutavaran vaihtelevasta luonteesta johtuen kehitettävän lajittelun olisi luontevaa perustua tarkkojen mittojen sijaan tiettyihin vaihteluväleihin, jotka määritellään mahdollisten uudelleenkäyttökohteiden perusteella. Pienipoikkileikkauksisille ja lyhyillekin puutavaran pätkille voi löytyä käyttökohteita esimerkiksi käsiteollisuudesta, jos materiaalia on saatavilla riittävästi, säännöllisesti ja se on riittävän johdonmukaisesti lajiteltua. Erilaisia työllistämisen- ja kuntotutustehtäviä hoitavat kolmannen sektorin toimijat voisivat toimia sekä uudelleenkäytettävän puutavaran lajittelussa että lajitellun materiaalin hyödyntämisessä.

Lisäksi olisi edistettävä puretun puutavaran laatu- ja lujuusluokitteluja, ja niille olisi luotava omat kriteeristöt. Neitseellisen puutavaran laatuluokittelu perustuu lähinnä oksaisuuteen sekä materiaalin vikojen olemassaoloon, ja korkeimpien laatuluokkien vaatimukset ovat lähinnä visuaalisia. Tämä laatuluokittelu soveltuu osin huonosti uudelleenkäytettävälle puutavaralle, mm. siksi, että puutavara on usein pintakäsiteltyä, ja siinä esiintyy vikoja, kuten naulan- ja hyönteisten reikiä sekä porautuneita nauloja, jollaisia uudessa puutavarassa ei esiinny. Uudelleenkäytettävän puutavaran laatuluokittelu voisikin perustua lähinnä pintakäsittelyihin ja uudelleenkäytölle tyypillisiin vikoihin. Sahoilla käytetään sahatavaran lajitteluun röntgeniä, jonka käyttämisestä myös uudelleenkäytettävään puuhun porautuneiden metalliosien määrittämisessä voitaisiin selvittää. Tämä on erityisesti tarpeen työvälaineiden rikkoutumisen ehkäisemiseksi, jos puutavarasta halutaan valmistaa työstämistä edellyttäviä tuotteita.

Ilman lujuusluokittelua purettua puutavaraa ei nykyisellään ole mahdollista käyttää kantavissa tarkoituksissa. Neitseellisen sahatavaran lujuuslajitteluun on kehitetty toimintaperiaatteiltaan erilaisia koneita, joista osa perustuu esimerkiksi puukappaleen taivuttamiseen ja osa kappaleen kopauttaessa tuottaman äänen korkeuden mittaukseen. Näiden teknologioiden soveltuvuus puretun puutavaran lujuuslajitteluun tulee selvittää. Sellainen puun kantavuuteen vaikuttava vikaisuus, joka neitseellisellä puutavaralla tulisi esiin laatuluokittelussa, tulisi tällöin uudelleenkäytettävässä puutavarassa esille viimeistään lujuuslajittelussa. Lujuusluokittelu voidaan suorittaa myös visuaalisesti. Kun puretun puutavaran ominaisuudet opitaan tutkimuksen kautta tuntemaan paremmin, voisi visuaalisen luokittelun kriteeristönkin luominen mahdollistua.

Puun vanhenemisilmiöiden tutkimus

Puun ominaisuuksien muuttumiseen sen vanhetessa liittyy oletettavia. Vanhenemisilmiöitä on tutkittu lähinnä ulkomailla, eivätkä tutkimusten tulokset välttämättä ole yleistettävissä Suomeen mm. erilaisista puulajeista johtuen. Uudelleenkäytettävien kotimaisten puurakenteiden materiaaliominaisuuksia voitaisiin selvittää ja tilastoida esim. purkurakennuksista tehtävän materiaalinäytteenoton avulla. Toinen lähestymistapa olisi edellyttää joissakin tapauksissa materiaalikokeita rakenteiden uudelleenkäyttöhankeiden yhteydessä.

Puhdistaminen ja suojaetäisyydet mikrobivaurioihin

Puun laho- ja homevauriot on helppo tunnistaa visuaalisesti, mutta tutkittua tietoa ei ole riittävästi turvallisista katkaisu- tai puhdistusetäisyyksistä tai puhdistuksen perusteellisuudesta. Nämä tiedot olisivat hyödyllisiä paitsi uudelleenkäytön kannalta, myös kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaussuunnittelun ja korjaamisen näkökulmista.

Purkumenetelmien kehittäminen

Koneellinen purkaminenkin voi tuottaa tietyissä poikkileikkauksissa lähes lyhentymätöntä puutavaraa. Koneellinen purkutekniikka saattaisi olla edelleen kehitettävissä puisia rakennusosia enemmän säästävään suuntaan. Erilaisten kokeiluhankkeiden avulla

koneellisen ja käsin purkamisen kesken olisi kenties löydettävissä balanssi kustannusten sekä saatavan puutavaran laadun suhteen.

Uudelleenkäytettävien osien tuotteistaminen ja liiketoimintamallin kehittäminen

Monen tyyppisten puurakenteiden uudelleenkäyttö on teknisesti mahdollista, ja uudelleenkäytöllä voidaan osoittaa olevan ympäristöhyötyjä. Jotta uudelleenkäyttö rakennusmateriaalista riippumatta saataisiin yleistymään tehokkaasti, tulisi käynnistää kaupallistamishankkeita, joiden avulla rakenteiden uudelleenkäyttöön liittyviä liiketoimintamalleja voidaan kehittää ja testata. Soveltava tutkimus olisi mahdollista mm. Tekesin Tutkimuksesta liiketoimintaa -rahoituksen avulla. Myös rakennusosien uudelleenkäytön parissa jo toimivien yritysten kokemuksista kannattaisi hyödyntää, sillä olemassa olevista yrityksistä kenties juuri niiden olisi luontevinta laajentaa toimintaansa uudelleenkäytettävän puun laajemman tuotteistuksen suuntaan.

Uudisrakentamisen liitostekniikan kehittäminen

Puutavaran uudelleenkäyttöä edistäisi tulevaisuudessa myös helpommin purettavien liitosten käyttöönotto uudisrakentamisessa. Tällaisia liitoksia tulisi kehittää erityisesti rankarakenteille ja massiivipuulevyille. Rankarakenteisiin perustuvissa elementtijärjestelmissä (pien-, suur- ja tilaelementtirakenteet) erityisesti elementtien välisiä liitoksia tulisi kehittää uudelleenkäytön mahdollistaviksi.

Lähteet

- Annala, P. J., Hellemaa, M., Pakkala, T. A., Lahdensivu, J., Suonketo, J. & Pentti, M. (2017a). Extent of moisture and mould damage in structures of public buildings. *Case Studies in Construction Materials* 6, 103–108. doi: 10.1016/j.cscm.2017.01.003
- Annala, P., Lahdensivu, J., Suonketo, J., Pentti, M., Laukkarinen, A. & Vinha, J. (2017b). Eri ikäisten kuntarakennusten korjaustarpeet. Julkaisussa Säteri, J. & Ahola, M. (Toim). *Sisäilmastoseminaari 2017* (Sisäilmayhdistys Raportti 35). s. 39–44.
- Envall, M. (2017). *Inomhusluftsproblem orsakade av kloranisoler: Litteraturstudier och laboratorietester för saneringslösningar*. Vaasa: Yrkehögskolan Novia. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201704285785>
- Eurokoodi* (2007). *SFS-EN 1991-1-3. Kansallinen liite standardiin Rakenteiden kuormat. Osa 1–3: Yleiset kuormat. Lumikuormat*. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Heikinheimo, O. (Toim.). (1964). *Mekaaninen puuteollisuus II*. Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys.
- Helamaa, E. (2004). *Vanhan rakentajan sanakirja* (Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran toimituksia 988). Helsinki: Suomalaisen Kirjallisuuden Seura.
- Huuhka, S. (painossa). Tectonic use of reclaimed timber: Design principles for turning scrap into architecture. *Architectural Research in Finland*.
- Huuhka, S. & Lahdensivu, J. (2016). Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building Research & Information*, 44, 73–96. doi: 10.1080/09613218.2014.980101
- Huuhka, S. (2016a). Demolished buildings: Empirical evidence on types, ages and construction materials. Julkaisussa Hajek P., Tywoniak J., Lupisek A., Sojkova K. (Toim.). *CESB16 – Central Europe towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future, June 22–24, 2016, Prague*. Prague: Czech Technical University in Prague. s.1105–1112.
- Huuhka, S. (2016b). Demolition rates of buildings with different functions and construction materials. Julkaisussa Zelezná J., Hajek P., Tywoniak J., Lupisek A., Sojkova K. (Toim.). *YRSB16 – iiSBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future June 21, 2016, Prague*. Prague: Czech Technical University in Prague. 2016. s. 301–307.
- Hyvärinen, A., Marttila, T., Kero, P., Pekkanen, J., Ung-Lanki, S., Lampi, J., Leppänen, H., Jalkanen, K., Turunen, M., Haverinen-Shaughnessy, U., Annala, P., Suonketo, J. & Niemi, J. (2017). *Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti* (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 44/2017). Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-411-5>
- Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kuhno, V., Saastamoinen, K., Salminen, K., Lähdesmäki, K. (2012). *Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita* (Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 160). Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2951-1>
- Laitinen, E. (Toim.). (1995). *Teollinen puurakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto.
- Levón, M. (Toim.). (1946). *Puurakennustaito* (Käsityön kirja). Helsinki: Suomen Kirja.

- MetsäWood. (2017). *Kolminivelkehät*. Saatavissa: <http://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/kerto-kayttokohteet/runkorakenteet/Pages/Kolminivelkehät.aspx>
- MetsäWood. (2015). *Kerto kantaviin rakenteisiin* (MetsäWood 11/2015). Saatavissa: <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MetsaWood-Kerto-kantaviin-rakenteisiin-suomi.pdf>
- Mikkola, J. & Böök, N. (2011). *Ikkunakirja. Perinteisen puuikkunan kunnostaminen*. Vantaa: Moreeni.
- Museovirasto. (2000a). *Ovien korjaus* (Museoviraston korjauskortisto 9). Helsinki: Museovirasto. Saatavissa: <http://www.nba.fi/fi/tietopalvelut/julkaisut/korjauskortit>
- Museovirasto. (2000b). *Ulkolaudoituksen korjaus* (Museoviraston korjauskortisto 3). Helsinki: Museovirasto. Saatavissa: <http://www.nba.fi/fi/tietopalvelut/julkaisut/korjauskortit>
- Museovirasto. (2000c). *Hirsitalon rungon korjaus* (Museoviraston korjauskortisto 16). Helsinki: Museovirasto. Saatavissa: <http://www.nba.fi/fi/tietopalvelut/julkaisut/korjauskortit>
- Nakajima, S. & Murakami, T. (2008). Strength Properties of Two-by-Four Salvaged Lumbers. Julkaisussa *10th World Conference on Timber Engineering 2008 (Volume 1)*. Madison: Engineered Wood Products Association.
- Nakajima, S. & Nakagawa, T. (2010). Technologies and Environmental Benefits to Reuse Two-by-Four Salvaged Lumbers. Julkaisussa *11th World Conference on Timber Engineering 2010, WCTE 2010 (Volume 3)*. Sesto Fiorentino: Trees and Timber Institute, National Research Council.
- Orola, U. (1943). *Rakennusten korjaus ja kunnossapito*. Helsinki: Pellervo-seura.
- Pitkäranta, M. (Toim.). (2016). *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus* (Ympäristöopas 2016). Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4626-8>
- Puuinfo. (2014). *Liimapuukäsikirja* (Osa 1). Helsinki: Libris Oy.
- Puuinfo. (2016). *Puutuotteiden CE-merkintä*. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/tiedote/puutuotteiden-ce-merkint%C3%A4>
- Puuinfo. (2017). *Valmistuneet puukerrostalot*. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/articles/valmistuneet-puukerrostalot>
- Rakennustieto. (1990). *Puurakenteiden lahottajasisienet ja -bakteerit* (RT 08-10420). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (1993). *Puuristikot ja -kehät* (RT 85-10495). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (1996). *Puulattiat* (RT 84-10617). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (1999). *Puurakenteiden tuhohyönteiset ja niiden torjunta* (RT 08-10420). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2000). *Puuikkunat. Korjausrakentaminen*. (RT 41-10726). Helsinki: Rakennustieto.

- Rakennustieto. (2003). *Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle* (RT 07-10805). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2004). *Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle* (RT 07-10832). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2009). *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus* (RT 41-10947). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2014). *Hirsitalon suunnitteluperusteet* (RT 82-11168). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2016). *Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (RT 18-11245). Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto. (2017). *Puutavara, sahattu ja höylätty* (RT 21-11288). Helsinki: Rakennustieto.
- RakMK B1–3. (1976). Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B1-3, Rakennusten vähimmäiskuormat, kantavat rakenteet ja pohjarakennus, määräykset. Sisäasiainministeriö.
- RakMK B1. (1998). Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B1, Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, määräykset. Ympäristöministeriö, Asunto- ja Rakennusosasto.
- RakMK B10. (1978). Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B10, Puurakenteet. Sisäasiainministeriö.
- RakMK B10. (1983). Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B10, Puurakenteet. Sisäasiainministeriö.
- RakMK B10. (2001). Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa B10, Puurakenteet. Ympäristöministeriö, Asunto- ja Rakennusosasto.
- Sagot, G. (n.d.) *STEP-luento, Puun kestävydestä*. (suom. Söyriä P., VTT) [luentoaineisto]. STEP/Eurofortech initiative under the EU Comett Programme.
- Sakaguchi, D. (2014). *Potential for cascading wood from building*. Espoo: Aalto yliopisto. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201409172618>
- Siikanen, U. (2008). *Puurakentaminen* (6.p.). Helsinki: Rakennustieto.
- Stora Enso. (2012a). *A Shell Construction* (4/2012). Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Shell-construction-EN.pdf>
- Stora Enso. (2012b). *B Layer Structure* (4/2012). Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Layer-structure-EN.pdf>
- Suomen Arkkitehtiliitto. (1943a). *Lautaovi, kotitekoinen* (RT 871.93). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.
- Suomen Arkkitehtiliitto. (1943b). *Ovi, jälleenrakennus 43. Valintapiirustus 1:40*. (RT 871.91). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.

Suomen Arkkitehtiliitto. (1943c). *Ovi, vaneri-. Valintapiirustus 1:50*. (RT 871.2). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.

Suomen Arkkitehtiliitto. (1943d). *Ovi, ulko- (u). Valintapiirustus 1:50*. (RT 871.3). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.

Suomen Arkkitehtiliitto. (1943e). *Runko, hirsi* (RT 822.1). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.

Suomen Arkkitehtiliitto. (1947). *Lämmönläpäisyluku, korkein sallittu* (RT 086.1). Helsinki: Suomen Arkkitehtiliitto.

Särkinen, Å. W. (2005). *Jälleenrakennusajan pientalo*. Helsinki: Rakennustieto.

VnA 8/2003. (2003). *Valtioneuvoston asetus kreosootin ja sillä käsitellyn puun käytön ja markkinoille luovuttamisen rajoittamisesta*. Valtioneuvosto.

Vuolle-Apiala, R. (1999). *Hirsityöt*. Helsinki: Rakennusalan Kustantajat RAK / Kustantajat Sarmala & Opetushallitus.

Vuolle-Apiala, R. (2007). *Hirsitalo* [5.p.]. [Helsinki]: Multikustannus / Rakennusalan Kustantajat RAK.

Ympäristöministeriö. (2017). *Vanhojen rakennusmateriaalien tietopankki*. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/rakennusmateriaalit>

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FI-33101 Tampere, Finland