



Karelia-ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan koulutusohjelma, insinööri (AMK)

Liimapuurakenteiden kuntotutkimus

Keijo Pellikka

Heli Rautiainen

Opinnäytetyö, syyskuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2022
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät

Keijo Pellikka, Heli Rautiainen

Nimeke

Liimapuurakenteiden kuntotutkimus

Toimeksiantaja

Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämä toiminnallinen opinnäytetyö tehtiin Karelia-ammattikorkeakoulun ”Vähähiilinen ja energia-
tehokas korjausrakentaminen” -projektin toimeksiantona. Opinnäytetyön tehtävänä oli luoda yh-
tenäiset kuntotutkimusohjeet liimapuurakenteille, koska sellaisia ei ole ollut saatavilla. Opinnäy-
tetyön toiminnallisena osuutena oli kuntotutkimuksen tekeminen liimapuurakenteille. Lisäksi
selvitettiin liimapuurakenteiden yleisiä korjaustapoja sekä uusiokäyttömahdollisuuksia. Tarkoi-
tuksena oli analysoida liimapuurakenteiden uusiokäyttöä, kierrätettävyyttä sekä niiden korjaus-
mahdollisuuksia.

Kuntotutkimuksen kohteena oli vuonna 1982 suunniteltu liimapuurunkoinen hallirakennus.
Opinnäytetyössä selvitettiin kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella liimapuurakenteiden eri kunto-
tutkimusmenetelmiä ja tutkittavan hallin rakennusaikaisia määräyksiä, joita vertailtiin voimassa
oleviin rakennusmääräyksiin. Kuvitteelliselle liimapuupalkille suoritettiin laskennallisia mitoitus-
tarkasteluja, joiden perusteina käytettiin tutkittavan rakennuksen rakennusaikaisia määräyksiä
ja voimassa olevia määräyksiä. Lisäksi samalle palkille tehtiin mitoitus-tarkastelu, niin että pal-
kissa on oletettu halkeama. Toiminnallisessa osiossa suoritettiin kuntotutkimus tutkittavan hallin
liimapuuharjapalkkeille ja liimapuupilareille. Kuntotutkimus suoritettiin aistinvaraisia havaintoja
sekä mittausvälineitä apuna käyttäen.

Tutkittavan hallin rakennusaikana rakennukset mitoitettiin pienemmille lumi- ja tuulikuormille.
Mitoituksessa oli mahdollista käyttää sallittujen jännitysten menetelmää. Nykyisin laskennalli-
sessa mitoituksessa on käytössä osavarmuuskertoimet, joita käytettäessä rakenteita ei ole tar-
peen ylimitoitaa. Kuntotutkimuksen kohteena olevassa hallissa liimapuupalkit ja -pilarit ovat ol-
leet kuivassa ja lämpimässä sisätilassa. Tutkitut liimapuurakenteet olivat pääosin alkuperäi-
sessä kunnossa. Tässä kuntotutkimuksessa tultiin johtopäätökseen, että liimapuurakenne voi
säilyä uutta vastaavana kymmeniä vuosia, mikäli olosuhteet ovat optimaaliset. Opinnäytetyössä
saatiin koostettua kattavat ohjeet liimapuurakenteiden kuntotutkimustavoista sekä yleisistä kor-
jausmenetelmistä. Opinnäytetyö sisältää lisäksi pohdintaa ja esimerkkejä liimapuurakenteiden
uusiokäytöstä.

Kieli
suomi

Sivuja 65
Liitteet 7
Liitesivumäärä 32

Asiasanat

liimapuu, kuntotutkimus, uusiokäyttö



THESIS
September 2022
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors

Keijo Pellikka, Heli Rautiainen

Title

Examination of the Condition of Glulam Structures

Commissioned by

Karelia University of Applied Sciences

Abstract

This functional thesis was commissioned by Karelia University of Applied Sciences “Low-carbon and energy-efficient renovation” project. The task of the thesis was to create a unified set of condition assessment guidelines for glulam structures, as no such guidelines were available. The functional part of this thesis was to carry out a condition survey for glued-laminated timber structures. Common repair methods and reuse options for glulam structures were clarified. The aim was to analyze the reuse, recyclability, and repair potential of glulam structures.

The object of the condition survey was a glued-laminated timber-framed hall building designed in 1982. A descriptive literature review was used to study the different methods for assessing the condition of glulam structures. The construction regulations of the hall under study were compared with the current building regulations. Design calculations were carried out for the hypothetical glulam beam, based on the current regulations at the time of construction of the building. Moreover, a dimensioning analysis was made for the same beam with an assumed crack in the beam. In the functional part, a condition study was made on the glulam beams and glulam columns of the building. It was carried out using sensory observations and measuring instruments.

During the construction of the hall, the buildings were designed for lower snow and wind loads. It was possible to use the method of allowable stresses for the design. Nowadays, calculated design is based on partial safety factors, which do not require the structures to be oversized. In the hall under study, the glulam beams and columns have been kept in a dry and warm interior. The structures examined were largely in their original condition. In this study, it was concluded that the glulam structure can remain as new for decades if the conditions are optimal. The thesis work provided a comprehensive guide to the condition survey methods and general repair methods for glulam structures. The thesis also includes a discussion and examples of the reuse of glulam structures.

Language
Finnish

Pages 65
Appendices 7
Pages of Appendices 32

Keywords

glulam, condition survey, reuse

Sisältö

1	Johdanto	7
2	Liimapuu	7
2.1	Liimapuun historia.....	7
2.2	Liimapuun valmistus	9
2.3	Käyttökohteet.....	11
2.4	Lujuusluokat.....	13
3	Kuntotutkimus	14
3.1	Kuntotutkimus teoriassa	14
3.2	Tutkimuksen lähtötiedot.....	16
3.3	Rakennejärjestelmän tunnistaminen ja kuvaus.....	18
3.3.1	Pilari-palkki-runko	19
3.3.2	Ristikko	20
3.3.3	Kaari	21
3.3.4	Kolminivelkattotuoli	22
3.4	Liimapuurakenteen kuntotutkimustapoja	22
3.4.1	Rakotulkki	22
3.4.2	Mikroporaus	24
3.4.3	Ultraäänitutkimus	25
3.4.4	Röntgen	27
3.4.5	Laserkeilaus.....	28
3.4.6	Ruuvien vetotesti	32
3.4.7	Aistinvaraiset tutkimukset	33
3.4.8	Kasvukaira	34
3.4.9	Kosteusmittaus	36
3.4.10	Mikroskooppinen tutkimus	38
4	Laskennallinen tarkastelu	39
4.1	Mitoitusperusteet	39
4.2	Tutkimuskohta palkissa	46
5	Liimapuurakenteen kuntotarkastuksen toteutus.....	47
5.1	Aistinvaraiset havainnot.....	47
5.2	Rakotulkin käyttö	53
6	Tutkittava kohde	54
7	Tulosten analysointi	55
8	Liimapuurakenteen elinkaaren pidentäminen	56
8.1	Vaurioiden korjaukset	56
8.2	Uusiokäyttömahdollisuudet.....	57
9	Pohdinta.....	61
	Lähteet.....	63

Liitteet

- Liite 1 Kuntotutkijan lähtötietokaavake ja muistilista
- Liite 2 Liimapuurakenteiden kuntotutkimuksen käyttäjäkysely
- Liite 3 Kuntotutkimuksen tarkastuslista
- Liite 4 Esimerkkilaskuissa käytetyt kaavat ja taulukot
- Liite 5 Suorakaide liimapuupalkin esimerkkilaskennat
- Liite 6 Suorakaide- ja harjapalkin rasiituskuvaajat
- Liite 7 Liimapuurakenteen leimatodistus

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda liimapuurakenteiden kuntotutkimuksille yhtenäisiä toimintatapoja. Tälle opinnäytetyölle on tarvetta, koska liimapuurakenteille ei ole olemassa kuntotutkimusohjeita eikä kuntotutkimuksessa tarvittavia kuntotutkimuslomakkeita.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa aluksi käsitellään liimapuun historiaa ja valmistusta sekä perehdytään liimapuurakenteiden eri kuntotutkimusmenetelmiin. Seuraavaksi kerrotaan tutkittavan kuntotutkimuskohteen suunnitteluajan rakennusmääräyksistä sekä tällä hetkellä voimassa olevista rakennusmääräyksistä. Liitteessä esitetään esimerkit laskennallisista mitoitustarkasteluista suorakaide liimapuupalkille tutkittavan kohteen rakennusaikaisilla ja nykyisin voimassa olevilla määräyksillä sekä oletuksena, että palkissa on halkeama. Lopuksi kerrotaan yleisiä liimapuurakenteiden vaurioita, korjaustapoja ja pohditaan liimapuurakenteiden uusiokäyttömahdollisuuksia. Opinnäytetyön liitteeksi laaditaan liimapuurakenteiden kuntotutkimuksen toteutuslomakkeet.

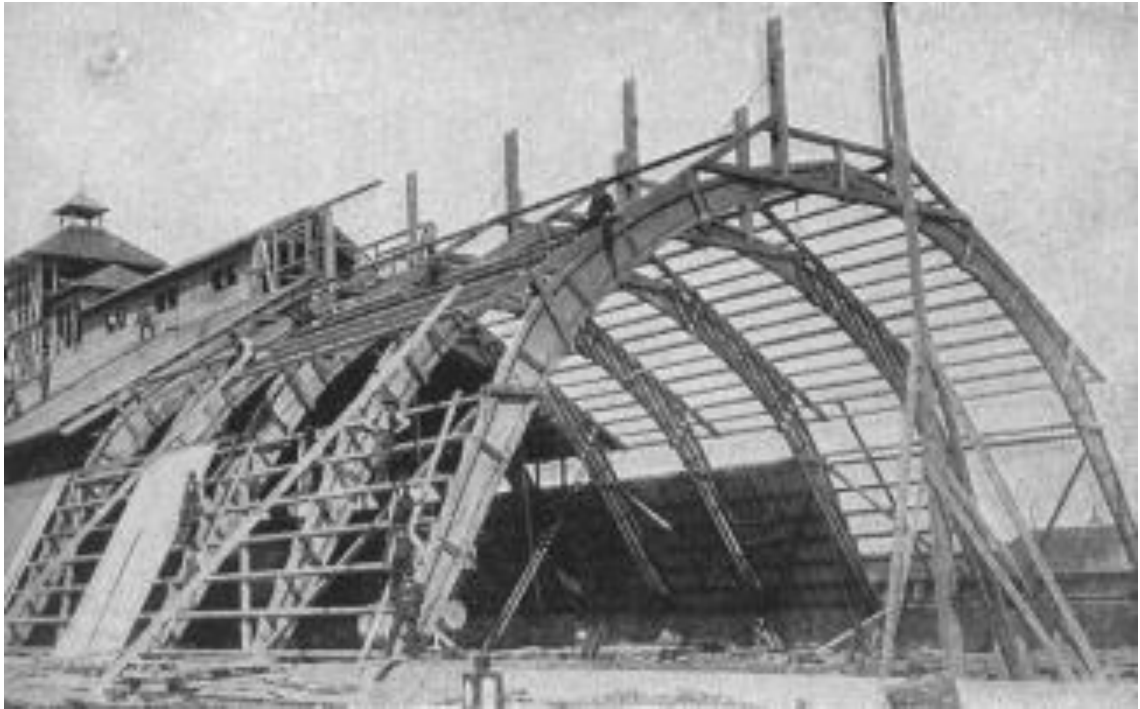
Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö. Toimeksiantajana Kareliammattikorkeakoulun ”Vähähiilinen ja energiatehokas korjausrakentaminen” -projekti. Liimapuurakenteiden kuntotutkimus suoritetaan joensuulaiseen hallirakennukseen, joka on suunniteltu vuonna 1982 myymälä- ja korjaamotilaksi.

2 Liimapuu

2.1 Liimapuun historia

Liimapuun kehitti ja patentoi 1906 saksalainen puuseppä ja rakennesuunnittelija Otto Hetzer (1846–1911). Hän toteutti ensimmäisenä teollisesti valmistettuja liimapuupalkkeja ja liimapuukaaria. Rakenteiden jännevälien kasvaessa ei sahattulla puutavaralla pystytty toteuttamaan toivottuja kantavia rakenteita. Liimapuu kehittyi tähän tarpeeseen, jotta puutavara pystyisi kilpailemaan rakennusmateriaalina valtamateriaalina käytettyjen teräksen ja teräsbetonin kanssa. Otto

Hetzer erikoistui suurien jännevälien rakennuksiin. Tämän seurauksena liimapuuta alettiin käyttämään ensin rautatierakennuksissa sekä lentokonesuojissa (kuva 1). Liimapuu valittiin materiaaliksi, koska puulla on hyvä korroosiokestävyys ja se oli taloudellinen rakennusmateriaali. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 8.)



Kuva 1. Ensimmäisiä liimapuukaaria 1900-luvun alkupuolelta (Kaiserliches Patentamt 2006).

Brysselin maailmannäyttelyssä 1910 esiteltiin vetotangollisia liimapuukaaria, joiden jänneväli oli huimat 43 m, korkeus noin 3 m ja leveys 30 cm. Tämä oli läpimurto liimapuulle ja se tuli yleisesti ihmisten tietoisuuteen. Aikavälillä 1908–1925 yli 20 yhtiötä eri maissa oli hankkinut käyttöoikeudet Hetzerin patentin hyödyntämiseen. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 11.)

Pohjoismaihin liimapuurakenteet levisivät Norjan kautta, kun Guttorm Brekke (1885–1980) osti yksinoikeudet valmistaa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa aitoja alkuperäisiä Hetzer-kannattajia. Suomessa liimapuun valmistus alkoi vuonna 1945. Ensimmäisenä liimapuusta rakennettiin laivoja, jotka annettiin sotakorvauksena Neuvostoliitolle. Laivan runko, kansipalkit ja mastot rakennettiin liimapuusta. Laivankaaria alettiin soveltamaan myös hallirakentamiseen

kääntämällä ne ylösalaisin. Rakennusteollisuuden käyttöön liimapuu otettiin vuonna 1958. (Suomen Liimapuuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 13.)

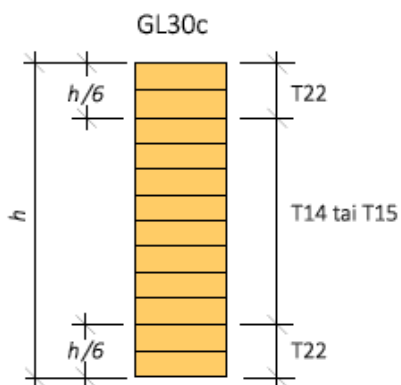
2.2 Liimapuun valmistus

Liimapuun valmistuksessa (kuva 3) käytetään kuivattua ja lujuusluokiteltua havupuuta. Liimapuu voi olla homogeenistä, jolloin kaikki lamellit ovat samaa lujuusluokkaa tai se voi olla yhdistettyä liimapuuta, jolloin ulkolamellit ovat lujuusluokaltaan lujempaa ja sisäpuoleiset lamellit ovat pienemmän lujuusluokan puuta. Liimapuun lujuusluokka määräytyy ulompien lamellien mukaisesti. H/6-lamellit ovat ulkolamelleja. Esimerkiksi GL30c-ulkolamellit ovat T22-lujuusluokkaa ja sisälamellit ovat T14- tai T15-lujuusluokkaa. T14-lujuusluokka vastaa sahatavarassa C24-lujuusluokkaa (taulukko 1). Liimapuun lujuutta voidaan kasvat-
taa 30 % sahatavaran lujuudesta, esimerkiksi T22-sahatavara liimattuna muodostaa GL30c-liimapuun (kuva 2). (Suomen Liimapuuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015, 5–7.)

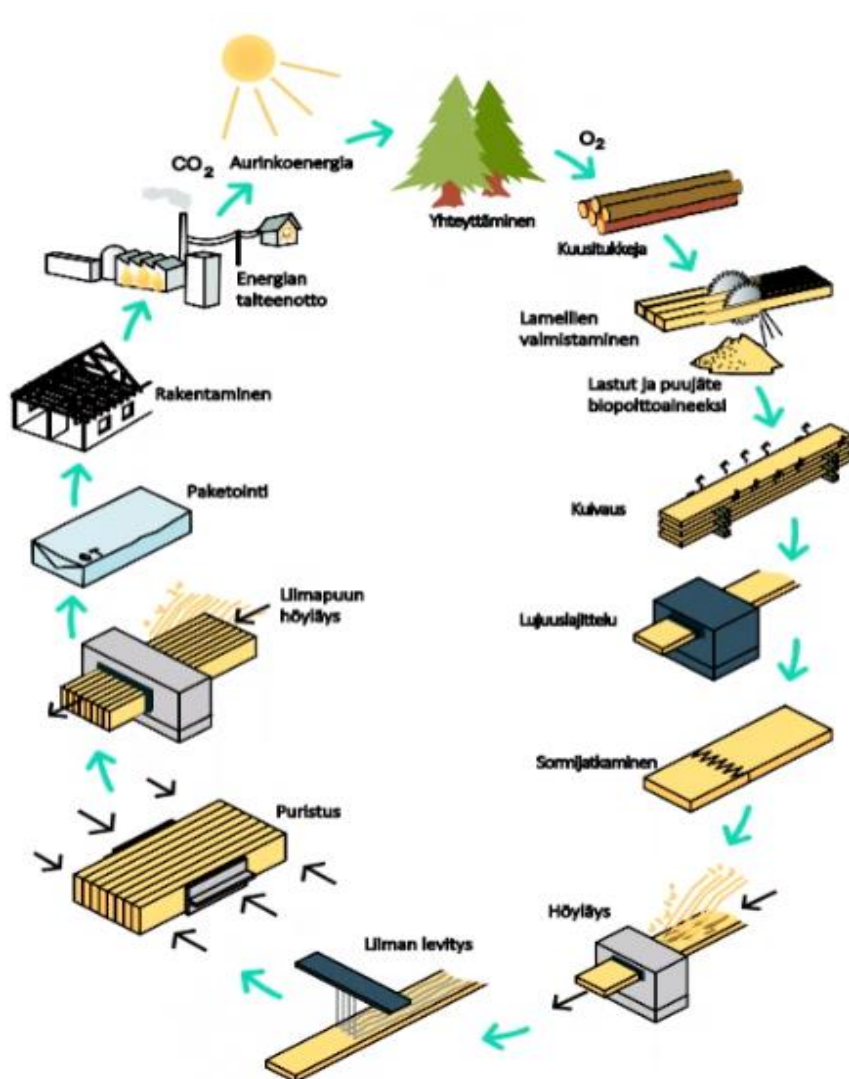
Lamellien T-luokka ^{a)}	$f_{t,0,1k}$	$E_{t,0,1,mean}$	A_k
T8(C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10(C16)	10	8 000	310
T11(C18)	11	9 000	320
T12(C20)	12	9.500	330
T13(C22)	13	10 000	340
T14(C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16(C27)	16	11 500	370
T18(C30)	18	12 000	380
T21(C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24(C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27(C45)	27	15 000	410
T28	28	15 000	420
T30(C50)	30	15 500	430

^{a)} Standardin EN 338:2009 mukaiset C-luokat täyttävät vähintään vastaavien T-luokkien vaatimukset.

Taulukko 1. Liimapuun lamellien T/C-luokkien ominaislujuudet ja jäykkyydet (SFS-EN 14080 2013).



Kuva 2. Yhdistetyn liimapuun poikkileikkaus (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015).



Kuva 3. Liimapuun valmistus (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015).

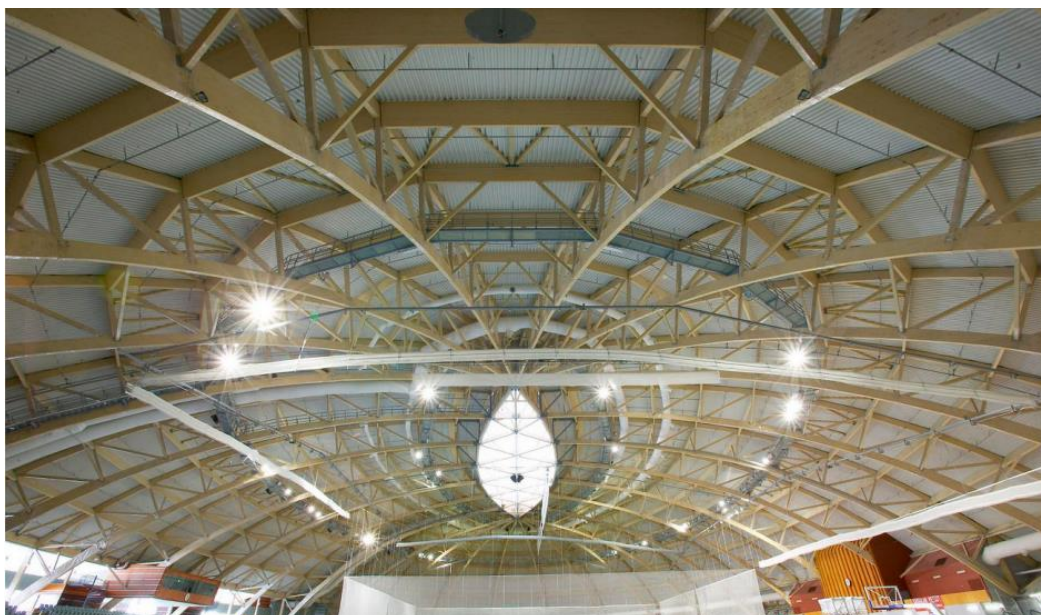
Liimapuu valmistetaan liimaamalla enintään 45 mm paksuisia lamelleja yhteen. Lamellien syysuunta on aina pituussuuntaan liimapuutuotteen mukaisesti. Liimaamiseen käytetään Standardin SFS- EN 15425:2008 mukaisia liimoja. Liimauksen tartunnan pitää kestää rakenteen käyttöiän. Pitkien jänneväliden palkeissa ensin yksittäiset lamellit sormijatketaan, jotta saadaan tarvittava pituus. Puun kosteusprosentti liimausprosessissa saa olla enintään 6–15 % ja vierekkäisten lamellien kosteussuhde ei saa olla yli 5 %. Näin saavutetaan paras mahdollinen liimasauman lujuus ja minimoidaan halkeilun sekä vääntymisen mahdollisuus. Valmistuksessa lamelleihin aluksi levitetään liima, jonka jälkeen ne pinotaan päällekkäin ja asetetaan puristimeen. Puristimessa oloaika on riippuvainen muun muassa liimatyypistä ja ympäröivästä lämpötilasta. Mikäli halutaan esikorotettua tai kaarevaa muotoa, täytyy lamellit taivuttaa haluttuun muotoon puristimeen laitettaessa. Liiman kuivuttua materiaali höylätään ja katkaistaan määrämittäiseksi, minkä jälkeen tehdään tarvittavat pintakäsittelyt ja pakkaus. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015, 5–7.)

2.3 Käyttökohteet

Liimapuu (kuva 4) on pääsääntöisesti kantavien rakenteiden jalostettu puutuote, jolla voidaan toteuttaa käyttöluokkien 1, 2 ja 3 rakenteita. Liimapuuta käytetään kantavissa rakenteissa pilareina ja palkkeina. Lisäksi sillä voidaan toteuttaa kattoristikkoita, kaaria (kuva 5) ja erilaisia ulokkeita. Liimapuuta käytetään myös infirarakentamisessa muun muassa silloissa. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014.)



Kuva 4. Valmis liimapuutuote (Puuinfo 2020a).



Kuva 5. Joensuun Areena (Puuinfo 2022).

Liimapuuta käytetään myös suurien rakennusten rakenteissa, kuten esimerkiksi teollisuushalleissa, urheiluhalleissa ja kouluissa. Tunnettuja liimapuukurakennuksia ovat muun muassa Joensuun Areena (2004) ja Malmön keskusasema, joka on rakennettu jo vuonna 1923. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015.)

2.4 Lujuusluokat

Painoonsa nähden liimapuu on yksi lujimmista rakennusaineista. Liimapuun poikkileikkauksessa on epätodennäköisestä, että heikot kohdat olisivat samassa kohdassa ja tämä tekee liimapuusta keskimääräisesti lujemman kuin sahatavarasta. Standardi SFS-EN 14080 määrittelee liimapuulle lujuusluokat (taulukko 2 ja taulukko 3). Lisäksi standardi antaa mahdollisuuden määrittää lujuuden koekuormituksella tai laskennallisesti. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015.)

Ominaisuus ^{a)}	Merkintä	Liimapuun lujuusluokka						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Taivutuslujuus	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Vetolujuus	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Puristuslujuus	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Leikkauslujuus (leikkaus ja vääntö)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Poikittainen leikkauslujuus	$f_{r,g,k}$	1,2						
Kimmokerroin	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Liukukerroin	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Poikittainen liukukerroin	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Tiheys ^{b)}	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

^{a)} Tässä taulukossa esitetyt ominaisuudet on laskettu kohdan 5.1.5 mukaisesti taulukossa 2 esitettyjen lamelliasettelujen perusteella. Jos tietyn lujuusluokan eri lamelliaseteluilta saadaan erilaisia ominaisarvoja, tässä esitetään pienin arvo.

^{b)} Laskettu eri lamellivyöhykkeiden tiheyksien painotettuna keskiarvona, katso kohta 5.1.5.3, viides kappale.

Taulukko 2. Yhdistetyn liimapuun ominaislujuudet ja -jäykkyydet, N/mm², sekä tiheydet, kg/m³ (SFS-EN 14080 2013).

Ominaisuus	Merkintä	Liimapuun lujuusluokka						
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Taivutuslujuus	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Vetolujuus	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Puristuslujuus	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Leikkauslujuus (leikkaus ja vääntö)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Poikittainen leikkauslujuus	$f_{r,g,k}$	1,2						
Kimmokerroin	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Liukkerroin	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Poikittainen liukkerroin	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Tiheys	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Taulukko 3. Homogeenisen liimapuun ominaislujuudet ja -jäykkyudet, N/mm², sekä tiheydet, kg/m³ (SFS-EN 14080 2013).

Lujuusluokka GL30h tulee sanoista GLULAM 30 HOMOGENEOUS.

Eli kyseessä liimapuu, jonka nimellislujuus on 30 MPa ja se on tasa-aineinen, joka tarkoittaa, että kaikkien lamellien lujuusluokka on sama. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry 2018.) Lujuusluokka GL30c tulee sanoista GLULAM 30 COMBINED. Eli kyseessä liimapuu, jonka nimellislujuus on 30 MPa ja se on yhdistelmä, joka tarkoittaa, että on käytetty kahta eri lujuusluokan puutavaraa. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2015.)

3 Kuntotutkimus

3.1 Kuntotutkimus teoriassa

Kuntotutkimus on tarkempi ja yksityiskohtaisempi, kuin kuntoarvio tai kuntotarkastus. Tutkimuksella pyritään saamaan tiedossa olevien tai piilevien vikojen laajuus ja sijainti tarkasti selville. Kuntotutkimuksessa käytetään muun muassa näytteenottoon perustuvia ainetta rikkovia menetelmiä. Kuntotutkimus on lähtökohtana korjaussuunnittelulle sekä uusiokäytön mahdollisuuksille. Kuntotutkimusraportissa yleensä kerrotaan muutama korjaustapa havaittujen vikojen

korjaamiseen sekä toimenpiteisiin liittyvät hyödyt ja haitat. Tutkimusraportin perusteella voidaan laatia yksityiskohtainen korjaussuunnitelma. (Ympäristöministeriö 2016, 18.)

Kuntotutkimuksia ei voi tehdä kuka tahansa. Kuntotutkimuksen tekijällä pitää olla tarvittavat viralliset sertifikaatit kunnossa. Virallisia pätevyyskriteerejä kuntotutkimuksen tekijöille myöntää VTT Expert Services Oy ja FISE Oy. (FISE 2022.)

RIL:in tarkastusmenettely ohjeistuksessa kerrotaan kantavien rakenteiden tarkastusmenettelystä seuraavaa:

Tarkastuksessa on tehtävänä **tunnistaa** rakenteellista turvallisuutta vaarantavia tekijöitä (kuva 2.1):

- rakenteiden/rakenneosien **tekniisiä puutteita tai virheitä**, kuten
 - o rakenteiden laskentamallien (staattisten mallien) virheellisyys
 - o alimitoitettuja rakenneosia tai liitoksia
 - o puuttuvia kantavia rakenne- tai liitososia
 - o jäykistyksen puutteellisuus
 - o materiaalin laatu puutteita
 - rakenteen ikääntymisestä johtuvaa rakenteen **rappeutumisesta/kulumisesta** aiheutuvaa rakenteiden kantokyvyn heikkenemistä, kuten
 - o teräsrakenteiden ja -osien korroosio
 - o puu lahoaminen ja halkeilu
 - o betonin haurastuminen ja halkeilu sekä raudoituksen korroosio
 - o rakenteiden mekaaninen kulutus
 - rakenteiden toimivuuden kannalta suunnitellusta ja alkuperäisestä tilanteesta poikkeavia tai vääriä **olosuhteita** kuten.
 - o kuormitusten lisääntyminen tai luonteen muuttuminen (esim. dynaamisuus)
 - o uusien tai liittyvien rakenteiden aiheuttamat lisärasitukset
 - o rakenteissa tehdyt muutokset
 - o kosteusrasituksen muuttuminen
 - **ylläpidon ja huollon puutteita.**
- Tarkastuksen tärkeä tehtävä on myös tunnistaa **hankeprosessin puutteita** esim.
- rakennuttamisessa (hankkeen ohjauksessa, hankinnoissa)
 - pääsuunnittelussa
 - rakennesuunnittelussa
 - rakenneosien valmistuksessa
 - työmaatoteutuksessa
 - valvonnassa (Rakennusinsinööriliitto 2013, 6.)

Rakenteiden virheet ja puutteet, rakenteiden rappeutuminen ja kulumisen sekä olosuhdemuutoksen, puutteellinen huolto ja ylläpito ovat kolme merkittävintä

rakenteita heikentävää tekijää. Nämä yhdessä muodostavat suuren rakenteellisen turvallisuusriskin. (Rakennusinsinööriliitto 2013, 7.)

RT-kortistossa kuntotutkimuksen kiinteistötarkastuksesta kerrotaan seuraavaa:

Kiinteistötarkastuksessa tarkastetaan etukäteen laaditun tarkastussuunnitelman mukaisesti kaikki kuntoarvioon sisältyvät osakokonaisuudet.

Kiinteistötarkastus painottuu

• rakenteiden, rakennusosien, järjestelmien ja laitteistojen kuntoon ja korjaustarpeen määrittelyyn

• terveellisyteen ja turvallisuuteen vaikuttaviin tekijöihin

• korjausten kiireellisyyteen

• korjausmenetelmiin

• riskivaikutuksiltaan merkittäviin asioihin

• tarkastettavien kohteiden energiataloudelliseen kuntoon ja toimivuuteen

• sisäilmaolosuhteisiin

• rakenteiden toimivuuden arviointiin

• ympäristön vaikutuksiin

• lisätutkimus- ja muiden selvitysten tarpeen toteamiseen. (RT 103003, 2019, 6.)

3.2 Tutkimuksen lähtötiedot

Kuntotutkimuksen alussa tarvitaan tieto mitä tutkitaan ja miksi, jotta osataan tutkia oikeita asioita oikeilla menetelmillä. Tarvittavia lähtötietoja ovat rakennusasiakirjat, pääpiirustukset, pohjapiirustukset, rakennepiirustukset ja LVIS-kuvat. Alkukartoituksessa tehdään käyttäjien haastattelut sekä selvitetään mahdollisten aiempien kuntotutkimuksien tiedot. Tutustumalla lähtötietoihin saadaan kattava tietämys tutkittavasta rakennuksesta. Haastattelemalla käyttäjiä saadaan epävirallista tietoa rakennuksen toiminnasta ja toimimattomuudesta. Tämän tiedon perusteella tutkimusta voidaan kohdentaa tarkemmin tiettyyn rakenteeseen. Aiemmista tutkimuksista on mahdollista saada arvokasta tietoa rakenteen sen hetkisestä kunnosta. Kuntotutkijalla on hyvä olla tarkastuslista, jota käytetään kuntotarkastusta suoritettaessa (kuva 7). (RT 103003, 2019, 5.) Tämän opinäytetyön mukana olevissa liitteissä on malli lähtötietolomakkeesta liitteessä 1, malli käyttäjäkyselystä liitteessä 2 sekä malli kuntotutkijan tarkastuslistasta liitteessä 3.

Kohde:
Tekijä:
Pvm:

		kyllä	ei	huom.
1.	Onko julkisivuverhouksen takana alhaalta ylös jatkuvat tuuletusraot?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
2.	Onko tiilijulkisivun taakse viistosateella menevä vesi ohjattu seinän alaosassa hallitusti pois rakenteista, vai pääseekö vesi kastelemaan esim. puurungon alaosa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
3.	Ovatko tiilimuurausten saumat tai tiilet pakkasrapautuneet?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
4.	Ovatko ikkunapellitysten kallistukset riittävät ja ulos päin?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
5.	Ovatko ikkunapellitysten tippanokat riittävän etäällä seinästä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
6.	Ovatko ikkunapellitysten ja ikkunapielien tiivistykset tehty ja kunnossa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
7.	Onko julkisivussa esim. katolta tulevan veden jättämiä jälkiä tai vaurioita?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
8.	Ovatko elementtien ja liikuntasauvojen saumaukset tiiviit?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
9.	Onko tasakattoisissa taloissa seinän yläosassa räystäspellityksen alla vastapelti?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
10.	Ohjautuuko vesi ikkunoiden ja ovien päältä julkisivuverhouksen takaa ulos?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
11.	Muodostavatko runkorakenteet kylmäsiltoja?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
12.	Onko seinien rakennekerrokset suunniteltu rakennusfysikaalisesti oikein?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
13.	Voiko rakenteissa tapahtua esim. kosteuden tiivistymistä? - höyrynsulun paikka, läpiviennit ja liimitys - sisäpinnan vesihöyrynvastus vähintään viisinkertainen ulkopintaan nähden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
14.	Onko rakennuksen sisäseinissä tummumia tai nokimuodostumia merkinä ilmavuodoista?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
15.	Onko valesokkelirakennetta?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
16.	Kasvaako seinäpinnoilla sammalta?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Kuva 7. Esimerkki kuntotutkimuksen tarkastuslistasta (RT 103003, 2019).

Kuntotutkimuksesta tehdään aina kirjallinen raportti. Raportin tulee sisältää muun muassa osapuolten tiedot ja kuntotutkimuksessa mukana olleet henkilöt. Siinä tulee esittää rakennuksen lähtötiedot, tietojen alkuperä, tarkastuksen olosuhteet ja mahdolliset poikkeamat asiakirjoissa. Kuntotutkimusraportissa kerrotaan myös mihin tutkimus on rajattu, onko siinä epävarmuustekijöitä sekä tutkimuksessa käytetyt apuvälineet. Lopuksi raportissa esitetään yhteenveto havainnoista ja mittaustuloksista, mahdolliset korjaustarpeet ja niiden tärkeysjärjestys. Valokuvat havainnollistavat raporttia. Raportti ottaa myös kantaa vikojen korjaamatta jättämiseen sekä antaa tarvittaessa suosituksia lisätutkimuksista. (LVI 01-10414, 2007, 7–8.)

Tarpeellisia kuntoarvioista kertovia RT kortteja ovat:

- RT 103003; Asuinkiinteistöjen kuntoarvio
- LVI 01-10414 (KH 90-00394); Kuntotarkastus asuntokauppojen yhteydessä; suoritusohje.
- RT 103098 Kiinteistön kuntoarvio; kuntoluokan määräytyminen.

Nämä ohjeet antavat lisätietoa kuntoarvioijalle tavoitteista, velvollisuuksista, vastuista, tarkastuksesta sekä raportoinnista. (Rakennustieto 2022.)

3.3 Rakennejärjestelmän tunnistaminen ja kuvaus

Tässä opinnäytetyössä tutkimuksen kohteena on pilari-palkkijärjestelmä (kuva 8). Opinnäytetyössä esitetään myös pääpiirteet muista mahdollisista liimapuura-kennejärjestelmistä. Kantavien rakenteiden tarkoitus on kantaa ja viedä tuuli-, lumi-, hyötykuorma ja rakenteen oman painon aiheuttamat kuormat vesikatolta palkille, palkilta pilareille ja pilareilta perustuksille. (Finnish Wood 2014, 1.)

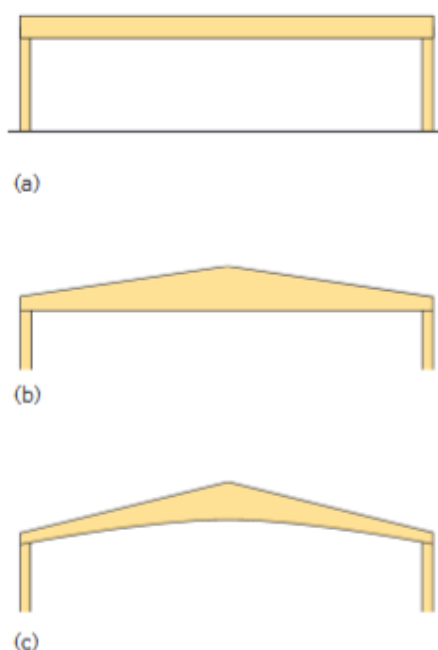


Kuva 8. Rakenneosat 1. Pilari, 2. Pääkannattajapalkki, 3. Kattoelementin reunapalkki, 4. Jäykistävä palkki, 5. Katto-orret (Puuinfo 2009).

Ensisijaisesti kuormia kantavat rakenteet ovat primäärirakenteita, kuten harjapalkki ja mastopilari. Sekundäärirakenteet siirtävät kuormat primäärirungolle. Sellaisina voivat toimia kuten esimerkiksi katto-orret ja seinäelementit. (Finnish Wood 2014, 1.)

3.3.1 Pilari-palkki-runko

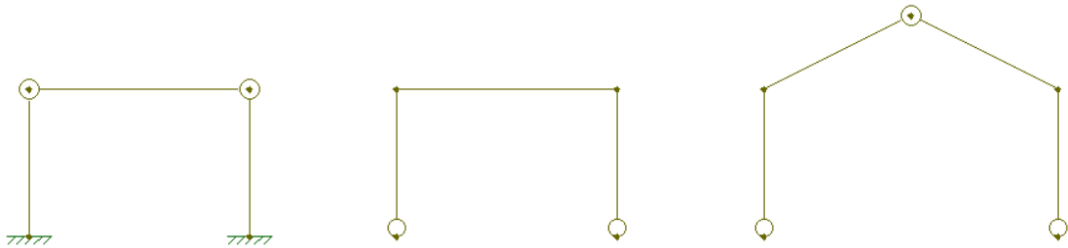
Yksinkertaisin ja eniten käytetty runkotyyppi on yksiaukkoinen pilari-palkkijärjestelmä. Rakenteessa on pilarien päällä vapaasti tuettu palkki (kuva 9). Suurin jänneväli voi olla 30 metriä. Rungon jäykisteenä käytetään vinositeitä tai mastopilareita. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 48–49.) Kehissä käytettäviä erilaisia palkkeja ovat harjapalkki, mahapalkki, bumerangipalkki, suorapalkki ja pulpettipalkki. (Puuinfo. 2009, 74.)



Kuva 9. Esimerkkejä yksinkertaisesta pilari-palkkijärjestelmästä. a) suora palkki, b) harjapalkki, c) bumerangipalkki (Puuinfo 2009).

Suomessa eniten käytetty kehärakenne on mastokehä (kuva 10), jossa pilarit ovat alapäästä jäykästi kiinni perustuksissa, jolloin ne ovat mastopilareita. Pilariden yläpäähän kiinnitetään palkki vapaasti tuettuna. Mikäli pilarit kiinnitetään alapäästä nivelellisesti ja palkki momenttijäykästi, on kyseessä kaksinivelkehä. Kolminivelkehässä pilarit ovat alapäästään nivelellisesti kiinni perustuksissa,

palkki on momenttijäykästi kiinni pilareissa ja palkin keskellä on nivelellinen liitos. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 48.)

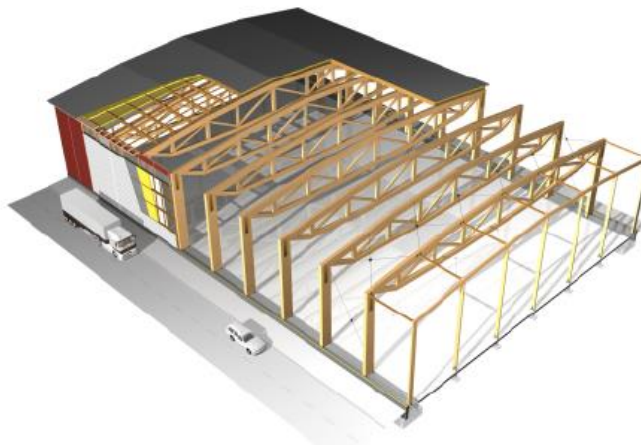


Kuva 10. Mastokehä, kaksinivelkehä ja kolminivelkehä (Mukaillen Puuinfo 2008).

Harjapalkki on suosittu ja yleinen kattokannattaja yksinkertaisen rakenteensa vuoksi ja sillä päästään jänneväleihin 15–25 metriä. Jos on tarpeen tehdä suurempia halleja harvalla pilarijaolla, niin käytetään monilaivaisia runkoja. (Puuinfo 2009, 78.)

3.3.2 Ristikko

Palkkien lisäksi kattokannattimia voidaan toteuttaa myös liimapuuristikkoilla (kuva 11). Ristikkorakenne on palkkia parempi vaihtoehto suurille jänneväleille, koska ristikko voidaan toteuttaa vähemmällä materiaalilla, kuin palkki. Liimapuuristikon palonkestävyys on huonompi kuin massiivipuupalkissa. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 49.)



Kuva 11. Liimapuuristikolla toteutettu hallirakennus (Puuinfo 2009).

Ristikon isona etuna on mahdollisuus kuljettaa se osina työmaalle. Näin saadaan toteutettua todella isoja jännevälejä, jopa 85 metrin pituisia. Ristikoita käytetään matalissa kattokaltevuuksissa. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 49.)

3.3.3 Kaari

Kaarirunkoisena liimapuurakenteella voidaan toteuttaa yli 100 metrin jännevälin rakennuksia (kuva 12). Kaaret kiinnittyvät nivelellisesti perustuksiin ja kaareen suunnitellaan välillekin tarvittavat nivelet. Kaaria voi myös suunnitella pilareiden päälle (kuva 13). (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 50.)



Kuva 12. Kaarirungolla toteutettu puuhalli (Puuinfo 2009).

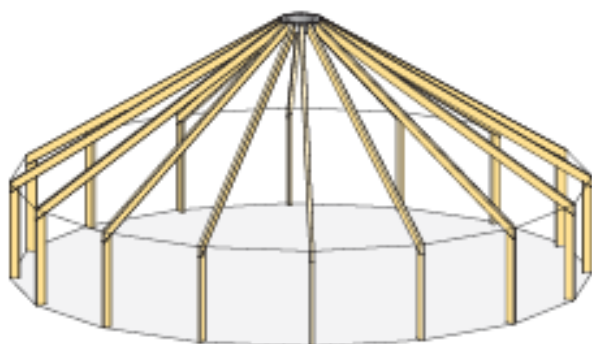


Kuva 13. Kaarirungot voivat olla myös pilareiden päällä (Puuinfo 2009).

Paraabeli kaarta käytetään suurissa jänneväleissä, pienissä jänneväleissä käytetään ympyrän kaarta. Säteittäisesti asennetuista kaarista saadaan kupolimainen rakenne. Kupolimaisuus on taloudellinen tapa toteuttaa suuria jännevälejä. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 50.)

3.3.4 Kolminivelkattotuoli

Kolminivelkattotuoli muodostuu helpoimmillaan kahdesta palkista, jotka ovat nivelellisesti yläpäästä toisissaan kiinni ja jäykästi pilarissa (kuva 14). Pilareiden alapäävät ovat nivelellisesti kiinni perustuksissa tai yhdistetty toisiinsa teräksisellä vetotangolla. Vetotangollinen rakenne on massiivisen palkin ja ristikon väli-muoto. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 49.)



Kuva 14. Kolminivelkattotuoli (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014).

Rakennetta käytetään, kun jänneväli kasvaa ja palkin käyttö olisi epätaloudellista. Rakennejärjestelmää voi käyttää myös kaarien ja kehien tilalla. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry & Puuinfo Oy 2014, 49.)

3.4 Liimapurakenteen kuntotutkimustapoja

3.4.1 Rakotulkki

Menetelmänä rakotulkki on ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä. Rakotulkki on käsikäyttöinen laite, jolla mitataan materiaalissa jo olevien halkeamien

syvyyksiä ja paksuuksia. Laite on helposti saatavissa, edullinen ja helppokäyttöinen. Siinä on eripaksuisia metallilehtiä, joita sovitetaan mitattavaan rakoön (kuva 15). Raon paksuuden näkee rakoön sopivasta metallilehdestä. Mittaus-tarkkuus on millimetrin sadasosa. Yleensä rakotulkki on valmistettu ruostumat-tomasta teräksestä. Mittausmenetelmä on alkujaan suunniteltu autoteollisuuden käyttöön välyksien ja rakojen mittaukseen. Rakotulkista käytetään myös nimik-keittä välysmitta ja kohdennuslevy. (Vidler & Knowles 2003, 36.)

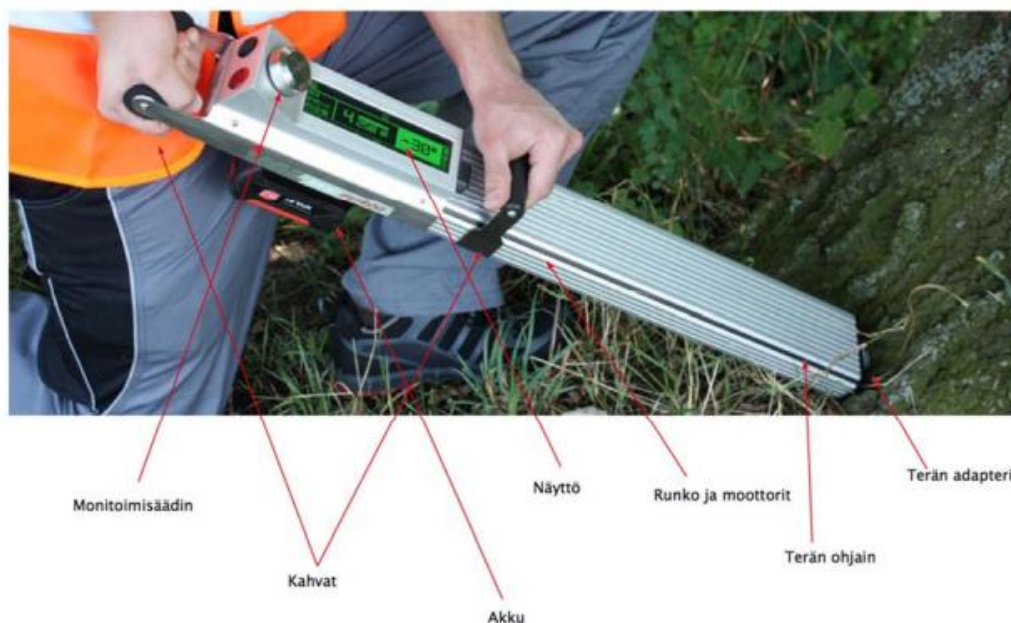


Kuva 15. Tässä rakotulkissa on mittausalueet 0,05–1 mm ja mittalehtiä on 20 kpl (Keijo Pellikka 2022).

Liimapuurakenteissa esiintyy aina kuivumishalkeamia. Yleensä halkeamat syn-tyvät jo hallin ensimmäisen käyttövuoden aikana. Rakotulkki soveltuu erinomai-sesti halkeamien mittaamiseen liimapuurakenteessa. (VTT puurakenteisten hal-lien kuntotarkastusohje 2006, 11.)

3.4.2 Mikroporaus

Mikroporaus on menetelmänä ainetta rikkova tutkimustapa, DT (engl. destructive testing). Mikropora on laite, jolla puurakenteen ominaisuuksia voi tutkia kohteella pintaa syvemmältä. Mikroporaa käytetään yleisimmin puiden kunnon tarkastamiseen puistoissa ja metsissä, pylväiden, leikkivälineiden sekä puurakenteiden tarkastamiseen rakennuksissa ja silloissa. Mikropora on tarkempi kuin kasvukaira ja lisäksi tuloksista saadaan graafiset kuvat. Porausnäytteistä on helppo seurata esimerkiksi lahovaurioiden etenemistä. Laitteen käyttäjän pitää olla tutustunut laitteen toimintoihin ja käyttöön, lisäksi laite pitää myös kalibroida eri puulajeille sekä kosteusolosuhteisiin. Mikroporauksessa puuhun porataan halkaisijaltaan 3 mm reikä, yleensä 200–1000 mm syvyyteen (kuva 16). Tällä saadaan selville puun sisäisiä lujuuksia ja tulokset ovat heti nähtävissä. Mikroporassa on kaksi moottoria. Pyörimismoottori hoitaa poranterän pyörimyksen ja mittaa samalla poran pyörimisvastusta. Etenemismoottori hoitaa terän puuhun etenemisen ja samalla mittaa terän etenemisvastusta. Poraä käytettäessä on laitteen pysyttävä vakaana ja sitä on työnnettävä porattavaa puuta vastaan riittävällä voimalla, samalla kärjen jousitettu osa auttaa pitämään poran kärkiosan kiinni tutkittavassa puussa. (Liikennevirasto 2017, 7, 23–24.)



Kuva 16. Mikropora (Liikennevirasto 2017).

Poraan on valittavissa useita eri etenemis- ja pyörimisnopeuksia, joita pora pyrkii pitämään vakiona porauksen aikana. Poraukseen käytettyjä tehoja mitataan ja porauksen päätteeksi näistä tuloksista saadaan ohjelma-analyysi poratusta puusta (kuva 17).

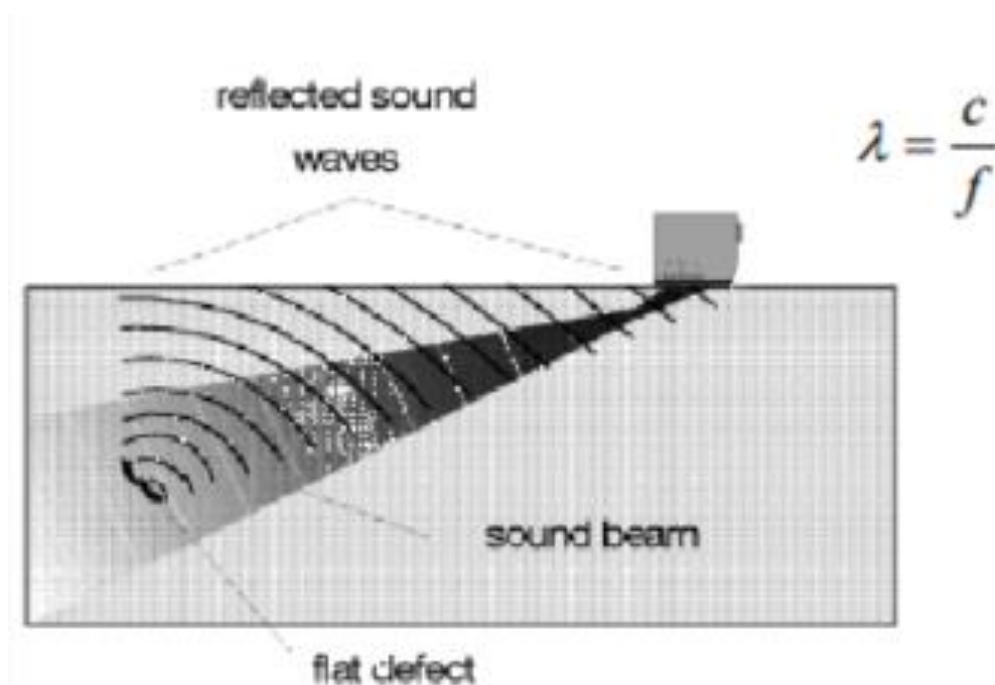


Kuva 17. Analyysiohjelman tulos poratusta puusta (Liikennevirasto 2017).

Kuvassa 17 tuloksesta näkyy selkeästi porausalueen vahvat kohdat alussa ja lopussa, joissa lujuutta on jäljellä 60–80 %. Harmaa alue on alkavaa lahoa ja onkaloa. Keskellä on pieni alue vahvempaa puuta. (Liikennevirasto 2017, 24.)

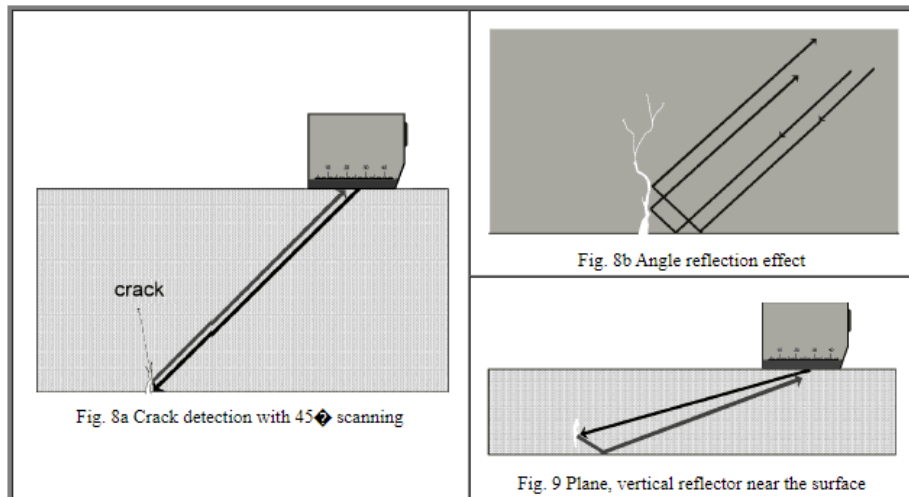
3.4.3 Ultraäänitutkimus

Ultraäänitarkastus on edullinen, vaaraton ja ainetta rikkomaton aineenkoetus, NDT (engl. non-destructive testing). Materiaalitutkimuksissa se on ollut käytössä jo yli 60 vuotta. Tämä tutkimusmuoto on radiograafisen tarkastuksen kanssa eniten käytetty tutkimusmenetelmä sisäisten vikojen havainnointiin. Menetelmällä voidaan myös mitata tutkittavan materiaalin koko ja muoto. Laitteen toiminta perustuu kiinteiden materiaalien hyvään äänenjohtamiskykyyn. Ääniaallot havaitsevat materiaalin sisällä olevat viat, kuten halkeamat ja sulkeumat. Aallonpituuteen $[\lambda]$ vaikuttavat äänennopeus $[c]$ ja taajuus $[f]$ (kuva 18). Tutkimuksessa on käytettävä taajuutta 0,5–25 MHz, jotta aallonpituus saadaan millimetreinä. (NDT.net. 2000.)

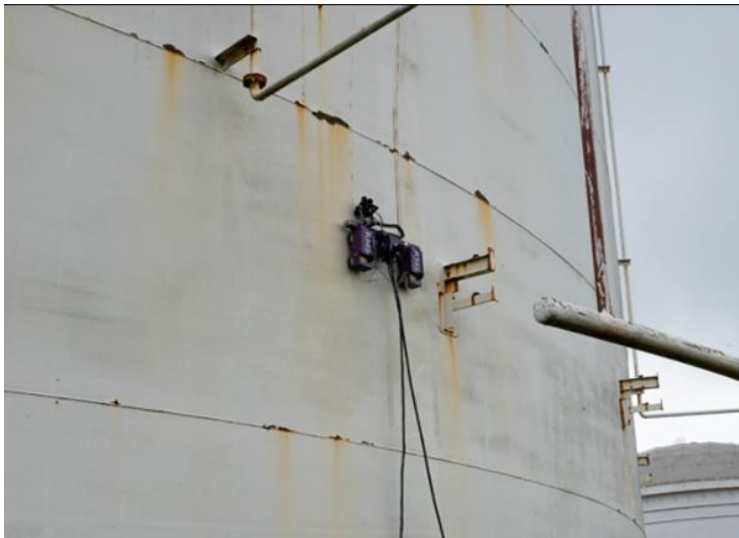


Kuva 18. Aallonpituuden määrittäminen (Mukaihen NDT.net. 2000).

Ultraäänitarkastustekniikoita on kahdenlaisia, läpäisytekniikka ja pulssikaikutekniikka. Mikäli lähetetyt aallot voivat mennä kohteen läpi on, kyseessä läpäisytekniikka. Läpäisytekniikan toiminta perustuu signaalin vaimentumisen mittaamiseen sen läpäistessä kohteen. Käyttökohteena ovat pääasiassa tasomaiset tuotteet, ohuet tuotteet, voimakkaasti vaimentavat materiaalit ja mikäli kappaleen muoto, mitat tai suunta ei mahdollista suoraa heijastusta. (SFS-EN ISO 16823, 2014, 10–12.) Mikäli lähetetty signaali kimpoaa tai heijastuu, käytetään tutkimusmenetelmästä nimikettä pulssikaikutekniikka (kuva 19). Menetelmä mittaa kaikua mistä tahansa kohteen pinnasta. Menetelmällä saadaan selville epäjatkuvuuden sijainti, kun tiedetään äänen etenemissuunta, luotaimen sijainti ja aika-akselin etäisyys heijasteesta (kuva 20). (SFS-EN ISO 16810, 2014, 8.)



Kuva 19. Ultraäänen toimintaperiaate (NDT.net. 2000)



Kuva 20. Säiliön ultraäänikuvaus (Eddyfi Technologies 2022).

Molemmissa menetelmissä tutkimus voidaan tehdä yhdellä luotaimella, joka toimii samalla lähettimenä ja vastaanottimena. Lähetin ja vastaanotin voivat olla myös eri laitteita. Luotaimia löytyy täysin automaattisista kokonaan manuaalisesti käytettäviin malleihin. (SFS-EN ISO 16810, 2014, 8.)

3.4.4 Röntgen

Röntgentutkimus on ainetta rikkomaton kuntotutkimusmenetelmä. Vanha menetelmä perustuu röntgensäteeseen, joka läpäisee kappaleen, muodostaen

sirontakuvion kappaleen taakse asennettuun röntgenfilmiin. Mikäli kappaleessa on poikkeama, se näkyy sirontakuviossa tummentumana. Menetelmä on ollut hidas, koska filmi on pitänyt vielä erikseen kehittää, jotta poikkeamat on havaittu. Nykyisin on mahdollista käyttää kehittynyttä digitaalista röntgenkuvausta (kuva 21). Menetelmässä näkee kuvauksen tuloksen heti tietokoneen näytöltä. (Dekra 2022.)



Kuva 22. Digiröntgenlaitteisto (Comet 2022).

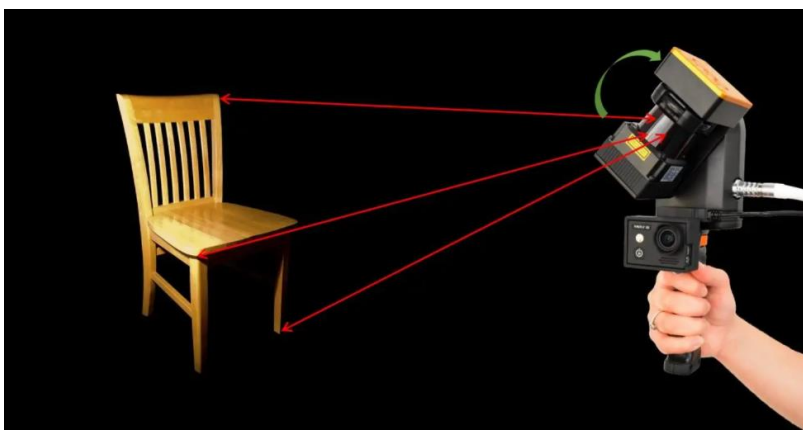
Röntgenkuvausta käytetään pääasiassa metalliteollisuudessa, mutta sillä voidaan kuvata myös muoveja, komposiittia, puuta ja betonia. Tutkimusmenetelmänä digitaalinen röntgenkuvaus on turvallisempi ympäristölle, kuin alkuperäinen menetelmä. (Dekra 2022.)

3.4.5 Laserkeilaus

Laserkeilaus on optinen mittausmenetelmä ja ainetta rikkomaton tutkimustapa. Toiminta perustuu kohteen kuvantamiseen keilaimella, joka voi pyöriä 360° astetta (kuva 23 ja 24). Tuloksena saadaan todellisuutta vastaava 3D-malli digitaalisena. Laserkeilain lähettää laserpulsseja kaikkiin pintoihin ja niistä heijastuneiden paluupulssien avulla keilain muodostaa kolmiulotteisia pistepilvisarjoja mittaushetken tilanteesta. (RT 103133, 2019, 1–2.)



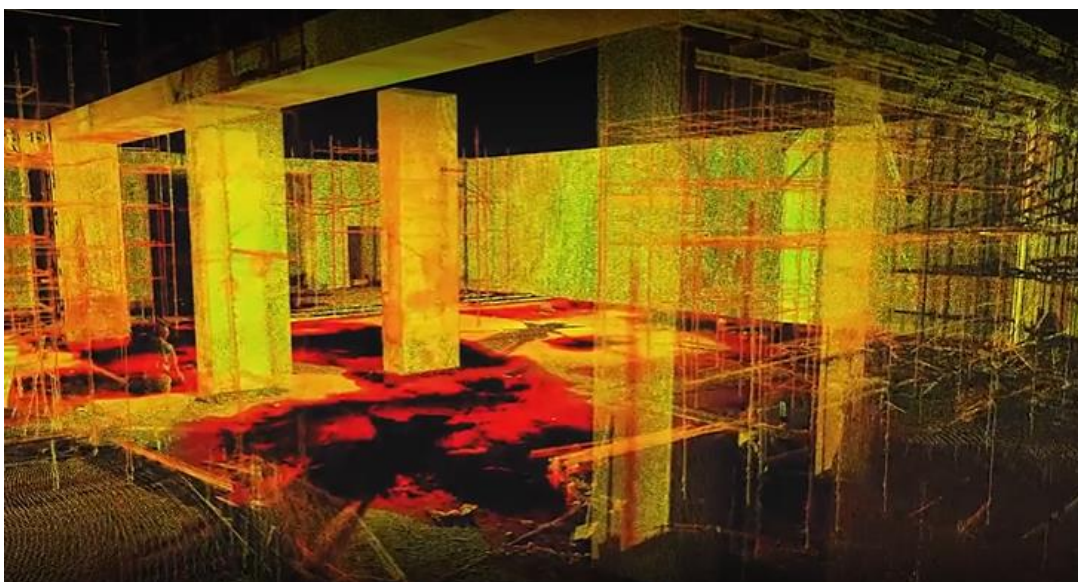
Kuva 23. Laserkeilauslaite (ResearchGate 2022).



Kuva 24. ZEB-REVO RT Käsikeilain. Punaiset nuolet kuvaavat laserpulseja. Vihreä nuoli laitteen pyörivää liikettä (Geotrim 2022).

Pistepilvi koostuu jopa miljardeista mittapisteistä ja sitä voidaan käyttää sekä kohteen geometriaan että piirteiden tulkintaan, analysointiin ja mittaamiseen.

Pistepilvestä voidaan mitata koordinaatteja, etäisyyksiä, pinta-aloja ja mittoja yleisesti mittatarkasti (kuva 25). Mittatarkkuus rakennuksissa on yleensä alle 5 millimetriä. Pistepilvi on itsessään jo valmis lopputuote. Pistepilvestä voidaan tuottaa muun muassa tietomalleja, pohja-, leikkaus- ja julkisivukuvia. Menetelmällä saadaan tehtyä myös maastokuvauksia, määrätietoluetteloita sekä rakennuslupakuvat vanhasta rakennuksesta. Monien muiden mahdollisuuksien lisäksi sitä voidaan käyttää kiinteistöomaisuuden digitalisointiin ja rakennushankkeen etenemisen seurantaan. (RT 103133, 2019, 2.)



Kuva 25. Pistepilvimalli (Leica Geosystems 2022).

Laserkeilaus on erinomainen menetelmä korjausrakentamisen suunnittelussa (kuva 26). Suunnittelija saa siitä käyttöönsä todenmukaiset mittatiedot kohteesta, jolloin korjausrakentamisen suunnittelu helpottuu. Muita etuja menetelmässä on sen nopeus, kustannustehokkuus ja virheettömyys. Keilaimen mittausnopeus, on mallista riippuen, sekunneista muutamiin minuutteihin. Kokonainen rakennus voidaan mallintaa alle viikossa, mikäli käytössä on useampi keilain. Laserkeilausta voidaan käyttää hankkeen eri vaiheissa. Tämä on hyvä menetelmä esimerkiksi aikataulun seurantaan. Rakennusvaiheessa voidaan tehdä toteuma-vertailua suunnitelmamalliin ja voidaan havaita ajoissa puutteita tai laatu-epäkohtia. (RT 103133, 2019, 2–3.)



Kuva 26. Notre Damen uudelleenrakentamisessa on käytetty laserkeilausta apuna (Dan Edleson 2019).

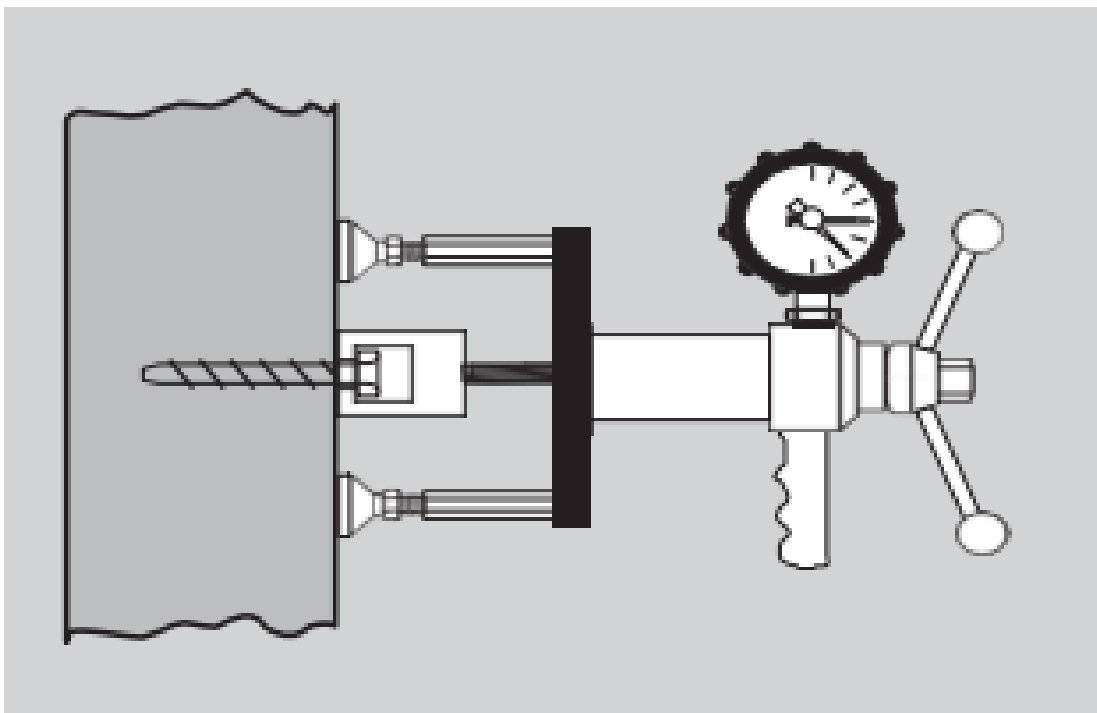
Huomioitavaa menetelmässä on se, ettei säde läpäise kiinteitä aineita. Laitteella ei voi mitata vesi- ja lumisateessa. Laitteen hankintahinta on tuhansia euroja ja laitetta ei ole helposti saatavilla. Elektroninen laite ei välttämättä toimi pakkasella eikä kovassa kuumuudessa. On myös tärkeää valita tutkittavaan kohteeseen sopiva keilain, jotta mittausetäisyys tulee oikeaksi. Keilain pitää myös kalibroida säännöllisin väliajoin. (RT 103133, 2019, 4.)

3.4.6 Ruuvien vetotesti

Ruuvien vetotesti on menetelmänä ainetta rikkova toimenpide. Liimapuun lujuutta voidaan mitata kiertämällä siihen ruuvi ja vetämällä se pois ulosvetotesterialla (kuva 27). Ruuvinkannan alle tulee adapteri, johon ulosvetotesteri kiinnitetään. Testerin asennetaan vedettävän ruuvin ympärille, niin että kaikki jalat tukeutuvat tasaisesti tutkittavaan kappaleeseen. Testerillä vedetään ruuvia pois puusta ja mittarista luetaan ruuvin irtoamiseen tarvittava voima (kuva 28). Vetotestejä on tehtävä riittävän paljon, vähintään 5, jotta tuloksista saadaan luotettava keskiarvo. Vetokokeesta saadaan virallinen, kun ruuvi täyttää standardin EN 1382 määräykset ja testattavan kappaleen mittasuhteet on määritelty standardissa EN 145692. (Hydrajaws 2021.)



Kuva 27. Ruuvien ulosvetotesteri (Hydrajaws 2021).



Kuva 28. Ulosvetotesterin toimintaperiaate (Hydrajaws 2021).

Toisena ruuvin vetotestauksen menetelmänä voidaan käyttää momentin mittauksista. Menetelmässä ruuvia kiristetään momenttiavaimella niin paljon, että kierre korkkaa ja ruuvin kiinnitys puusta pottää. Ulosvetotesterin ja momentin mittauksen vertailuarvo saadaan, kun vastaavat testit tehdään saman lujuusluokan vaurioitumattomaan puutavaraan. Arvoja vertaamalla saadaan selville, onko tutkittavan liimapuun lujuus heikentynyt. (Keskisalo 2022.)

3.4.7 Aistinvaraiset tutkimukset

Aistinvaraiset tutkimukset ovat ensimmäinen havainto tutkittavasta kohteesta, ja tämä ohjaa tutkimusmenetelmien valintaa ja kohdistaa tutkimuksen oikeaan kohtaan rakenteessa. Aistinvaraisia tutkimuksia liimapuukuranteelle ovat näkö-, kuulo-, hajuhavainnot ja tuntoaistiminen. Silmämääräisesti eli visuaalisesti voidaan huomioda rakenteen mitat ja muoto, sekä tutkittavan kohteen ulkoisia vaurioita, kuten esimerkiksi halkeamat, kosteus-, laho- ja törmäysvauriot (kuva 29). Jos tutkittavassa rakenteessa näkyy pienelijoita, se on todennäköisesti vaurioitunut. Kuulonvaraisesti voidaan tehdä kopo-testi, eli koputella tutkittavaa kohdetta ja kuunnella, muuttuuko ääni. Kopo-testaus on akustinen tutkimusmenetelmä. Onttous antaa erilaisen äänen. Hajuaistilla voidaan aistia, onko

kohteessa mahdollisesti kosteutta tai jopa mikrobivaurioita, nämä yleensä voidaan aistia myös näkemällä. Tuntoaistilla voi havaita kosteutta ja materiaalin huokoisuutta. Myös halkeamat voi havaita sormilla kokeilemalla. Aistinvaraiset tutkimukset ovat pääosin ainetta rikkomaton tapa tehdä havaintoja tutkittavasta rakenteesta. Menetelmät ovat halpoja ja helppoja toteuttaa sekä kaikkien käytävissä. (White & Ross 2014, 1–5.)



Kuva 29. Palkissa ulkoinen vaurio (White & Ross 2014).

Aistinvaraisiin tutkimuksiin luetaan myös lahopiikin käyttö. Lahopiikkinä käytetään terävää työkalua, kuten vaikka ruuvimeisseliä. Terävällä työkalulla lyödään puuhun. Jos pinnan lähellä on lahoamista, työkalu uppoaa helposti siihen. Jos puutavara on hyväkuntoista, siitä irtoaa vain pientä säliötä tai mahdollisesti siihen jää pieni jälki. Lahopiikin käyttö on osittain ainetta rikkova menetelmä. Käyttö on helppoa, mutta tulosten tulkinta vaatii kokemusta ja käsitystä puun materiaaliominaisuuksista. (White & Ross 2014, 5–6.)

3.4.8 Kasvukaira

Kasvukaira eli lustokaira on ainetta rikkova tutkimusmenetelmä. Laite on käsi-käyttöinen ontto pora, jolla porataan reikä tutkittavaan kohteeseen ja lastutikku poistetaan kairauksen jälkeen (kuva 30). Mitä kovempaa puu on, sen jäykempi

kairaa on pyörittää. Kairalla tarkastetaan puun kuntoa, ja se soveltuu hyvin lahovaurioiden kartoitukseen. Laitetta käytetään pääasiassa metsänhoitotöissä. (Ross, R. 69.)



Kuva 30. Kasvukaira (Metsälehti 2020).

Terän sisään muodostuvasta poranäytteestä näkee mahdolliset lahoviat ja muut heikot kohdat (kuva 31). Porattu tutkimusreikä kannattaa tukkia esimerkiksi puutapilla tai liimalla, ettei kairausreikään pääse vettä. (Ross, R. 69)



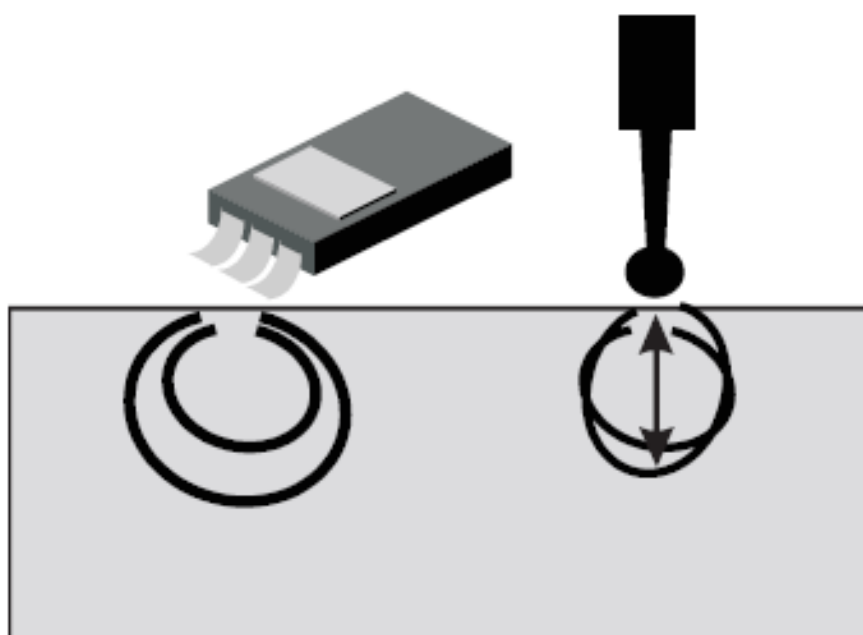
Kuva 31. Kasvukairan porausnäyte lastutikussa (Yleisradio 2015).

Kasvukairan porausnäytteestä näkee puun poikkileikkauksen, josta voi laskea puun iän ja arvioida puun kuntoa. Kasvukairaa käytetään pääsääntöisesti metsänhoitotöissä. (Yleisradio 2015).

3.4.9 Kosteusmittaus

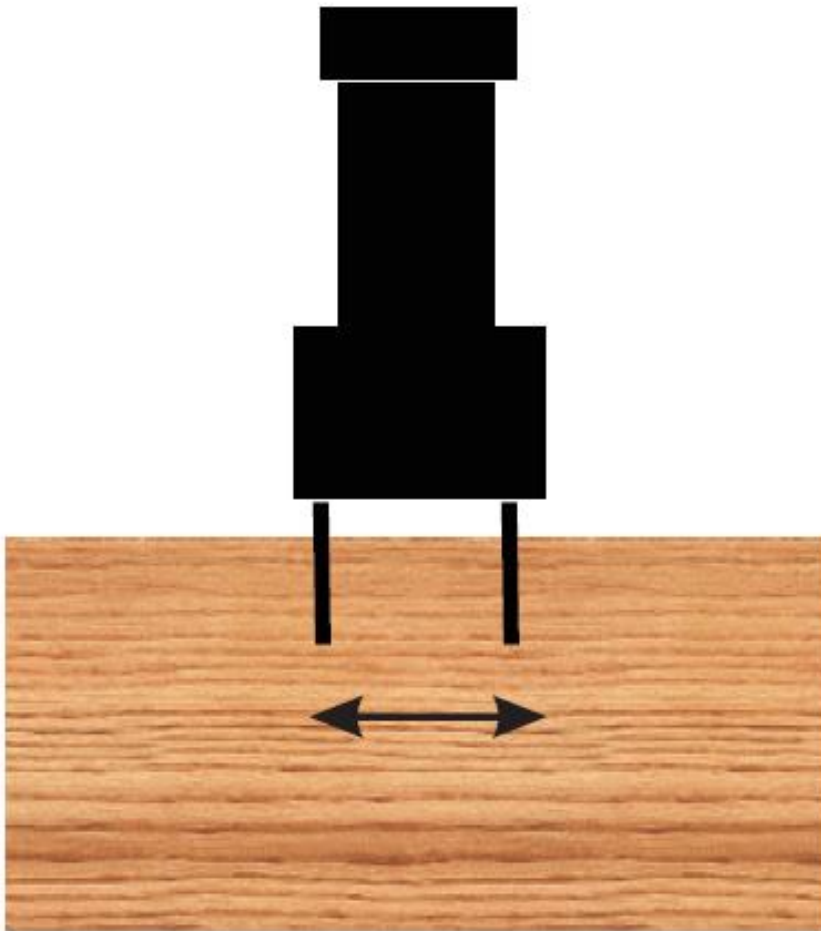
Puulla on kyky luovuttaa ja vastaanottaa kosteutta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaisesti, eli puu on hygroskooppinen materiaali. Puun kosteuspitoisuus ilmoitetaan prosentteina, joka kertoo puussa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Kun puun kosteuspitoisuus on alle 20 % se ei lahoa eikä homehdu. Havupuun kosteuspitoisuus tuoreena on noin 30 %. Rakennuksessa käytettävän runkotavaran kosteuspitoisuus pitää olla alle 24 %. (Puuinfo 2020b.)

Pintakosteusmittari on ainetta rikkomaton menetelmä (kuva 32). Toiminta perustuu materiaalin sähköisten ominaisuuksien muutoksiin. Laitteen käyttö on helppoa, mittarin osoitin viedään mitattavan pinnan päälle ja laite näyttää pinnan kosteuden. Mittari voi reagoida helposti muun muassa rakenteiden pinnan lähellä oleviin vesiputkiin ja sähköjohtoihin. Tämä aiheuttaa aiheettomia kohonneita lukemia. (Rakennustieto 2000, 2–3.)



Kuva 32. Pintakosteusosoittimia (Rakennustieto 2000).

Piikkimittarissa on kaksi piikkiä, jotka työnnetään puuhun (kuva 33). Piikkien suunta on oltava syynmukaisesti ja samassa syyssä. Mittari kertoo puun kosteuden prosentteina. Toiminta perustuu kahden metallipiikin väliseen sähköjohtavuuteen puussa. Tämä menetelmä jättää puuhun pienet jäljet mittapiikeistä. Menetelmä on tarkempi ja enempi puussa käytetty mittaustapa, kuin pintakosteusmittari. Myös tässä menetelmässä eri mittarit antavat eriävät tulokset samasta mittauskohdasta. (Rakennustieto 2000, 2–3).



Kuva 33. Piikkimittari (Rakennustieto 2000).

Piikki- ja pintakosteusmittarit eivät ole täysin luotettavia ja niiden mittatarkkuus ei ole äärimmäisen tarkka. Tulokset ovat suuntaa antavia. Eri mittarit voivat antaa samasta mittauskohdasta eriävät tulokset. Laitteita on helposti saatavilla, hankintahinta on edullinen ja käyttö ei vaadi erikoisosaamista. (Rakennustieto 2000, 2–3.)

3.4.10 Mikroskooppinen tutkimus

Mikroskooppinen tutkimus on ainetta rikkova menetelmä, koska siihen tarvitaan näyte tutkittavasta kappaleesta. Näytteeksi riittää pienikin määrä puuta, esimerkiksi porausnäytteen purut tai puun lastu. Näytteet voi ottaa kuka vaan, mutta itse tutkimukset tekee ammattilainen mikroskoopilla (kuva 34) laboratorioissa, jonne näytteet toimitetaan huolellisesti pakattuna. Tutkimuksella saadaan selville, onko materiaalissa mikrobivaurioita. (Mikrosem 2022.)



Kuva 34. Mikroskooppi (Isvet 2022).

Näytteitä otetaan ongelmakohdista, kun epäillään kosteus tai homevaurioita rakennuksessa. Näytteitä otetaan vain tarvittaessa, lääketieteelliset, juridiset ja purkutoimenpiteiden riittävyden varmistaminen ovat yleisimpiä näytteiden otosyitä. (Mikrosem 2022.)

4 Laskennallinen tarkastelu

4.1 Mitoitusperusteet

Kuntotutkijan täytyy tietää tutkittavan kohteen rakennusvuosi, koska eri vuosikymmenillä on rakentamismääräykset muuttuneet. Puurakentamisen ensimmäiset rakentamismääräykset Suomessa tulivat voimaan 1978. Puurakentamisen määräyksiä Suomessa on uudistettu vuosina 1983, 1990, 2001 ja 2016. Tämänhetkiset määräykset tulevat Eurokoodeista SFS-EN 1995-1-1, SFS-EN 1995-1-2 sekä Eurokoodien kansallisista liitteistä. Lisänä rakentamista Suomessa ohjaa kansalliset liitteet ja määräykset kuten Rakentamismääräyskokoelma (RakMk) 2016, Maankäyttö- ja rakentamislaki. (Ympäristöministeriö 2022.) Lisäksi Suomen Rakentamisinstituutin Liitto RIL ja Puuinfo tuottavat ohjeita, jotka eivät ole velvoittavia, mutta joiden tarkoitus on parantaa rakentamisen laatua ja yhtenäistää käytäntöjä. (Pellikka 2022; Rautiainen 2022.)

Kuormitus aiheuttaa palkille taivutus- ja leikkausrasitusta. Taivutusrasitukseen liittyy myös stabiliteetin menetyksen eli kiepahduksen riski. Palkin kiepahdus esitetään usein sekundäärirakenteella, kuten kattoelementillä tai orsilla. (Puuinfo 2020c.) Pilarirakenteisiin kuormitus aiheuttaa usein samaan aikaan vaikuttavan taivutus- ja puristusrasituksen. Pilarirakenteissa stabiliteetin menetys ilmenee usein nurjahduksena, jota pystytään ehkäisemään tukemalla pilaria heikommassa suunnassa esimerkiksi seinäelementeillä. Jos nurjahdustuentaa ei pystytä toteuttamaan, on valittava niin suuri poikkileikkaus, joka kestää pilariin kohdistuvat rasitukset ilman erillistä nurjahdustuentaa. (Puuinfo 2020d.)

Rungon liimapuurakenteet kuormittuvat usean eri tekijän vaikutuksesta. Pysyvistä kuormista $[G_k]$, jotka muodostuvat esimerkiksi rakenteiden omasta painosta sekä niihin tulevista kiinteistä laitteista. Lisäksi on muuttuvia kuormia $[Q_k]$ kuten hyötykuormat, tuulikuormat, lumikuormat sekä onnettomuuskuormat $[A]$ kuten ulkopuoliset törmäykset ja räjähdykset. (SFS-EN 1990 2006, 58.)

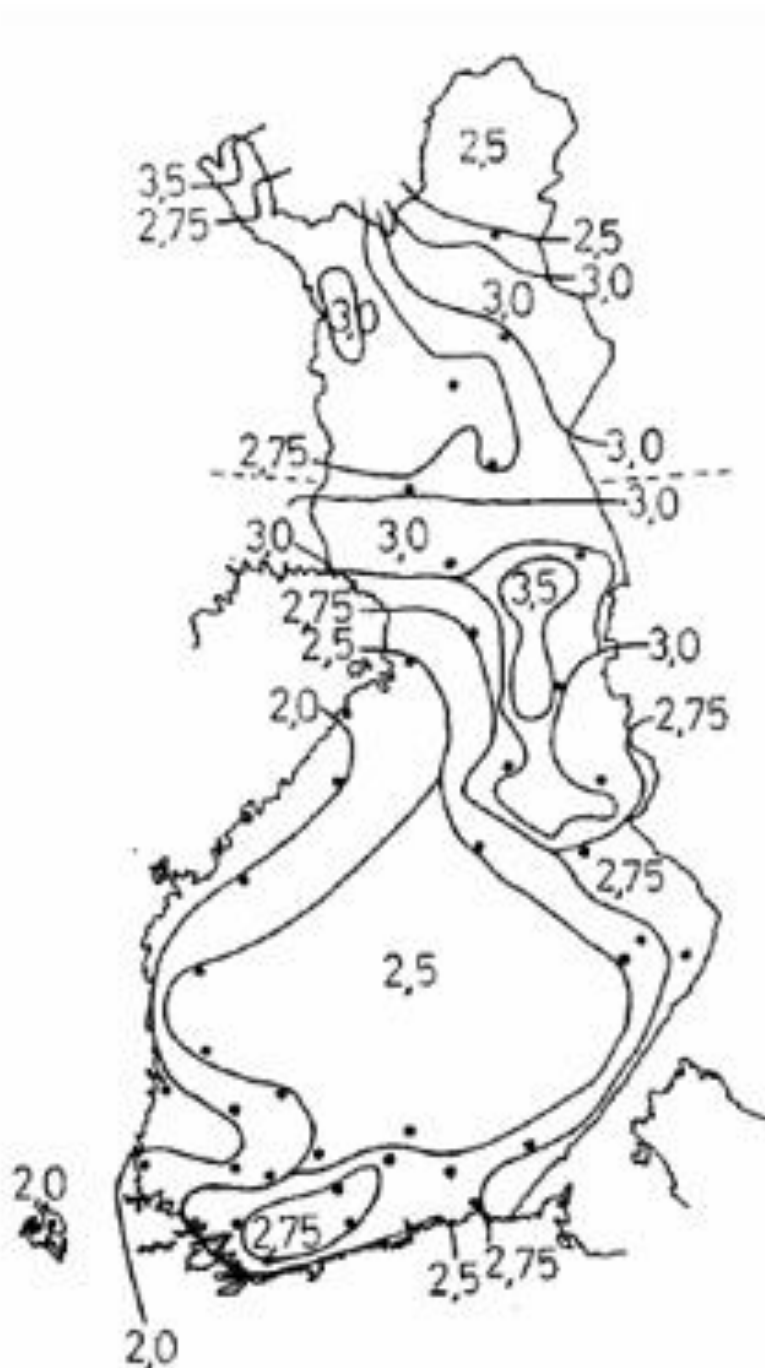
Vuoden 1978 B1 Suomen rakentamismääräyskokoelma määritteli katon lumi-kuorman (kuva 35) mukaisesti. Mikäli tiedettiin rakennuksen sijaitsevan alueella,

jossa lunta on enemmän, kuorman arvoa piti kasvattaa riittävästi. Mikäli taas katto oli riittävän jyrkkä (30–60 astetta), kuorman arvoa oli mahdollista pienentää. Myös jos rakennuksen lämmönhukkakuorma oli suurta, tämä mahdollisti lumikuorman arvon vähennyksen, kuitenkin enintään 85 %. (Sisäasiainministeriö 1978, 3–4.)



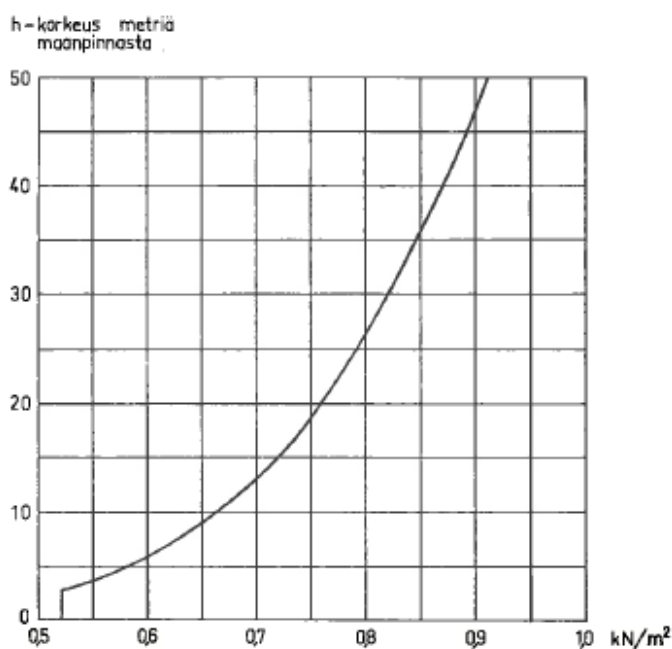
Kuva 35. Lumikuormat katoilla 1978 mukaisesti (Sisäasiainministeriö 1978).

Nykyisin lumikuormat katoilla määritellään eri tavalla. Määrittelyyn tarvitaan lumen ominaisarvo maassa (kuva 36), jonka määrittelee RakMk sekä lumen muotokerroin katolla, jonka määrittelee Eurokoodi SFS-EN 1991-1-3. Näillä tiedoilla saadaan laskettua katon ominaislumikuorma. (SFS-EN 1991-1-3 2015, 22)



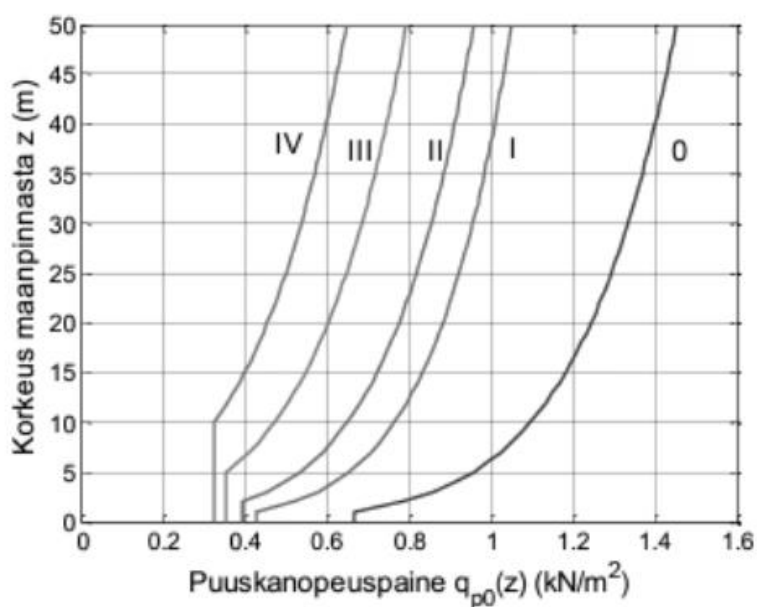
Kuva 36. Lumen ominaisarvot maanpinnalla (Ympäristöministeriö 2019).

Tuulikuormiin vaikuttavia tekijöitä vuonna 1978 oli rakennuksen korkeus sekä leveys. Lisäksi merialueella tuulikuorman arvoa piti kasvattaa 40 %. Mikäli rakennuksen mitat olivat yli 20 metriä, arvoa sai pienentää enintään $0,15 \text{ kN/m}^2$. Kuvan 37 mukaisesti 15 metriä korkean rakennuksen tuulen nopeuspaine $[q_k]$ oli $0,72 \text{ kN/m}^2$. (Sisäasiainministeriö 1978, 4.)



Kuva 37. Tuulen nopeuspaine (Sisäasiainministeriö 1978).

Vastaavasti nykyisin tuulennopeuspainetta ohjaa maastoluokat sekä rakennuksen korkeus (kuva 38). Kovimmillaan tuuli on maastoluokassa 0, joka on merenrantaa. Miedointa tuuli on maastoluokassa IV, joka määritellään kaupungin keskustaksi, jossa rakennuksien keskimääräinen korkeus ylittää 15 metriä. (RIL 201-1-2017, 131, 136.)



Kuva 38. Puuskanopeuspaineet eri maastoluokissa (RIL 2017).

Ennen liimapuun tyyppimerkintänä pohjoismaissa on käytetty L-luokitusta. Nykyisin käytetään Eurokoodin mukaista GL-luokitusta. Aiemmin käytetty L40 liimapuun on lujuusluokaltaan lähinnä nykyistä GL32c liimapuuta. (Suomen Liimapuuyhdistys Ry 2012). Nykyisin käytettyjen liimapuiden ominaislujuudet löytyvät taulukoista 2 ja 3. Liimapuun ominaislujuudet vuodelta 1978 löytyvät taulukosta 4.

Lujuusluokka		L50	L40	L30
Lujuuksia laskettaessa				
Taivutus	f_{bk}	35	29	25
Puristus	f_{ck}	34	27	24
Puristus	$f_{c\perp k}$	5	5	5
Veto	f_{tk}	23	18	17
Veto	$f_{t\perp k}$	0,4	0,4	0,4
Leikkaus	f_{vk}	2	2	2
Leikkaus	$f_{y\perp k}$	1	1	1
Kimmomoduuli	E_k	8 400	6 600	5 400
Liukumoduuli	$G_k = \frac{E_k}{20}$			
Muodonmuutoksia laskettaessa				
Kimmomoduuli	\dot{E}	10 200	8 400	6 600
Kimmomoduuli	\dot{E}_{\perp}	340	280	220
Liukumoduuli	\dot{G}	670	550	430

Taulukko 4. Liimapuun ominaislujuudet B10 vuodelta 1978 (Sisäasiainministeriö 1978).

B1 1978 ohjeistuksen mukaisesti rakenteet on voitu mitoittaa kahdella eri tavalla. Sallittujen jännitysten menetelmällä tai rajatilamenetelmällä. Sallittujen jännitysten menetelmässä ominaiskuormien vaikuttavat jännitykset eivät saa ylittää taulukossa 5 esitettyjä arvoja. Rajatilamenetelmässä rakenteita tarkastellaan murto – ja käyttörajatilassa. Murtorajatilassa kuormien laskennassa käytetään osavarmuuskertoimia, jotka ovat näkyvillä taulukossa 6. Käyttörajatila tarkastelussa käytetään ominaiskuormia. (Sisäasiainministeriö 1978, 1–2.)

Lujuusluokka		L 50	L 40	L 30
taivutus	σ_{bsall}	17	14	12
puristus	σ_{csall}	16	13	11
puristus	$\sigma_{c_{\perp}sall}$	2,5	2,5	2,5
veto	σ_{tsall}	10	9	8
veto	$\sigma_{t_{\perp}sall}$	0,2	0,2	0,2
leikkaus	τ_{sall}	1,0	1,0	1,0
leikkaus	$\tau_{\perp}sall$	0,5	0,5	0,5

Taulukko 5. Liimapuun sallitut jännitykset kosteusluokissa 1 ja 2 [MN/m²] (Sisäasiainministeriö 1978).

Kuorma		Osavarmuuskerroin
Pysyvä kuorma	$g^1)$	1,2 tai 0,9
Yksi muuttuva kuorma joka ei ole lumi- tai tuulikuorma	q_k	1,6
Lumi- tai tuulikuorma	q_k lumi (tuuli)	1,6
Muut muuttuvat kuormat	q_k	0,8

Taulukko 6. Kuormien osavarmuuskertoimet murtorajatilatarkastelussa (Sisäasiainministeriö 1978).

On tärkeää osata huomioida muuttuneet kuormien ominaisarvot sekä mahdolliset muutokset rakennuksen käyttötarkoituksessa. Esimerkiksi B1 1978 Puurakenteiden ohjeistus määrittelee hyötykuorman suuruudeksi 1,5 kN/m² (taulukko 7) ja nykyisin Eurokoodi 1:n kansallisen liitteen mukaisesti vastaava kuorma on 2,0 kN/m². (Sisäasiainministeriö 1978, 3. & SFS-EN 1991-1-1 kansallinen liite, 2019, 5.)

Kuormaryhmä	Kuorman vaikutustapa		
	pinta- kuorma q_k kN/m ²	piste- kuor- ma*) F_k kN	Pinta- kuorman liikkuva osa %
	1	2	3
Oleskelukuorma I	1,5 ¹⁾	1,5	70
— " — II	2,0 ¹⁾	1,5	70
portaat ja käytävät	2,5 ²⁾	2,0	100
Kokoontumiskuorma	2,5	1,5	70
portaat ja käytävät	4,0 ²⁾	2,0	100
Tungoskuorma	4,0	2,0	100
Tavarakuorma:			
varasto- ja tuotantotilat	5,0	20	100
henkilöautojen suojat ja paikoitustasot	2,5	10 ³⁾	100
muut autosuojat ja pai- koitustasot, ajoneuvon kokonaispaino < 4 000 kg	5,0	20	100
katto- ja välitasot, joi- den liikennettä ei ole rajoitettu	10,0	50	100

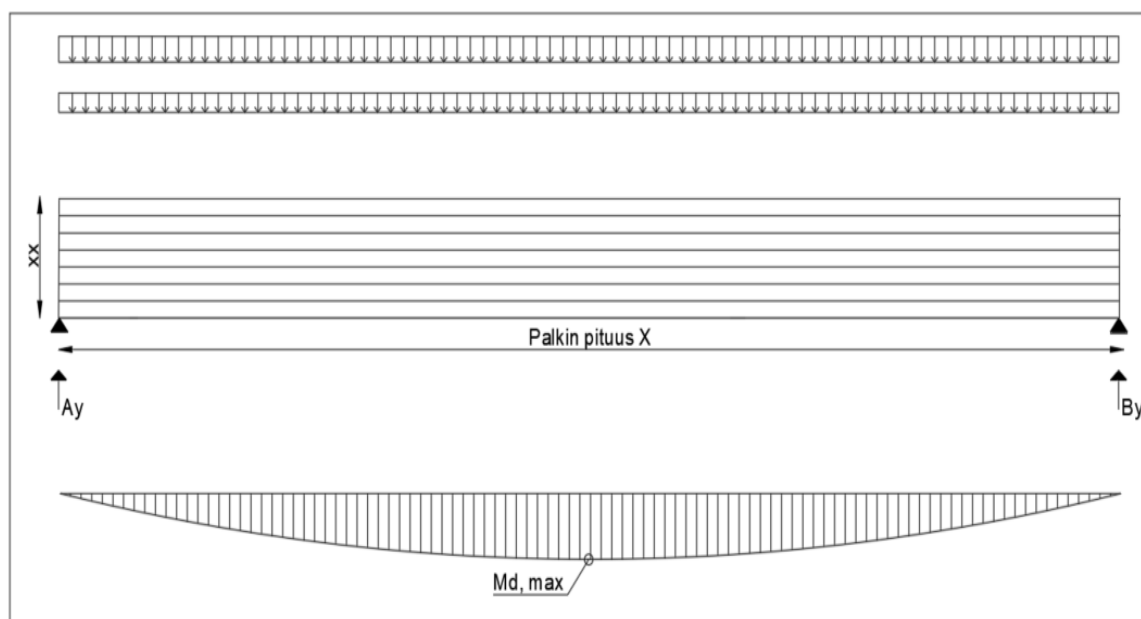
Taulukko 7. Hyötykuormien ominaisarvot (Sisäasiainministeriö 1978).

Vuonna 1978 rakenteiden käyttöluokka jaottelu oli erilainen, kuin nykypäivänä. Käyttöluokkia oli neljä ja niitä kutsuttiin kosteusluokiksi, niissä oli annettu maksimi kosteusprosentti, joita ei ole saanut ylittää. Nykyisin käyttöluokkia on kolme ja rakenteen käyttöluokassa määrätyn maksimi kosteusprosentin saa ylittää muutamana viikkona vuodessa. Liitteessä 4 on nähtävissä kosteus- ja käyttöluokkataulukot.

Esimerkkilaskuissa käytetyt laskentakaavaat ja niissä tarvittavat ominaisarvot löytyvät liitteestä 4. Liitteessä 5 on esitetty esimerkkilaskuja suorakaide liimapuupalkin mitoitustarkasteluun. Materiaalina laskennassa on käytetty L40- ja GL32c-liimapuuta. Laskennat on tehty L40-liimapuulle RakMk B10 1978 mukaisesti ja GL32c-liimapuulle on laskettu SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5 mukaisesti. Lisäksi liitteessä 5 on mitoitustarkastelu GL32c-liimapuupalkille, jossa on oletettu halkeama.

4.2 Tutkimuskohta palkissa

Tutkittavassa palkissa tutkimus keskittyy niihin kohtiin, joissa on staattisesti koivimmat rasitukset. Suurimmat rasitukset kohdentuvat maksimimomentin kohdalle sekä tukien päälle (kuva 39). Lisäksi ripustuskuormat, halkeamat ja muut ulkoiset vauriot aiheuttavat palkille ylimääräistä rasitusta ja ohjaavat tutkimusta kohdentumaan näihin kohtiin. Kuntotutkimuksessa selvitetään materiaalin mekaaniset lujuudet: kimmokerroin, taivutuslujuus, puristuslujuus, vetolujuus ja leikkauslujuus. Tavanomaisia ulkoisia vaurioita ovat esimerkiksi törmäysvauriot ja kuivumisesta johtuva halkeilu sekä kosteuden aiheuttama puun heikentyminen. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, 10–100.)



Kuva 39. Suorakaidepalkin tavanomainen kuormitus (Mukaiillen Puuinfo 2018).

Rasituskuvaajat suorakaidepalkin sekä harjapalkin tavanomaisesta kuormituksesta ovat liitteessä 6. Yksiaukkoisessa suorakaidepalkissa taivutuksen aiheuttama rasitus on suurimmillaan palkin keskellä. Yksiaukkoisessa harjapalkissa suurin rasitus on mitoittavan poikkileikkauksen kohdalla. (Puuinfo 2018a & Puuinfo 2018b.)

5 Liimapuurakenteen kuntotarkastuksen toteutus

5.1 Aistinvaraiset havainnot

Tässä opinnäytetyössä toteutettu kuntotutkimus keskittyy vain kantavien rakenteiden tutkintaan. Aistinvaraisesti pitää huomioida myös ympärillä liittyvät rakenteet. Jos esimerkiksi betoniseinässä on halkeama, on todennäköisesti tapahtunut muodonmuutosta myös sitä ympäröivissä rakenteissa. Mikäli katolla seisoo vesi, voidaan päätellä kattorakenteessa olevan painaumuksia. Tai jos kermissä on reikä, sen kautta tullut vesi on mahdollisesti heikentänyt rakenteita.

Aluksi katselmoitiin kohteen kantavat rakenteet rakennuksen sisäpuolelta aistinvaraisten havaintojen tekemiseksi. Pilarin ja palkin liitos oli tehty pilarin levyisellä vanerilla, eli itse liitoksesta ei juurikaan nähty yhtään mitään (kuva 40). Pilarin alapään liitos on tehty pilarikengällä ja alapää on suojattu kokonaisuudessaan teräksisellä pilarikengällä (kuva 41). Palkeissa oli vain pieniä, kapeita ja lyhyitä halkeamia (kuva 42). Pilareissa ei havaittu muuta, kuin yhdessä pilarissa syysuunnan suuntaisia pitkittäshalkeamia (kuva 43). Rakenteissa havaittiin olevan ripustuskuormia, kuten pakokaasupoistoja sekä öljykeloja (kuva 44). Läpivientejä tai reikiä ei kantavissa rakenteissa havaittu. Poikkeavuuksia liittyvissä rakenteissa ei huomattu. Värimuutoksia, törmäysvaurioita, lahovaurioita, hyönteisiä, hajuja, kosteutta eikä kopoutta havaittu tässä aistinvaraisessa tutkimuksessa.



Kuva 40. Pilarin ja palkin liitos (Keijo Pellikka 2022).



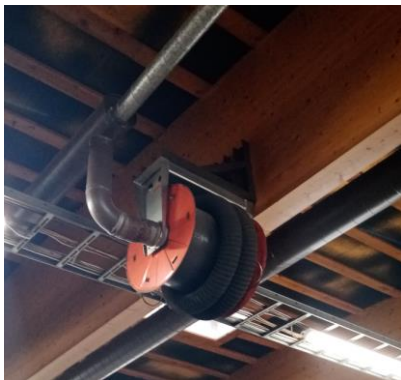
Kuva 41. Pilarin liitos perustukseen (Keijo Pellikka 2022).



Kuva 42. Harjapalkkeja (Heli Rautiainen 2022).



Kuva 43. Pilarin halkeamia (Heli Rautiainen 2022).



Kuva 44. Ripustuskuorma (Keijo Pellikka 2022).

Rakennuksen ulkopuolella oli yksi pilari (kuva 45) ja tämä pilari on säälle alttiissa paikassa, vaikka se onkin katoksen alla (kuva 46). Tässä pilarissa oli selvästi havaittavissa värimuutosta, lahovauriota ja muurahaisia. Ensin palkin lujuutta kokeiltiin sormilla, jolloin sen alareunasta sai jo irtoamaan paloja. Palkin alalaidasta sisältä pystyi sormilla kaivelemaan purua sekä muuta lahonnutta puumateriaalia.



Kuva 45. Pilari ulkona, katoksessa (Keijo Pellikka 2022).



Kuva 46. Pilari ulkona, katoksessa (Keijo Pellikka 2022).

Lahopiikillä pilaria testatessa piikki upposi alareunaan kevyesti painaen kokopi-
tuudeltaan eli noin 12 cm (kuva 47). Testatessa noin 30 cm ylemmää, piikki ei
enää upponnut syvälle puuhun (kuva 48).



Kuva 47. Lahopiikki upotettuna pilariin (Heli Rautiainen 2022).



Kuva 48. Lahopiikki kovassa puussa (Heli Rautiainen 2022).

Tässä kuntotutkimuskohteessa aistinvaraisesti pystyi näkemään kantavat liima-puurakenteet hyvin, koska ne eivät olleet pintarakenteiden sisällä. Kuntotutkittavan rakennuksen sisäkorkeus oli enimmillään 5,08 metriä, joten aistinvaraisesti pystyi näkemään rakenteet kokonaisuudessaan.

5.2 Rakotulkin käyttö

Aistinvaraisissa alkututkimuksessa havaittiin palkeissa pieniä halkeamia. Rakotulkilla selvitettiin satunnaisesti muutamien halkeamien syvyyksiä ja leveyksiä (kuva 49). Ne olivat todella pieniä, sillä niiden pituus noin 20 cm, syvyydeltään noin 2 mm ja leveydeltään noin 1,05 mm.

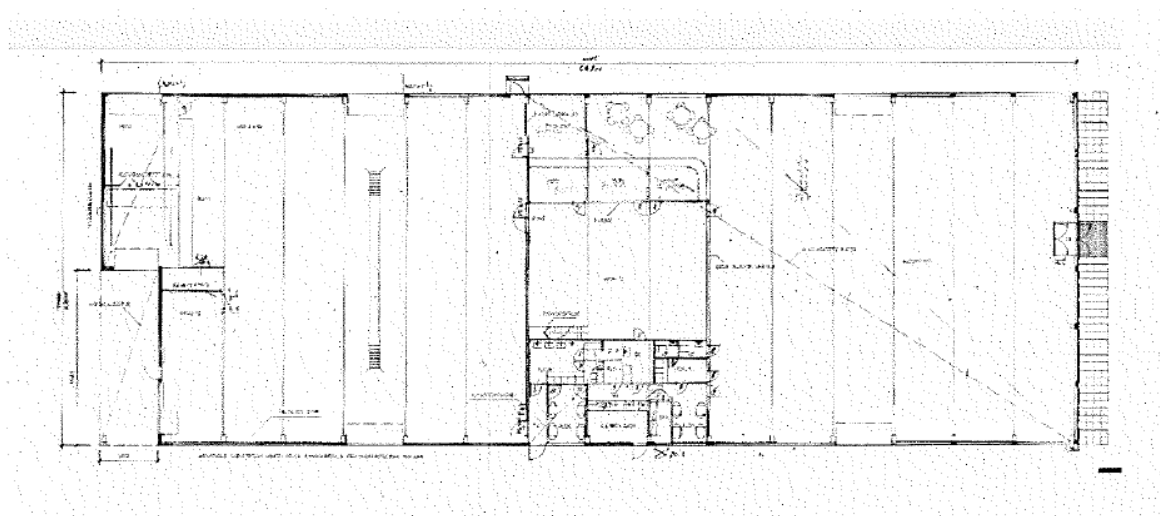


Kuva 49. Rakotulkin käyttö (Heli Rautiainen 2022).

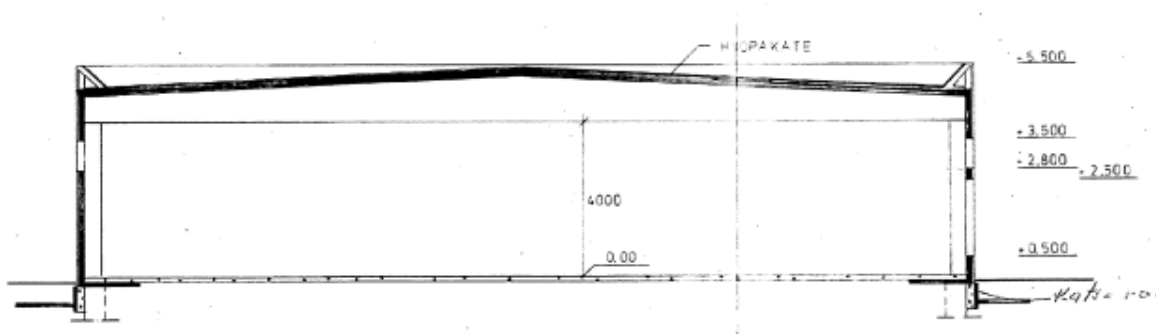
Seuraavaksi tutkittiin sisäpuolella olevaa pilaria, jossa havaittiin olevan muutamia isompia halkeamia. Suurin tutkittu halkeama oli pituudeltaan 141 cm, syvyydeltään 35 mm ja leveydeltään 3 mm. Halkeama sijaitti kapealla sivulla, keskellä pilaria

6 Tutkittava kohde

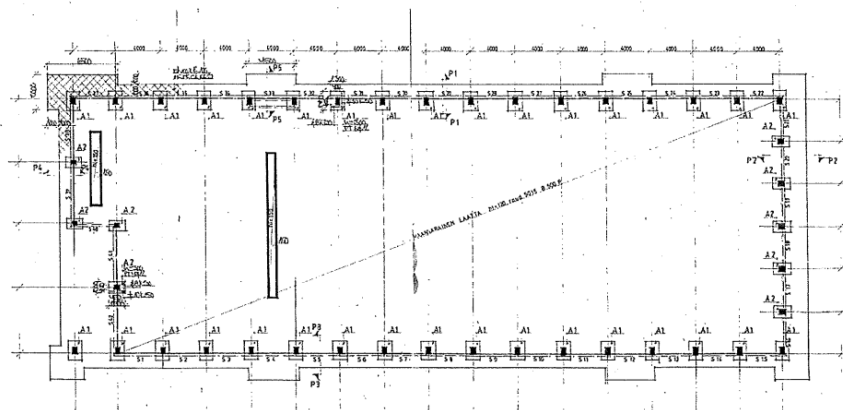
Opinnäytetyön tutkinnallisessa osiossa tutkittu kohde on suunniteltu 1982. Tällöin puurakentamisessa oli voimassa vuoden 1978 Suomen rakentamismääräyskokoelma B10 puurakenteet -ohjeet. Kohde sijaitsee Raatekankaalla Joensuu. Rakennuksen suunniteltu käyttötarkoitus on ollut ja on edelleen myymälä / korjaamo. Rakennus on lämmin ja ympärivuotisessa käytössä. Rakennuksen ulkomitat ovat 23200 x 15800 mm (kuva 50). Hallin rakenne on mastokehä, jossa pilareiden päällä on harjapalkki (kuva 51). Pilareiden mitat ovat 405 x 187 x 3970 mm. Harjapalkkien mitat ovat 1000–1580–1000 x 187 mm, niiden jänneväli on 23200 mm ja kehäjako 4000 mm (kuva 52).



Kuva 50. Rakennuksen pohjakuva (Keskisalo 2022).



Kuva 51. Mastokehä (Keskisalo 2022).



Kuva 52. Kehäjako (Keskisalo 2022).

Alkuperäinen rakennesuunnittelija rakennusarkkitehti Vilho Suonmaa.

Rakennuksen alkuperäinen nimi on ollut Halli Jyrkinen.

7 Tulosten analysointi

Liimapuussa on yleensä aina kuivumishalkeamia, joita ovat noin 10 millimetriä syvät ja pisimmillään yhden metrin pituiset halkeamat. Kuivumishalkeamat ovat vain silmämääräinen haitta rakenteessa, jotka eivät vaikuta rakenteen kantavuuteen. (VTT 2006, 17.)

Palkeissa havaittujen pienten halkeamien todettiin olevan kuivumisesta johtuvia halkeamia. Tutkimuksessa paikan päällä pystyttiin toteamaan, etteivät nämä vaikuta rakenteen lujuuteen. Mitat eivät ylittäneet VTT:n 2006 julkaiseman puurakenteiden halkeilun hallinta oppaassa mainittuja haitallisten halkeamien mитоja. Palkeissa havaitut ripustuskuormat olivat joitakin kymmeniä kilogrammoja, ja tällä ei ole vaikutusta rakenteen kantavuuteen. Palkeissa ei havaittu tarvetta lisätutkimuksille.

Pilareiden halkeamat ovat vaarattomampia, kuin palkkien. Koska pilarit ovat puristettuja rakenteita, vain huomattavan suurilla halkeamilla on haitallisia vaikutuksia kantavuudelle. Suuret halkeamat voivat aiheuttaa pilarille mahdollisuuden nurjautaa. (VTT 2006, 18.)

Sisätilassa tutkittavaksi pilariksi valikoitui käyntioven vieressä oleva pilari, jossa oli havaittavissa pitkä halkeama. Tutkimuksessa selvisi halkeaman olevan siinä määrin vähäinen, ettei ollut tarpeen tehdä jatkotoimenpiteitä. Ulkopuolella katoksessa oleva pilari todettiin aistinvaraisesti sekä jatkotutkimuksissa olevan alapäästään lahovaurioinen. Koska pilarissa todennäköisesti pesii muurahaisia, pystyttiin toteamaan pilarin olleen lahovaurioinen jo pitkän aikaa. Havaittu lahovaurio kasvaa ja laajenee vuosi vuodelta. Koska vaurio on edennyt jo niin pitkälle, tässä tapauksessa sitä ei kannata korjata, koska pilari on niin lyhyt, vaan pilari kannattaa uusia kokonaisuudessaan lähitulevaisuudessa. Mikäli pilari korjattaisiin niin korjaustapana voisi olla pilarinkengitys, jossa lahonnut alaosa katkaistaan pois ja korvataan esimerkiksi vastaavalla liimapuulla, betonilla tai teräksestä tehdyllä metallijalalla.

Rakennuksessa on 17 kehärakennetta, eli 17 harjapalkkia ja 34 liimapuupilaria sekä päätyjen tuuliparit, joita on yhdeksän kappaletta. Aistinvaraisesti katselmoitiin kaikki kantavat rakenteet. Kohteen tulosten luotettavuuden arvioinnissa tultiin johtopäätökseen, että aistinvarainen kuntotutkimus on riittävä, kun liimpuurakenteet ovat olleet hyvissä olosuhteissa kuivissa sisätiloissa.

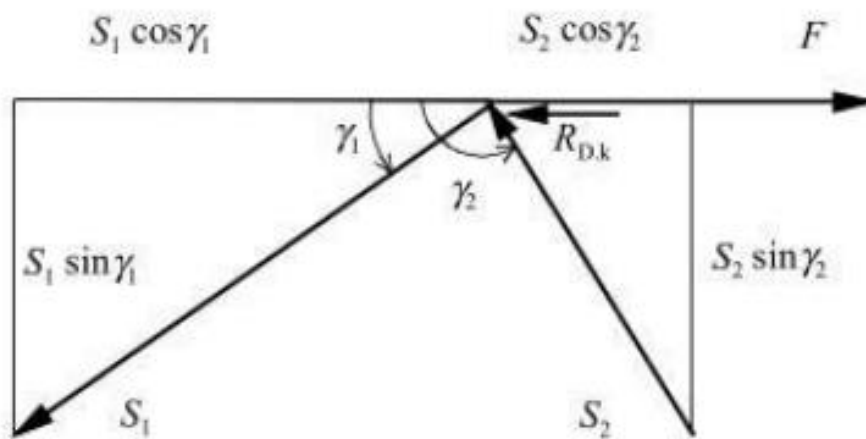
8 Liimpuurakenteen elinkaaren pidentäminen

8.1 Vaurioiden korjaukset

Liimpuurakenne voi säilyä uutta vastaavana kymmeniä vuosia, mikäli olosuhteet ovat optimaaliset. Tämän tutkimuskohteen liimpuurakenteet olivat pääosin hyväkuntoisia. Jos rakenteessa on joitakin kantavuuteen vaikuttavia pieniä vaurioita, niitä voidaan korjata. Tässä opinnäytetyössä kerrotaan muutama yleisesti käytetty korjaustapa, joilla saadaan lisää käyttöikää liimpuurakenteille.

Injektoimalla korjataan auenneita liimasaumoja ja halkeamia, jotka ovat yli 0,5 mm leveitä. Injektointi on halkeaman täyttämistä epoksimassalla. Ensin halkeama puhdistetaan, liimamassa levitetään teknisellä apuvälineellä halkeaman reunasta aloittaen. Lopussa halkeama suljetaan teipillä, jotta massa ei pääse valumaan pois. (Tiehallinto 2005 1–4.)

Vaurioitunutta liimapuukurakennetta voidaan korjata myös vinotangoilla. Vinotankotekniikassa liimapuuhun porataan tarkasti ennalta lasketussa kulmassa reikiä, joihin liimataan toisiinsa kiinnitetyt harjaterästangot. Tarvittavan kapasiteetin mukaan määritellään asennuskulma (kuva 53), joka saadaan matemaattisella kaavalla. (VTT 2006, 19.)



Kuva 53. Vinotankojen toiminta (VTT 2006).

Liimapuukurakenteita voidaan vahvistaa vaneroimalla. Vanerit kiinnitetään liimaamisen lisäksi ruuveilla, jotta liitokseen saadaan riittävä puristus. Liimana käytettävä liimapuukurakenteeseen sopivaa, raot täyttävää epoksi- tai polyuretaaniliimaa. Ruuvina käytetään itseporautuvia, isokantaisia, 4–6 mm paksuisia, rakenteelliseen käyttöön soveltuvia ruuveja. Laskennallinen ruuviväli on seitsemän kertaa vanerin paksuus, mutta ruuviväli ei saa olla yli 150 mm, jotta liimalle saadaan riittävä puristus. (VTT 2006, 20.)

8.2 Uusiokäyttömahdollisuudet

2000-luvulla on ryhdytty entistä tehokkaammin kierrättämään eri rakennusmateriaaleja. Purettavasta rakennuksesta pyritään purkamaan materiaaleja ehjänä ja niitä uusiokäytetään toisissa kohteissa. Näin saadaan rakennuksen hiilijalanjälkeä pienemmäksi ja rakentamista ekologisemmaksi. Liimapuukurakenteita voi ja

kannattaa ottaa uusiokäyttöön, mutta niille on tehtävä riittävät kuntotutkimukset (kuva 54). Liimapuurakenteet voidaan purkaa ehjänä. Monestikin liimapuurakenteen lujuusominaisuudet eivät heikkene, vaikka ne olisivatkin rakennuksen kantavina rakenteina kymmeniä vuosia.



Kuva 54. Liimapuurakenteet vaativat tutkimuksia ennen uusiokäyttöä (Keijo Pellikka).

Liimapuurakenteiden uusiokäytössä täytyy huomioida monia asioita kuten muuttuneet lujuusluokat, aiemmin sisä- ja ulkokäyttöön on ollut eri liimatuotteet, käyttöluokat, pintakäsittely, toleranssit sekä mikrobit. Aiemmistä lujuusluokista L40 vastaa nykyistä GL32c liimapuuta. Sisäkäytössä käytettyä liimapuuta ei voi viedä ulos, koska liima ei kestä kosteutta. Myöskään ulkokäyttöön tarkoitettua liimapuuta ei kannata ottaa sisäkäyttöön, koska olosuhteen muutos voi aiheuttaa halkeilua sekä kieroutumista. Ulkona olleessa rakenteessa voi olla myös mikrobeja. Pitää siis varmistua käytetyn liiman säänkestävyydestä, mikäli

liimapuu on valmistettu ennen vuotta 2001. Vanhoissa liimapuurakenteissa voi olla myrkyllisiä pintakäsittelyjä, esimerkiksi lyijymaalia tai asbestia. Mikäli liimapuurakenne on sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa, sitä ei voi uudelleen käyttää sisärakenteessa. Uusiokäytettävän rakenteen puhtaus tulee varmistaa riittäväillä laboratoriotutkimuksilla. Uusiokäyttöön menevä liimapuu on hyvä merkata leimatodistuksella, jossa kerrotaan muun muassa puun aiemmat vauriot sekä lujuus ja alkuperäinen käyttötarkoitus. Esimerkki leimatodistuksesta liitteessä 7.

Kuvassa 55 on käytöstä purettuja liimapuupalkkeja. Ne ovat menossa uusiokäyttöön. Kuvassa 56 liimapuupalkin pinnoitetta poistetaan. Pinnoitetta voidaan poistaa esimerkiksi hiekka- tai soodapuhaltamalla. Kuvassa 57 sama liimapuupalkki on puhdas ja se on valmis uudelleen käytettäväksi.



Kuva 55. Käytettyjä liimapuupalkkeja (Treslewood 2022).



Kuva 56. Liimapuupalkki puhdistuksessa (Treslewood 2022).



Kuva 57. Liimapuupalkki valmis uudelleen käytettäväksi (Treslewood 2022).

Liimapuuta on helppo muokata, esimerkiksi harjapalkista voidaan tehdä pulpetti- tai suorakaidepalkkeja ja isosta pilarista voidaan halkaisemalla tehdä useita pieniä pilareita. Liimapuulle voidaan saada lisää lujuutta liimaamalla lisää lamelleja ulkopintoihin.

Nykyisin jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon tilojen / rakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet ja käyttötarkoituksen muuttuminen. Tilat suunnitellaan muuntojoustaviksi ja rakenteet niin, että niitä voidaan korjata sekä purkaa tarvittavilta osin.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa liimapuurakenteille kuntotutkimusohjeistus, tämä tavoite toteutui. Opinnäytetyössä kerrotut kuntotutkimusmenetelmät toimivat myös hirsirakentamisen kuntotutkimuksessa. Lisäksi selvitettiin liimapuu materiaalille korjaus- ja uusiokäyttömahdollisuuksia. Kuntotutkimuksen tekemiseen tarvitaan lähtötietokaavake, käyttäjäkysely sekä tarkastuslista kuntotutkimuksen tekijälle. Näiden mallipohjat laadittiin opinnäytetyön liitteeksi.

Opinnäytetyön kirjallisuuskatsaus oli vaivalloinen ja aikaa vievä prosessi verrattuna itse kuntotutkimuksen tekemiseen. Teorian koostaminen oli vaativaa ja lähteiden löytäminen haastavaa, koska Suomessa ei ole juurikaan tehty liimapuurakenteille kuntotutkimuksia, mutta itse kuntotutkimuksen tekeminen oli yllättävän nopea toimenpide. Tehdyssä tutkimuksessa olisi haluttu käyttää enemmän erilaisia teknisiä kuntotutkimusmenetelmiä, mutta käytettyjen kuntotutkimusmenetelmien laajuus jäi suppeaksi tässä tutkimuksessa, koska tutkittavassa kohteessa ei juuri ollut jatkotutkimusta vaativia rakenteita. Tutkimuksessa käytettiin aistinvaraisia havaintoja ja työvälineinä rakotulkkia ja metrimittaa. Rakotulkki huomattiin epätarkaksi mittavälineeksi, koska sillä ei saa täyttä varmuutta raon todellisesta syvyydestä.

Tätä opinnäytetyötä voisi jatkojalostaa tekemällä vastaavat tutkimusohjeet sahatavarakenteille sekä LVL- ja CLT-materiaaleille. Lisäksi ruuvien vetotesteistä voisi tehdä laboratoriossa valmiit vertailuarvot eri liimapuutyypeille.

Opinnäytetyönä liimapuurakenteiden kuntotutkimus oli aiheena mielenkiintoinen ja opettava. Puu materiaalina on kiinnostava ja sillä on pieni hiilijalanjälki. Tämä opinnäytetyö toivottavasti lisää puun käyttöä rakentamisen materiaalina.

Opinnäytetyöprosessin aikana on opittu paljon uusia asioita liimapuusta ja kunnottutkimuksesta. Näistä on hyötyä työelämässä ja mahdollisissa jatko-opinnoissa.

Lähteet

- Dan Edleson. 2019. Growing Over a Heart in Ruin. The Digital Tools that will Restore Notre Dame. <https://medium.com/paper-architecture/growing-over-a-heart-in-ruin-5268554b028a>.29.8.2022.
- Dekra. 2022. Digitaalinen radiografia. Materiaalien radiografinen testaus digitaalisilla detektoreilla. <https://www.dekra.fi/fi/digitaalinen-radiografia/>. 29.8.2022.
- Eddyfi. 2022. Eddyfi. <https://www.eddyfi.com/en/product/mantis-phased-array-inspection>. 29.8.2022.
- Finnish Wood. 2014. HalliPES 1.0. osa 16: Rakennetyypit. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1.0_Osa_16_Rakennetyypit.pdf.15.4.2022.
- FISE. 2022. Rakennuksen kuntoarvioija (PKA). <https://fise.fi/patevyysspalvelu/hae-patevyytta/energia-ja-kuntoasiantuntijat/rakennuksen-kuntoarvioija-pka/>. 29.3.2022.
- Geotrim. 2022. Mikä erottaa laserkeilaimen syvyyskamerasta. <https://geotrim.fi/yritys/blogi/geoslam/mika-erottaa-laserkeilaimen-syvyyskamerasta/>.
- Hydrajaws. 2021. 2000 Model Tester. Operating Instructions.
- Isvet. 2022. Biologian kuvasto. https://www.isvet.fi/ckeditor/plugins/fileman/Uploads/kuvastot%20ja%20tyo-oppaat/BIOLOGIAN_KUVASTO_netti.pdf.26.8.2022.
- Kaiserliches Patentamt. 2006. Otto Hetzer – Pionier des Holzleimbau. Patent wird 100 Jahre alt. <https://www.studiengemeinschaft-holzleimbau.de/publish/binarydata/pdfs/2018/hetzer-100.pdf>. 29.3.2022.
- Keskisalo M. 2022. Projektiasiantuntija. Karelia-ammattikorkeakoulu. Haastattelu 3.5.2022.
- KH 90-00394. 2007. KH-kortti Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Rakennustieto.
- Leica Geosystems. Leica Geosystems. 2022. <https://leica-geosystems.com/>. 24.2.2022.
- Liikenneviraston ohjeita 36/2017. Puusillan laajennetun yleistarkastuksen ohje; Pienet pyöröpuiset sillat.
- Metsälehti. 2020. Hanki kasvukaira. <https://www.metsalehti.fi/kolumnit/hanki-kasvukaira/#d6f58f90>. 20.2.2022.
- Mikrosem. 2022. Kosteus-, home- ym. sisäilmaongelmien tutkiminen. <http://www.kolumbus.fi/mikrosem/kuntoarv.html>. 22.8.2022.
- NDT.net. 2000. Nondestructive Material Testing with Ultrasonics. <https://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke1.htm>. 14.3.2022.
- Pellikka, K. Rakennusinsinööri opiskelija. Karelia-ammattikorkeakoulu. 8.7.2022.
- Puuinfo. 2020c. Rakenteet. Pilari-Palkkirakenteet. Palkiston ja NR-ristikoiden jäykistys. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/palkiston-ja-nr-ristikoiden-jaykistys/>. 15.4.2022.
- Puuinfo. 2008. Puu maatarakentamisessa. Tuotanto- ja varastorakennusten suunnitteluohje.

- Puuinfo. 2009. Puuhallin suunnittelu. Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat. Puuinfo Oy. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/puuhallin-suunnittelu-090202www.pdf>. 15.4.2022.
- Puuinfo. 2018a. Esimerkkilaskelma. Suora liimapuupalkki. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Esimerkkilaskelma_Suora-liimapuupalkki_S.pdf. 30.8.2022.
- Puuinfo. 2018b. Esimerkkilaskelma. Liimapuuharjapalkki. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Esimerkkilaskelma_Liimapuuharjapalkki_S.pdf. 30.8.2022.
- Puuinfo. 2020a. Puutieto / Insinööripuutuotteet / Liimapuu. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/liimapuu-glt/>. 25.8.2022
- Puuinfo. 2020b. Puutieto. Puun ominaisuudet. Kosteustekniset ominaisuudet. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>. 8.4.2022.
- Puuinfo. 2020d. Rakenteet. Pilari-Palkkirakenteet. Rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/rungon-toimintaperiaate/>. 15.4.2022.
- Puuinfo. 2022. Kuvapakki. <http://kuvapakki.puuinfo.fi/node/92>. 29.8.2022.
- Rakennustieto. 2000. Kosteusmittaus. Rakennustieto.
- Rakennustieto. 2022. RT-kortisto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto>. 29.8.2022.
- Rautiainen, H. Rakennusinsinööri opiskelija. Karelia-ammattikorkeakoulu. 8.7.2022.
- ResearchGate. 2022. Figure 10. https://www.researchgate.net/figure/The-Leica-RTC360-laser-scanner-can-be-seen-in-Figure-a-The-scanner-can-also-be-seen_fig6_341778394. 30.8.2022.
- RIL. 2013. Rakennusten kantavien rakenteiden tarkastusmenettely. <http://www.ril.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/ril-tarkastusmenettely-lausuntoversio-4.10.13.pdf>. 25.8.2022.
- RIL. 2017. RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.
- Ross, R. 2022. Condition Assessment of Wood.
- RT 103003. 2019. Asuinkiinteistön kuntoarvio. Rakennustieto.
- RT 103098. 2019. RT-kortti kiinteistön kuntoarvio. Rakennustieto.
- RT 103133. 2019. RT-kortti Rakennuksen laserkeilaus. Rakennustieto.
- SFS-EN 14080. 2013. Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1990 + A1 + AC. 1990. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1991-1-3 kansallinen liite. 2019. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1991-1-3. 2015. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa: 1–3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1995-1-1. 2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa: 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 16810. 2014. Rikkomaton aineenkoetus; Ultraäänitarkastus; Yleisperiaatteet. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.

- SFS-EN ISO 16823. 2014. Rikkomaton aineenkoetus; Ultraäänitarkastus; Lämpäisytekniikka. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- Sisäasiainministeriö. 1978. B10 Puurakenteet ohjeet. <https://ymparisto.fi/download/noname/%7B86CFB97E-1C6B-4034-A1D9-9FFC34ABA9FB%7D/100533>. 28.4.2022.
- Suomen Liimapuu yhdistys Ry ja Puuinfo Oy. 2014. Liimapuukäsikirja osa 1. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/liimapuukasikirja>. 30.1.2022.
- Suomen Liimapuu yhdistys Ry ja Puuinfo Oy. 2015. Liimapuukäsikirja osa 2. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/liimapuukasikirja>. 30.1.2022.
- Suomen Liimapuu yhdistys Ry. 2012. Liimapuun lujuusluokat. https://asiakas.kotisivukone.com/files/liimapuu.kotisivukone.com/tiedostot/liim_puu_gl30_esite_2012.pdf. 28.4.2022.
- Suomen Liimapuu yhdistys Ry. 2018. Liimapuu GL30. <https://www.liimapuu.fi/10.24.2.2022>
- Tiehallinto. 2005. Puurakenteet. Liimapuupalkin halkeaman injektointi. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/SILKO_2431.pdf. 26.8.2022
- Treslewood. 2022. Photo #21561. <http://www.treslewood.com/photo/21561/>. 26.8.2022.
- Treslewood. 2022. Photo #34393. <http://www.treslewood.com/photo/34393/>. 26.8.2022.
- Treslewood. 2022. Photo #61609 - 7x34x48' Glulam Beams. <https://www.treslewood.com/photo/61609/>. 24.8.2022.
- Vidisco. 2022. Digital x-ray systems. https://www.comet-xray.com/XRay2019/media/pdf/case_stories/PXS_EVO_Case_story_Vidisco_v1.pdf. 26.8.2022.
- Vidler, D. & Knowles, D. 2003. Today's Technician: Automotive Engine Performance. Delmar Cengage Learning.
- VTT. 2006. Puurakenteiden halkeilun hallinta, opas. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/VTT_halkeilu_2006.pdf. 30.8.2022.
- White R. & Ross R. 2014. Wood and Timber condition assessment manual Second Edition. Usda.
- Yleisradio. 2015. Puuta on renkaisuun katsominen. <https://yle.fi/uutiset/3-8215250>. 30.8.2022.
- Ympäristöministeriö. 2019. SFS-EN 1991-1-3 kansallinen liite. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Rakenteiden kuormat. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7b5070311E-F267-47BC-A593-AEAA20EA31FE%7d/153592>. 30.8.2022.
- Ympäristöministeriö. 2022. Suomen rakentamismääräyskokoelma. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>. 28.4.2022.

Kuntotutkijan lähtötietokaavake ja muistilista

Päivämäärä:

Kohde:
Osoite:
Omistaja:

Rakennuksen perustietoja:

Rakennuksen mitat:
Rakennusvuosi:
Kerroslukumäärä:
Pääkannattajan tyyppi:
Pääkannattajan kehäjako:
Pääkannattajan korkeus ja leveys:
Pilarin mitat (korkeus,sivumitat):
Liimapuurakenteen lujuusluokka:

	Kyllä
Oletko selvittänyt kuntotutkimuksen syyn?	
Oletko tutustunut asemakaavaan?	
Oletko tutustunut rakennuksen aikakauden rakennusmääräyksiin?	
Oletko tutustunut rakenuspiirrustuksiin?	
Oletko tutustunut LVIS suunnitelmiin?	
Oletko tutustunut RAK suunnitelmiin?	
Oletko tutustunut ARK suunnitelmiin?	
Oletko selvittänyt aiemmat kuntotutkimukset?	
Oletko selvittänyt rakennuksen vikahistorian?	
Oletko selvittänyt korjaus historian?	
Oletko tehnyt käyttäjähaastattelut?	
Oletko selvittänyt muutokset käyttötarkoituksessa?	
Oletko selvittänyt onko jotain vaurioita jo korjattu?	
Olen tutustunut jäykistäviin rakenteisiin	
Olen tutustunut rakenteiden liitoksiin	

Muuta huomioitavaa:

--

Tutkimuksessa tarvittavat tarvikkeet

(x)

Akkuporakone + ruuvauskärjet	
Ilman suhteellisen kosteuden mittari (kalibroitu)	
Jatkojohto	
Kamera	
Kasvukaira	
Kiikarit	
Kirvesmiehenpiikki	
Kosteusmittari	
Käsipistosaha	
Laserkeilain	
Linjalanka	
Lämpömittari	
Metrimitta	
Mikropora	
Muistiinpanovälineet	
Nostin	
Näytepurkki	
Puukko	
Rakennesuunnitelmat	
Rakotulkki	
Ruuvinvetokone	
Röntgen laite	
Sorkkarauta	
Suorakulma	
Tarkastuslomake	
Taskulaskin	
Tikapuut	
Työntömitta	
Ultraäänilaite	
Valasin	
Vasara	
Vatupassi	

Muuta muistettavaa:

Liimapuurakenteiden kuntotutkimuksen käyttäjäkysely

Päivämäärä:

Kiinteistössä suoritetaan liimapuurakenteiden kuntotutkimuksia. Tutkimusten suorittamista varten kysymme mielipidettänne rakenteiden laadusta, sisäilmasta ja mahdollisia havaintoja kosteusvaurioista. Kyselylomaketta käytetään kuntotutkimuksen lähtötietojen keräämiseen. Vastaukset käsitellään luottamuksellisesti. Kyselyä tai tutkimuksia koskevissa kysymyksissä voitte kääntyä _____, puh: _____

Pyydämme palauttamaan kyselyn _____ mennessä osoitteseen _____

Rakennuksen nimi:

Rakennuksen osoite:

Kuinka kauan olette työskennelleet rakennuksessa:

	Kyllä	Ei
Onko rakennuksessa kosteus- tai homevaurioita ?		
Näkyvää hometta, missä?		
Homeen (maakellarin hajua), missä ?		
Kosteita kohtia tai tummentumia, missä?		
Pintarakenteiden irtoamisia, lohkeilua, hilseilyä jne., missä ?		
Huurtuvatko ikkunat talvella?		
Ovatko ikkunat vuotaneet?		
Onko katto on vuotanut?		
Onko ulkoseinät vuotaneet?		
Ovatko putket vuotaneet ? Missä?		
Laittevaurioita (esim. astianpesukone)		
Kosteus on noussut maapohjasta lattiaan/seiniin		
Mistä kosteusvauriot ovat mielestäsi saattaneet johtua?		
Muuta, mitä ?		

Onko rakennuksessa esiintynyt jokin seuraavista ongelmista viimeisen vuoden aikana ?

	Kyllä, jatkuvasti	Kyllä, joskus	Ei / harvoin	En osaa sanoa
Liian korkea huonelämpötila				
Liian matala huonelämpötila				
Vedon tunnetta				
Lattioiden/pintojen kylmyys				
Kuiva ilma				
Kosteaa ilma				
Tunkkainen ilma				
Pölyinen ilma				
Havaittava pöly tai lika (pinnoilla)				
Epämiellyttävä haju, mikä?				
Riittämätön ilmanvaihto				
Oletko havainnut epämääräisiä ääniä? Milloin? (kovaa pauketta, äkillistä pamahdusta)				
Jumittaako ovien toiminta? Milloin?				
Toimiiko nostimet? Onko huono liikkumaan?				
Havaintoja hyönteisistä?				

Mitä korjauksia rakennuksessa on tehty:

Muita huomioita:

Kuntotutkimuksen tarkastuslista

Päivämäärä:

Tekijät:

Rakennuksen taustatiedot:

Rakennuksen nimi:	
Käyntiosoite:	
Rakentamisvuosi:	
Peruskorjausvuodet:	
Kerroslukumäärä:	
Pinta-ala (m ²):	
Rakennustilavuus (m ³):	

	Ulkona	Sisällä	1 m korkeudessa	Katon rajassa
Lämpötila °c :				
kosteus RH % :				

Pääkannattimien yleistiedot ja mitat:

Pääkannattimien lujuusluokka:		
Pääkannattajan tyyppi:	Suorapalkki	Ristikko
	Harjapalkki	Kaari
	Pulpettipalkki	Kehä
	Mahapalkki	Vetotangollinen
Pääkannattajien määrä:	Kehäjako:	
Pääkannattajien tuenta:	Yläreuna:	Alareuna:
Pääkannattajien mitat:	Pituus:	Leveys:
	Korkeus tuella:	Korkeus harjalla:
Pintakäsittely:		
Vastaako suunnitelmaa:	Kyllä / Ei	
Muuta:		
Huomiot ja lisätiedot:		

Pilarien yleistiedot ja mitat:

Pääpilari	Tuulipilari
Lujuusluokka:	Lujuusluokka:
Kappalemäärä:	Kappalemäärä:
Pituus:	Pituus:
Poikkileikkaus (x*):	Poikkileikkaus (x*):
Kiinnitys perustuksiin:	Kiinnitys perustuksiin:
Pintakäsittely:	Pintakäsittely:
Vastaako suunnittelua: Kyllä / Ei	Vastaako suunnittelua: Kyllä / Ei
Muuta:	Muuta:

Rakenteiden kunto:

Aistinvaraiset havainnot:
Värimuutoksia: Kyllä / Ei
Ulkoiset vauriot: Kyllä / Ei
Lahovaurioita: Kyllä / Ei
Ripustuskuormat: Kyllä / Ei
Kosteus: Kyllä / Ei
Pieneliöt: Kyllä / Ei

Kopous: Kyllä / Ei
Aukot / Reiät: Kyllä / Ei
Muodonmuutokset: Kyllä / Ei

Halkeamia:

Sijainti	Syvyys	Leveys	Pituus	Huomiot

Havainnot liitoksissa:
Havainnot ympäröivissä rakenteissa:
Käytetyt kuntotutkimusvälineet:
Muuta yleistä:

Esimerkkilaskuissa käytetyt kaavat ja taulukot

GL32c (Eurokoodi 1995 & Suomen rakentamismääräyskokoelma)

Materiaalin osavarmuusluku γ_m

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara	1,3
Liimapuu	1,25
LVL, vaneri, OSB-lastulevy	1,2
Muu lastulevy	1,3
Kova kuitulevy	1,3
Puolikova kuitulevy	1,3
MDF-levy	1,3
Huokoinen kuitulevy	1,3
Liitokset	1,3
Naulalevyt	1,25
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Muunnoskerroin K_{mod}

Materiaali	Standardi	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuorma	Pitkäaikainen kuorma	Keskipitkä kuorma	Lyhytaikainen kuorma	Hetkellinen kuorma
Sahatavara	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Liimapuu	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan kertymän suuruusluokka
Pysyvä	yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta – 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko – 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

Käyttöluokat

(1)P Rakenteet tulee jaotella käyttöluokkiin siten, että kukin nimetään yhteen seuraavista käyttöluokista:

HUOM. 1 Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu pääasiassa lujuusarvojen jaottelua varten ja määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten.

HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä voidaan esittää tietoja, jotka koskevat rakenteiden jaottelua kohtien (2)P, (3)P ja (4)P mukaisiin käyttöluokkiin.

(2)P Käyttöluokassa 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa.

HUOM. Käyttöluokassa 1 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %.

(3)P Käyttöluokassa 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa.

HUOM. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %.

(4)P Käyttöluokassa 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2.

Virumaluku k_{def}

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lappeellaan, CLT lappeellaan	EN 636, VTT 184/03	0,80	1,00	2,50
OSB-levy	EN 300: OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Lastulevy	EN 312: P4	2,25	-	-
	EN 312: P6	1,50	-	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puolikova kuitulevy	EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

Liimapuun ominaislujuudet ja -jäykkyydet, N/mm², sekä tiheydet, kg/m³

Ominaisuus ^{a)}	Merkintä	Liimapuun lujuusluokka						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Taivutuslujuus	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Vetolujuus	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Puristuslujuus	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Leikkauslujuus (leikkaus ja vääntö)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Poikittainen leikkauslujuus	$f_{r,g,k}$	1,2						
Kimmokerroin	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Liukkerroin	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Poikittainen liukkerroin	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Tiheys ^{b)}	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

a) Tässä taulukossa esitetyt ominaisuudet on laskettu kohdan 5.1.5 mukaisesti taulukossa 2 esitettyjen lamelliasettelujen perusteella. Jos tietyn lujuusluokan eri lamelliaseteluilta saadaan erilaisia ominaisarvoja, tässä esitetään pienin arvo.

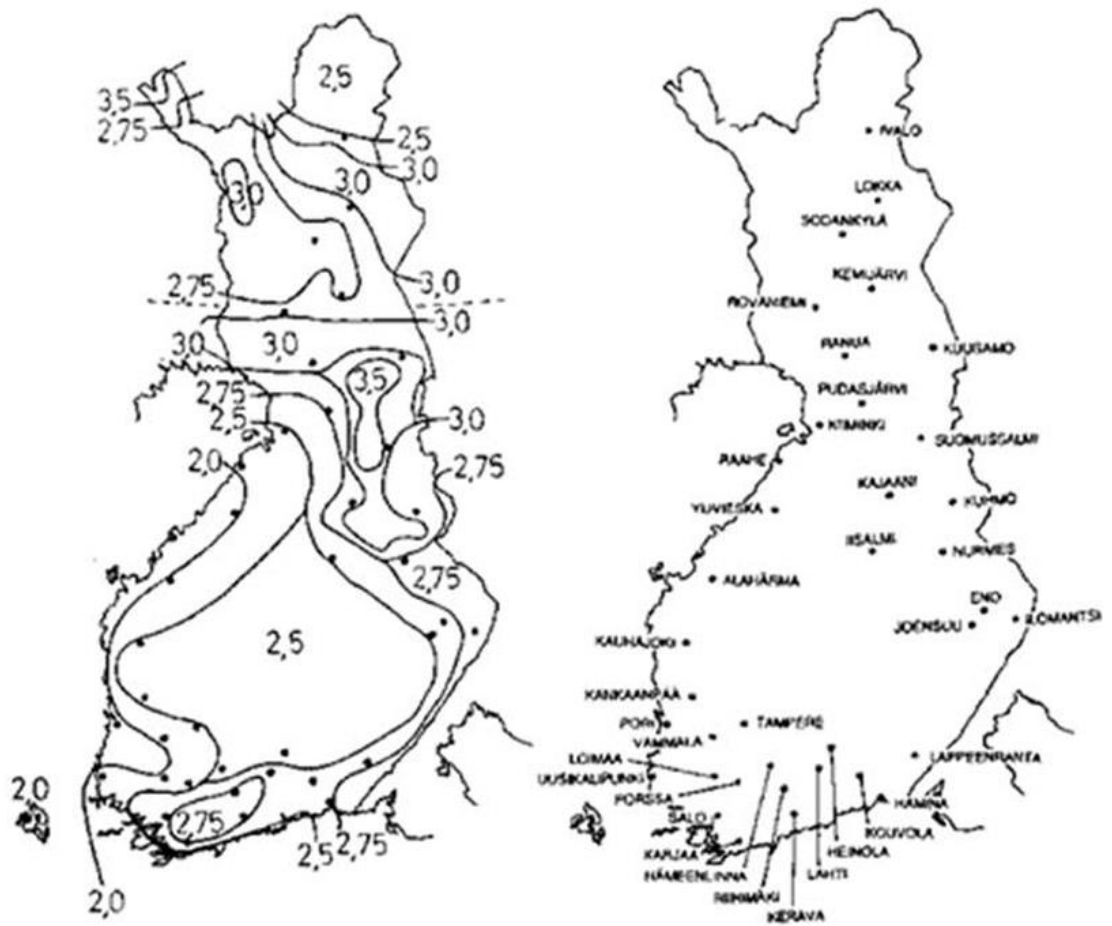
b) Laskettu eri lamellivyöhykkeiden tiheyksien painotettuna keskiarvona, katso kohta 5.1.5.3, viides kappale.

Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot

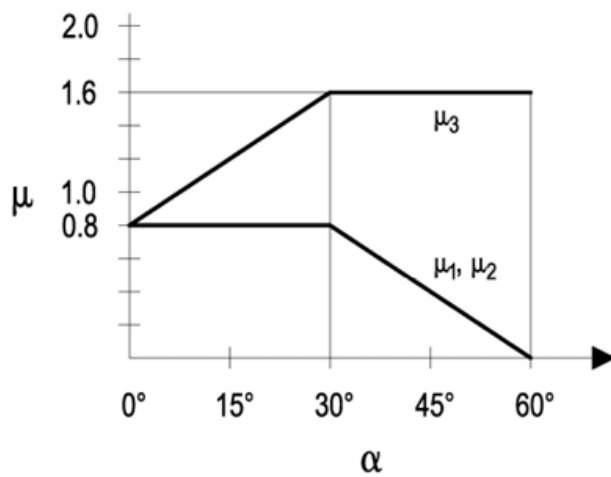
Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A: Asuintilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Luokka B: Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C: Kokoontumistilat				
-C1: Pöytäalueet	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
-C2: Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
-C3: Esteettömät alueet	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
-C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
-C5: Tungokselle alttiit alueet	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D: Myymälätilat				
D1 Tavalliset vähittäiskaupat	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
D2 Tavaratalot	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
Luokka E: Varastotilat				
E1 Tavarain säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0		7,0 (2,0)
Luokka H: Vesikatot ilman hyötykäyttöä	0,4			1,0

* Asunnon sisäiset portaat $Q_k = 1,5$ kN

Lumen ominaisarvot maanpinnalla $kN/m^2, s_k$



Lumikuorman muotokerroin, μ_i



Kattojen ominaislumikuorma q_k

$$q_k = \mu_i s_k$$

Liimapuun K_h taivutus- ja vetolujuuden suurennuskerroin kaava

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

Liimapuupalkin voimakerroin C_f

Sivusuhte d/b									
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Taulukko 2.3 - Voimakerroin c_f huomioiden rakennuksen mittasuhteiden ja hoikkuuden vaikutus. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Hoikkuus λ lasketaan kaavalla (2.13). Sivumitta d on rakennuksen pituus tuulen suunnassa.

Mitoituskuormat

Pysyvä aikaluokka:

$$1,35G_{kj} \quad (2.2)$$

Keskipitkä aikaluokka:

$$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \quad (2.3)$$

Hetkellinen aikaluokka:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \\ 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t} \end{array} \right. \quad (2.4)$$

missä

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi

$Q_{k,2}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi

$Q_{k,t}$ on tuulikuorman ominaisarvo

Taivutuskestävyys:

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} f_{m,y,d} \quad (5.3)$$

Puristetun tai samanaikaisesti taivutetun ja puristetun sauvan tulee täyttää seuraavat mitoitus ehdot:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (5.4)$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.6)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (5.5)$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.7)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ taivutusjännitysten mitoitusarvot kuvan 5.3 mukaisten pääkselien suhteen tapah-
tuksessa taivutuksessa

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ vastaavien taivutuslujuuksien
mitoitusarvoja

k_{crit} kiepahduskerroin (ks. kuva 5.4)

$\sigma_{c,0,d}$ vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{t,0,d}$ vetolujuuden mitoitusarvo

k_m 0,7 sahatavaran, liimapuun ja LVL:n suora-
kaidepoikkileikkauksella ja muussa tapauksessa

$k_m = 1,0$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.8)$$

missä

$\sigma_{c,0,d}$ on syysuuntaisen puristusjännityksen
mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$ on puristuslujuuden mitoitusarvo

$k_{c,y}$ ja $k_{c,z}$ ovat nurjahduskertoimia (ks. kohta 5.5)

Puristussauvan nurjahduspituuksia, kun sauvan pituus on L

Tuentatapa	Nurjahdus- pituus L_c
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. jäykkäkantainen hallin päädyn "tuulipilari")	0,85 L
Sauva on nivelöity molemmista päistään (normaali tapaus)	1,0 L
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a	1,0 a
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	2,5 L

Kiepahduskestävyys:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Leikkauskestävyys:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

missä:

τ_d on leikkausjännityksen mitoitusarvo

$f_{v,d}$ on vallitsevaa tilannetta vastaava leikkauslujuuden mitoitusarvo.

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2b_{ef}h}$$

Taipuma:

Taipumien ja rakennusten vaakasiirtymien enimmäisarvot

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}^{2)}$	$w_{fin}^{3)}$
Pääkannattimet	$\ell/400$	$\ell/300$	$\ell/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$\ell/200^{5)}$	$\ell/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä ⁴⁾	-	$H/300$	-

ℓ on jänneväli
 H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus
¹⁾ Koskee pelkästään lattioita
²⁾ Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia.
³⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita, kuten esimerkiksi kaaret, mahapalkit, saksiristikot, bumerangipalkit.
⁴⁾ Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymän rajoittamista enintään arvoon $H/500$ ylimmän kerroksen lattiatasolla.
⁵⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksenä on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2$ kN ja levyn omapaino.

kokonaistaipuma

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{array} \right. \quad (2.8)$$

missä

k_{def} on virumaluku (ks. taulukko 3.2)

$w_{inst,G}$ on pysyvän kuorman G_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma

$w_{inst,lumi}$ on lumikuorman $Q_{k,l}$ aiheuttama hetkellinen taipuma ja

$w_{inst,hyöty}$ on hyötykuorman $Q_{k,h}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

L40 (Suomen rakentamismääräyskokoelma B10 1978, Puurakenteet)

Liimapuun ominaislujuudet ja -kimmomoduulit sekä keskimääräiset kimmomoduulit aikaluokassa B ja kosteusluokassa 1. (MN/m²)

Lujuusluokka		L50	L40	L30
<u>Lujuuksia laskettaessa</u>				
Taivutus	f_{bk}	35	29	25
Puristus	f_{ck}	34	27	24
Puristus	$f_{c\perp k}$	5	5	5
Veto	f_{tk}	23	18	17
Veto	$f_{t\perp k}$	0,4	0,4	0,4
Leikkaus	f_{vk}	2	2	2
Leikkaus	$f_{v\perp k}$	1	1	1
Kimmomoduuli	E_k	8 400	6 600	5 400
Liukumoduuli $G_k = \frac{E_k}{20}$				
<u>Muodonmuutoksia laskettaessa</u>				
Kimmomoduuli	\bar{E}	10 200	8 400	6 600
Kimmomoduuli	\bar{E}_{\perp}	340	280	220
Liukumoduuli	\bar{G}	670	550	430

Korjauskertoimet eri aika- ja kosteusluokkayhdistelmille aikaluokan B ja kosteusluokan 1 suhteen.

Aika- luokka \ Kosteus- luokka	Lujuuksia laskettaessa						
	1 ja 2	3	4	1	2	3	4
A	0,8	0,65	0,6	0,8	0,7	0,6	0,35
B	1	0,85	0,75	1	1	0,8	0,6
C	1,3	1	0,9	1,3	1,3	1	0,8

Kosteusluokat

Luokka Nimitys	Suhteellisen kosteuden RH kuukausikeskiarvo
1 Sisäkuiva	$RH < 0,6$
2 Ulkokuiva	$0,6 \leq RH < 0,8$
3 Kosteä	$0,8 \leq RH < 0,95$
4 Märkä	$0,95 \leq RH$

Kosteusluokka 1: Kosteusluokkaan 1 kuuluu puurakenteen materiaali, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Kosteusluokkaan 1 luetaan myös lämmöneristekerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisässä.

Kosteusluokka 2: Kosteusluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenteen materiaali. Rakenteen on oltava katetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu.

Kosteusluokka 3: Kosteusluokkaan 3 kuuluu kosteassa tilassa (esim. ulkona säälle alttiina) oleva puumateriaali.

Kosteusluokka 4: Kosteusluokkaan 4 kuuluu veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puumateriaali.

Kuormien aikaluokat

Aikaluokka	Esimerkkejä
A Pitkäaikainen kesto > 1,5 kk	Omapaino Maan- ja vedenpaine Koneet Varastoitu tavara
B Lyhytaikainen	Hyötykuorman pintakuorma Lumikuorma Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormat
C Hetkellinen kesto < 10 h	Tuuli Hyötykuorman pistekuorma $\leq 2 \text{ kN}$ Kaiteeseen vaikuttava kuorma

Taulukossa mainitsemattoman kuorman kuuluessa kahteen tai useampaan aikaluokkaan voidaan kuorma sijoittaa niistä lyhytaikaisimpaan, jos siihen kuuluu yli 25 % kuormasta.

Kuormitusyhdistelmän käsittäessä kestoiltaan erilaisia kuormia valitaan kuormitusyhdistelmän aikaluokaksi vaikutusajaltaan lyhimmän kuorman aikaluokka.

Taivutuskapasiteetin vähennyskerroin C_F

Liimapuupalkin korkeuden ylittäessä 300 mm vähennetään taivutuskapasiteettia kertoimella C_F .

$$C_F = \left(\frac{300}{h} \right)^{1/9}, \text{ jossa } h = \text{palkin korkeus (mm).}$$

h (mm)	300	600	1 000	1 500	2 000
C_F	1,0	0,93	0,87	0,84	0,81

Kiepahdus

5.1.2 Kiepahdus

Suoran poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen taivutetun palkin kiepahdus otetaan huomioon kertomalla laskentalujuus kertoimella k_k , joka saadaan taulukosta 5.2 α_k :n funktiona. Taulukon 5.2 apusuure α_k saadaan kaavasta (5.3).

Taulukko 5.2.

Kiepahduskertoimen k_k riippuvuus apusuuresta α_k

$\alpha_k < 0,75$	$k_k = 1$
$0,75 \leq \alpha_k < 1,4$	$k_k = 1,96 - 0,75 \alpha_k$
$1,4 \leq \alpha_k$	$k_k = 1/\alpha_k^2$

$$\alpha_k = \frac{k_{k1} \sqrt{h \cdot L_k}}{b} \quad (5.3)$$


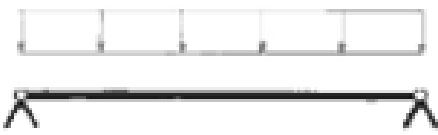
jonka kerroin k_{k1} saadaan eri kuormitus- ja tuenta-tapauksille taulukosta 5.3 ja jossa L_k on palkin kiertymisen estävien sivutukien väli.

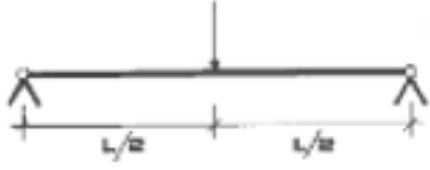
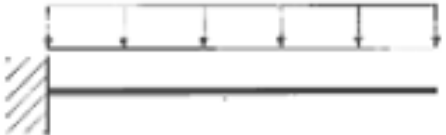


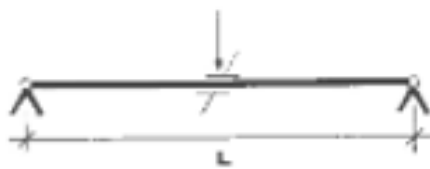
K-kerroin

Kaavan (5.2) k-kerroin

L (mm)	15	30	50	100	150
k	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0

K_{kt} -kerroin*Kaavan (5.3) k_{kt1} -kerroin*

Kuormitus- ja tuentatapaukset	k _{kt1}
	0,075
	0,070

Kuormitus- ja tuentatapaukset	k _{kt1}
	0,065
	0,050
	0,065
	0,045
	0,040

Sallittujen jännitysten menetelmä

Liimapuun sallitut jännitykset kosteusluokissa 1 ja 2. Yksikkö MN/m²

Lujuusluokka		L 50	L 40	L 30
taivutus	σ_{bsall}	17	14	12
puristus	σ_{csall}	16	13	11
puristus	$\sigma_{c\perp sall}$	2,5	2,5	2,5
veto	σ_{tsall}	10	9	8
veto	$\sigma_{t\perp sall}$	0,2	0,2	0,2
leikkaus	τ_{sall}	1,0	1,0	1,0
leikkaus	$\tau_{\perp sall}$	0,5	0,5	0,5

Liimapuupalkin korkeuden ylittäessä 300 mm vähennetään sallittua taivutusjännitystä kertoimella

$$C_F = \left(\frac{300}{h}\right)^{1/9}, \text{ jossa } h = \text{palkin korkeus (mm)}.$$

h (mm)	300	600	1000	1500	2000
C_F	1,0	0,93	0,87	0,84	0,81

Suorakaideliimapuupalkin esimerkkilaskennat

SUORAKAIDE LIIMAPUUPALKKI GL32c		$kNm := kN \cdot m$
Lähtötiedot	Materiaaliominaisuudet	
Lujuusluokka: GL32c	$\gamma_m := 1.25$	$G_{mean} := 650 \text{ MPa}$
Käyttöluokka: 1	$k_{mod} := 0.8$	$E_{0.05} := 11200 \text{ MPa}$
	$k_{def} := 0.6$	$f_{v,k} := 3.50 \text{ MPa}$
	$k_h := 1.00$	
	$f_{m,y,k} := 32.00 \text{ MPa}$	
	$f_{c,90,k} := 2.50 \text{ MPa}$	$E_{0,mean} := 13500 \text{ MPa}$
Palkkijako:	$k_{palkkijako} := 8000 \text{ mm}$	
Jänneväli:	$L_{palkki} := 20000 \text{ mm}$	
Palkin poikkileikkaus:	$b := 240 \text{ mm}$	$h := 1665 \text{ mm}$
Tukijako Y-suunnassa:	$a := 2500 \text{ mm}$	
Esikorotus L/400:	$W_c := \frac{L_{palkki}}{400} = 50 \text{ mm}$	
Puun omapaino:	$\gamma_{puu} := 5 \frac{kN}{m^3}$	
Lumikuorma Joensuu:	$s_k := 2.6 \frac{kN}{m^2}$	$\mu_1 := 0.8$
Kattorakenteen omapaino:	$g_{k,1} := 0.9 \frac{kN}{m^2}$	
Ripustuskuorma:	$g_{k,2} := 0.1 \frac{kN}{m^2}$	
Palkin omapaino:	$g_{k,palkki} := \frac{b \cdot h \cdot L_{palkki} \cdot \gamma_{puu}}{L_{palkki}} = 1.998 \frac{kN}{m}$	
Lumikuorma katolla:	$q_k := s_k \cdot \mu_1 = 2.08 \frac{kN}{m^2}$	
Rasitukset		
	$g_k := k_{palkkijako} \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + g_{k,palkki} = 9.998 \frac{kN}{m}$	
	$q_k := k_{palkkijako} \cdot q_k = 16.64 \frac{kN}{m}$	
	$P_{ed} := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 36.458 \frac{kN}{m}$	

Taivutuskestävyys

$$M_{d,max} := \frac{P_{ed} \cdot L_{palkki}^2}{8} = 1822.885 \text{ kNm}$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 110889000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 16.439 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,y,k} = 20.48 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d} \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 80.268\% \quad \text{OK, kestäää}$$

Kiepahduskestävyys

$$L_{ef,y} := a + 2 \cdot h = 5.83 \text{ m} \quad c := 0.7$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 46.522 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.829$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} = 0.938$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 16.439 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,y,k} = 20.48 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} < k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = 85.576\% \quad \text{OK, kestäää}$$

+

Leikkauskestävyys palkin päässä (V_{d,mit})

$$V_{d,max} := \frac{1}{2} \cdot L_{palkki} \cdot P_{ed} = 364.577 \text{ kN}$$

$$V_{d,mit} := \frac{1}{2} \cdot (L_{palkki} - 2 \cdot h) \cdot P_{ed} = 303.875 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1$$

$$A := k_{cr} \cdot b \cdot h = 399600 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,mit}}{A} = 1.141 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{v,k} = 2.24 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \tau_d < f_{v,d} \quad \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 50.923\%$$

OK, kestää

Taipuma palkin keskellä

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 92315092500 \text{ mm}^4$$

Momentin aiheuttaman taipuma

$$W_{inst.M.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L_{palkki}^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = 16.713 \text{ mm}$$

$$W_{inst.M.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L_{palkki}^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = 27.817 \text{ mm}$$

Leikkausvoiman aiheuttaman taipuma

$$W_{inst.V.G} := \frac{3}{20} \cdot \frac{g_k \cdot L_{palkki}^2}{G_{mean} \cdot A} = 2.31 \text{ mm}$$

$$W_{inst.V.Q} := \frac{3}{20} \cdot \frac{q_k \cdot L_{palkki}^2}{G_{mean} \cdot A} = 3.844 \text{ mm} \quad \psi_2 := 0.2$$

$$W_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot (W_{inst.M.G} + W_{inst.V.G}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot (W_{inst.M.Q} + W_{inst.V.Q}) = 65.897 \text{ mm}$$

$$\text{EHTO : } W_{fin} < L/200 \quad \frac{W_{fin}}{\frac{L_{palkki}}{200}} = 65.897\%$$

$$W_{net,fin} := W_{fin} - W_c = 15.897 \text{ mm}$$

SUORAKAIDE LIIMAPUUPALKKI L40 $kNm := kN \cdot m$ **Lähtötiedot**

Lujuusluokka: L40

Käyttöluokka: 1

 $F_{bt} := 29 \text{ MPa}$ $F_{ctk} := 5$ **Materiaaliominaisuudet** $\gamma_m := 1.3$ $k_{mod} := 0.8$ $k_{def} := 0.6$ $k_h := 1.00$ $f_{m,y,k} := 29.00 \text{ MPa}$ $f_{c,90,k} := 5 \text{ MPa}$ $G_k \quad G_{mean} := 330 \text{ MPa}$ $E_{0.05} := 6600 \text{ MPa}$ $f_{v,k} := 2 \text{ MPa}$ $E_{0,mean} := 6600 \text{ MPa}$

Palkkijako:

Jänneväli:

Palkin poikkileikkaus:

Tukijako Y-suunnassa:

 $k_{palkkijako} := 8000 \text{ mm}$ $L_{palkki} := 20000 \text{ mm}$ $b := 240 \text{ mm}$ $h := 1665 \text{ mm}$ $a := 2500 \text{ mm}$

Esikorotus L/400:

 $W_c := \frac{L_{palkki}}{300} = 66.667 \text{ mm}$

Puun omapaino:

 $\gamma_{puu} := 5 \frac{kN}{m^3}$

Lumikuorma Joensuu:

 $s_k := 1.8 \frac{kN}{m^2} \quad \mu_1 := 1$

Kattorakenteen omapaino:

 $g_{k,1} := 0.9 \frac{kN}{m^2}$

Ripustuskuorma:

 $g_{k,2} := 0.1 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino:

 $g_{k,palkki} := \frac{b \cdot h \cdot L_{palkki} \cdot \gamma_{puu}}{L_{palkki}} = 1.998 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma katolla:

 $q_k := s_k \cdot \mu_1 = 1.8 \frac{kN}{m^2}$ **Rasitukset** $g_k := k_{palkkijako} \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + g_{k,palkki} = 9.998 \frac{kN}{m}$ $q_k := k_{palkkijako} \cdot q_k = 14.4 \frac{kN}{m}$ $P_{ed} := g_k + q_k = 24.398 \frac{kN}{m}$

Taivutuskestävyys

$$M_{d,max} := \frac{P_{ed} \cdot L_{palkki}^2}{8} = 1219.9 \text{ kNm}$$

$$c_f := \left(\frac{300}{1665} \right)^{\frac{1}{9}} = 0.827$$

$$\sigma_{b,sall.} := 14 \text{ MPa}$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 110889000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 11.001 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} <^* c_f^* f_{m,y,d}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{c_f \cdot \sigma_{b,sall.}} = 95.062\%$$

OK, kestää

Kiepahduskestävyys

$$L_{ef,y} := a + 2 \cdot h = 5.83 \text{ m}$$

$$L_k := a$$

$$c := 0.7$$

$$k_{k1} := 0.070$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 27.415 \text{ MPa}$$

$$a_k := \frac{k_{k1}}{b} \cdot \sqrt{h \cdot L_k} = 0.595 \quad k_k := 1$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 11.001 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} := \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_m} = 22.308 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} < k_k \cdot f_{m,y,d}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_k \cdot f_{m,y,d}} = 49.315\%$$

OK, kestää

Leikkauskestävyys palkin päässä (Vd,mit)

$$V_{d,max.} := \frac{1}{2} \cdot L_{palkki} \cdot P_{ed} = 243.98 \text{ kN}$$

$$V_{d,mit} := \frac{1}{2} \cdot (L_{palkki} - 2 \cdot h) \cdot P_{ed} = 203.357 \text{ kN}$$

$$A := k_{cr} \cdot b \cdot h = 399600 \text{ mm}^2$$

$$k_{cr} := 1$$

$$\tau_{sall.} := 1 \text{ MPa}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.mit}}{A} = 0.763 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \tau_d < \tau_{sall.} \quad \frac{\tau_d}{\tau_{sall.}} = 76.335\% \quad \text{OK, kestää}$$

Taipuma palkin keskellä

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 92315092500 \text{ mm}^4$$

Momentin aiheuttaman taipuma

$$W_{inst.M.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L_{palkki}^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} = 34.187 \text{ mm}$$

$$W_{inst.M.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L_{palkki}^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} = 49.238 \text{ mm}$$

Leikkausvoiman aiheuttaman taipuma

$$W_{inst.V.G} := \frac{3}{20} \cdot \frac{g_k \cdot L_{palkki}^2}{G_{mean} \cdot A} = 4.549 \text{ mm}$$

$$W_{inst.V.Q} := \frac{3}{20} \cdot \frac{q_k \cdot L_{palkki}^2}{G_{mean} \cdot A} = 6.552 \text{ mm} \quad \psi_2 := 0.2$$

$$W_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot (W_{inst.M.G} + W_{inst.V.G}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot (W_{inst.M.Q} + W_{inst.V.Q}) = 124.46 \text{ mm}$$

$$\text{EHTO : } W_{fin} < L/200 \quad \frac{W_{fin}}{\frac{L_{palkki}}{200}} = 124.462\%$$

$$W_{net.fin} := W_{fin} - W_c = 57.796 \text{ mm}$$

SUORAKAIDE LIIMAPUUPALKKI GL32c halkeamalla

$$kNm := kN \cdot m$$

Lähtötiedot

Lujuusluokka: GL32c

Käyttöluokka: 1

Materiaaliominaisuudet

$$\gamma_m := 1.25$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$k_{def} := 0.6$$

$$k_h := 1.00$$

$$f_{m,y,k} := 32.00 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} := 2.50 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} := 650 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} := 11200 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} := 3.50 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} := 13500 \text{ MPa}$$

Palkkijako:

$$k_{palkkijako} := 8000 \text{ mm}$$

Jänneväli:

$$L_{palkki} := 20000 \text{ mm}$$

Palkin poikkileikkaus:

$$b := 240 \text{ mm} \quad h := 1665 \text{ mm}$$

Tukijako Y-suunnassa:

$$a := 2500 \text{ mm}$$

Esikorotus L/400:

$$W_c := \frac{L_{palkki}}{400} = 50 \text{ mm}$$

Puun omapaino:

$$\gamma_{puu} := 5 \frac{kN}{m^3}$$

Lumikuorma Joensuu:

$$s_k := 2.6 \frac{kN}{m^2} \quad \mu_1 := 0.8$$

Kattorakenteen omapaino:

$$g_{k,1} := 0.9 \frac{kN}{m^2}$$

Ripustuskuorma:

$$g_{k,2} := 0.1 \frac{kN}{m^2}$$

Palkin omapaino:

$$g_{k,palkki} := \frac{b \cdot h \cdot L_{palkki} \cdot \gamma_{puu}}{L_{palkki}} = 1.998 \frac{kN}{m}$$

Lumikuorma katolla:

$$q_k := s_k \cdot \mu_1 = 2.08 \frac{kN}{m^2}$$

Rasitukset

$$g_k := k_{palkkijako} \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + g_{k,palkki} = 9.998 \frac{kN}{m}$$

$$q_k := k_{palkkijako} \cdot q_k = 16.64 \frac{kN}{m}$$

$$P_{ed} := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 36.458 \frac{kN}{m}$$

Taivutuskestävyys

$$M_{d,max} := \frac{P_{ed} \cdot L_{palkki}^2}{8} = 1822.885 \text{ kNm}$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 110889000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 16.439 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,y,k} = 20.48 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d} \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 80.268\% \quad \text{OK, kestää}$$

Kiepahduskestävyys

$$L_{ef,y} := a + 2 \cdot h = 5.83 \text{ m} \quad c := 0.7$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 46.522 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.829$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} = 0.938$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{d,max}}{W_y} = 16.439 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,y,k} = 20.48 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \sigma_{m,y,d} < k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = 85.576\% \quad \text{OK, kestää}$$

Leikkauskestävyys palkin päässä (V_{d,mit})

$$V_{d,max} := \frac{1}{2} \cdot L_{palkki} \cdot P_{ed} = 364.577 \text{ kN}$$

$$V_{d,mit} := \frac{1}{2} \cdot (L_{palkki} - 2 \cdot h) \cdot P_{ed} = 303.875 \text{ kN}$$

$$h_{\text{syvyys_halkeama}} := 60 \text{ mm} = 0.06 \text{ m}$$

$$k_{cr} := 1$$

$$\text{Halkeaman}_{\text{osuus.prosentteina}} := \frac{1}{b} \cdot h_{\text{syvyys_halkeama}} = 25\%$$

Jos 240 palkissa olisi 60 mm syvä halkeama, joka ylittyy 1/4 palkin syvyyteen. Kapasiteetista olisi poissa 25 %

$$k_{cr_halkeama} := k_{cr} - \text{Halkeaman}_{\text{osuus.prosentteina}} = 0.75$$

$$A := k_{cr_halkeama} \cdot b \cdot h = 299700 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,\text{mit}}}{A} = 1.521 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} := \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} \cdot f_{v,k} = 2.24 \text{ MPa}$$

$$\text{EHTO : } \tau_d < f_{v,d} \quad \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 67.897\%$$

OK, kestää

Taipuma palkin keskellä

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 92315092500 \text{ mm}^4$$

+

Momentin aiheuttaman taipuma

$$W_{\text{inst.M.G}} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L_{\text{palkki}}^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I_y} = 16.713 \text{ mm}$$

$$W_{\text{inst.M.Q}} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L_{\text{palkki}}^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I_y} = 27.817 \text{ mm}$$

Leikkausvoiman aiheuttaman taipuma

$$W_{\text{inst.V.G}} := \frac{3}{20} \cdot \frac{g_k \cdot L_{\text{palkki}}^2}{G_{\text{mean}} \cdot A} = 3.079 \text{ mm}$$

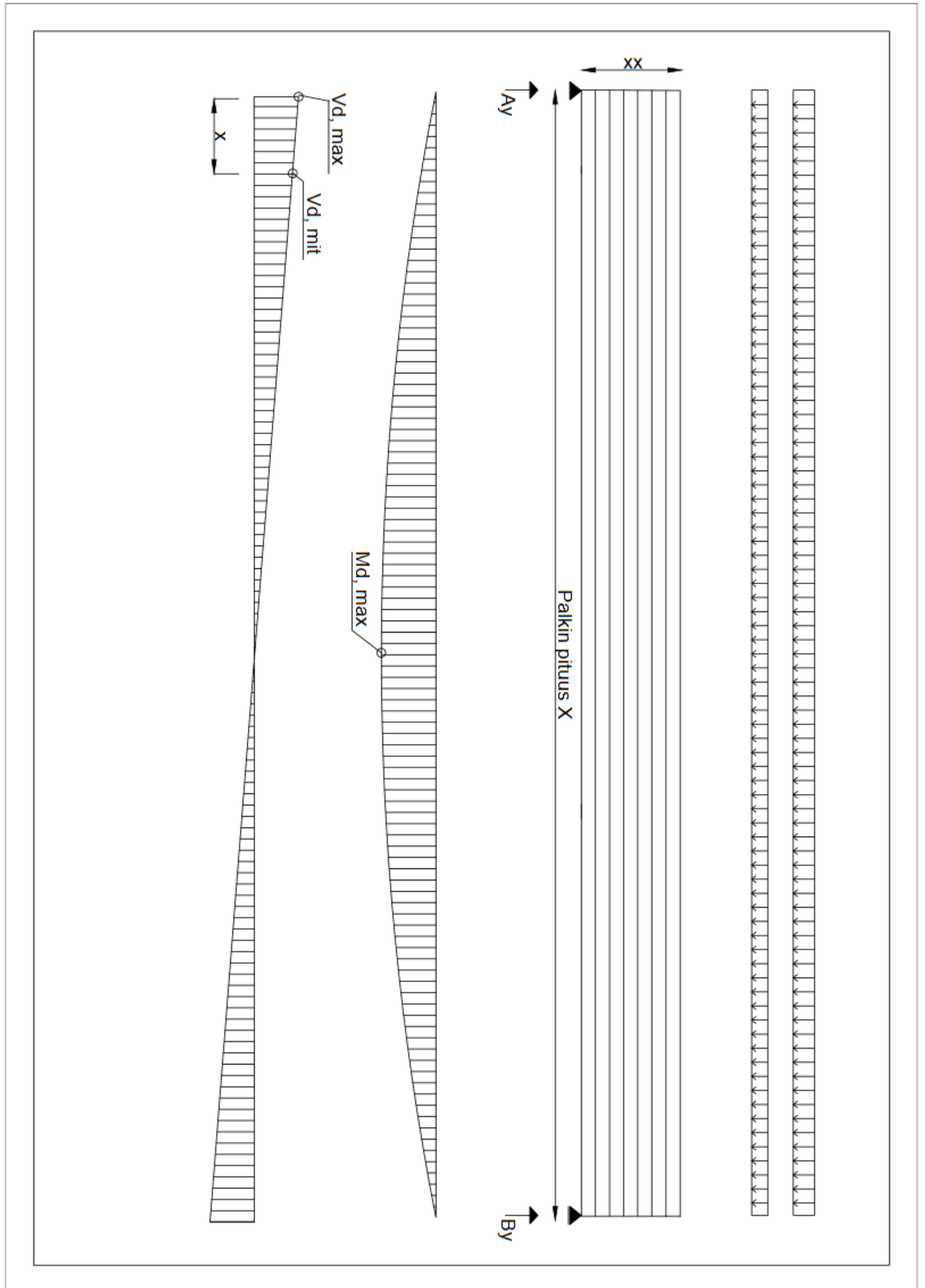
$$W_{\text{inst.V.Q}} := \frac{3}{20} \cdot \frac{q_k \cdot L_{\text{palkki}}^2}{G_{\text{mean}} \cdot A} = 5.125 \text{ mm} \quad \psi_2 := 0.2$$

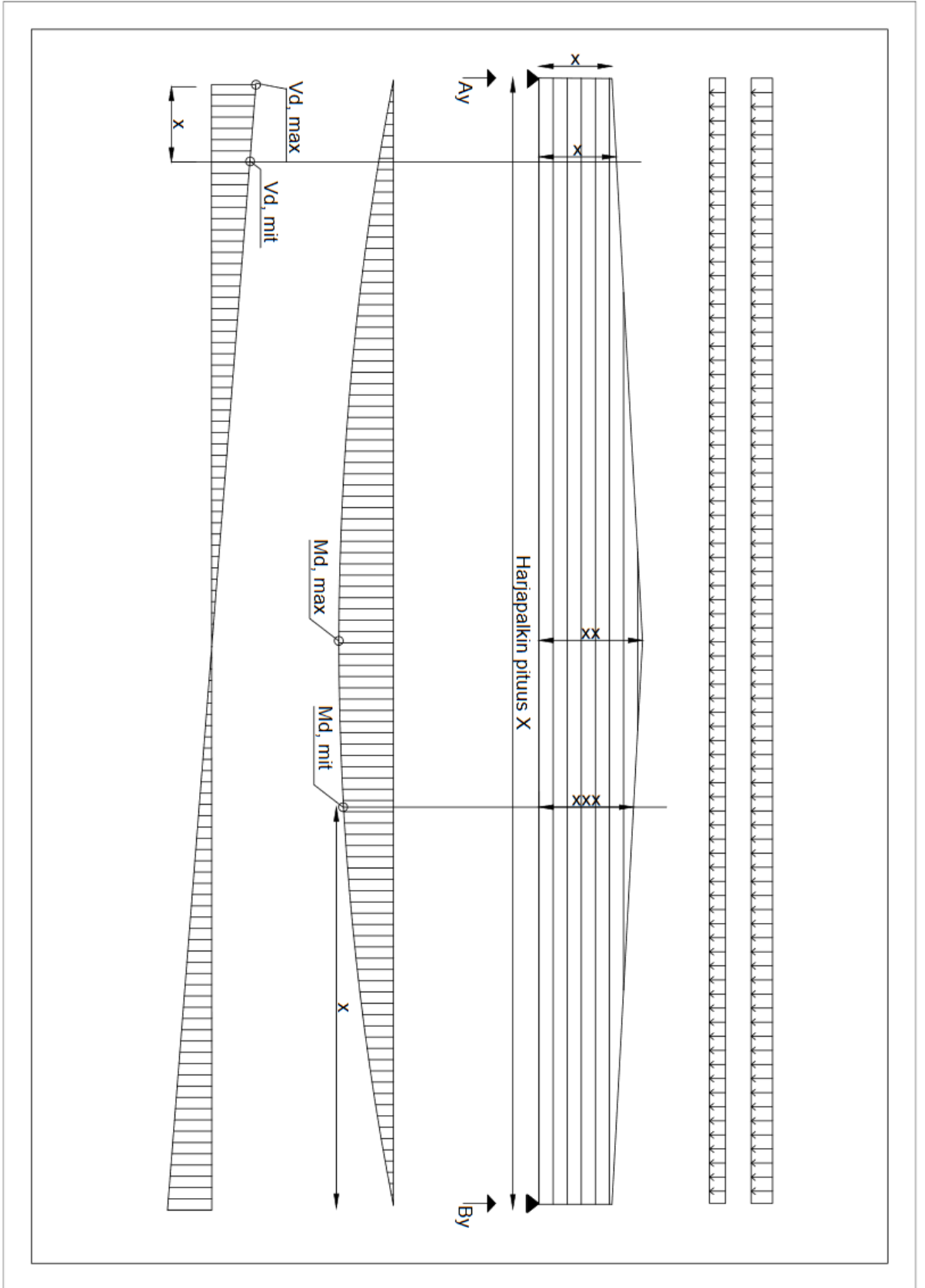
$$W_{\text{fin}} := (1 + k_{\text{def}}) \cdot (W_{\text{inst.M.G}} + W_{\text{inst.V.G}}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}) \cdot (W_{\text{inst.M.Q}} + W_{\text{inst.V.Q}}) = 68.563 \text{ mm}$$

$$\text{EHTO : } W_{\text{fin}} < L/200 \quad \frac{W_{\text{fin}}}{\frac{L_{\text{palkki}}}{200}} = 68.563\%$$

$$W_{\text{net.fin}} := W_{\text{fin}} - W_c = 18.563 \text{ mm}$$

Suorakaide- ja harjapalkin rasiuskuvaajat





Liimapuurakenteen leimatodistus

Alkuperäinen käyttötarkoitus:	Tuleva käyttötarkoitus:	Pituus:
Alkuperäinen Lujuusluokka:	Tämänhetkinen lujuusluokka:	Leveys:
Käyttöluokka:		Korkeus:
Pintakäsittely:		

Alkuperäiset kiinnitystavat:

Havaitut viat:

Muuta huomioitavaa:

Tutkimuspäivämäärä:

Kuntotutkija: