

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2020

Juho Eskola

HALLIRAKENNUKSEN PUURAKENTEISET KATTOELEMENTIT

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, insinööri

Ohjaaja DI Olli Hautaniemi

2020 | 66 sivua, 7 liitesivua

Juho Eskola

HALLIRAKENNUKSEN PUURAKENTEISET KATTOELEMENTIT

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona yläneläiselle maatalousyrittäjälle, joka kesällä 2019 rakennutti teräsrunkoisen työhallin, jonka vesikatto toteutettiin puukattoelementeillä. Opinnäytetyö käsittelee puurakenteisia yläpohjaelementtejä ja niiden suunnittelua hallirakennukseen.

Puusta valmistettavissa yläpohjaelementeissä keskitytään erityisesti palkkirakenteisiin vaihtoehtoihin. Työssä tarkastellaan yläpohjarakenteille asetettuja rakenneteknisiä vaatimuksia ja niiden täyttymistä. Puisia kattorakenteita suunniteltaessa on otettava huomioon eurokodeissa asetetut puurakenteiden mitoitus koskevat mitoitusehdot. Työssä käsitellään myös esimerkkejä erilaisista rakennetyypeistä sekä liittymädetaljeista. Työn lopussa syvennytään kohteeseen, johon varsinaiset liitteinä olevat suunnitelmat on tehty.

Opinnäytetyön tuloksena syntyivät puukattoelementtien suunnitelmat sekä yleisösuus puisista yläpohjaelementeistä.

Puurakenteiset yläpohjaelementit ovat nykyaikainen ja toimiva tapa rakentaa. Puukattoelementit ovat laadukkaita, lujia, energiatehokkaita, palonkestäviä ja ekologisia rakenteita, joita voidaan käyttää moniin erilaisiin rakennuskohteisiin.

ASIASANAT:

rakennuselementit, elementtirakentaminen, puurakentaminen, puuelementit, kattoelementit, kattorakentaminen, yläpohjat

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Olli Hautaniemi, M. Sc. Eng.

2020 | 66 pages, 7 pages in appendices

Juho Eskola

WOODEN ROOF ELEMENTS OF HALL BUILDING

This bachelor's thesis was completed for a farmer from Yläne, Finland, who had built a steel framed hall. Its roof was built with wooden roof elements. The main subject of this thesis are wooden roof elements and how to design them in a hall building.

The focus on this thesis is on designing wooden roof elements, and it contains general information about them, especially concentrating on beam structures. There are specific requirements for structural engineering considering roof structures, which are reported in this thesis. The requirements about dimensioning of wooden roof elements are also considered and reported in a narrow manner. Examples of different structure types and joining details are also presented. The thesis concludes with the case to which the attached building designs were made.

As a result of this thesis was not only the roof element design, but also a wide range of information about building wooden roof structures. Wooden elements are a modern and practical method of construction. Wooden elements are high-quality, strong, energy efficient, fireproof and ecological structures, that are compatible to different types of construction.

KEYWORDS:

building elements, element construction, wood as building material, wood elements, roof elements, roof construction, roofs

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 PUURAKENTEISET KATTOELEMENTIT	10
2.1 Elementtityypit	10
2.2 Suomessa käytettyjä tuotteita	17
2.2.1 Metsä Wood	17
2.2.2 LapWall	18
2.2.3 SeiKat Oy	19
2.3 Puu kattoelementtien rakennusmateriaalina	20
2.4 Katon rakentaminen elementeistä verrattuna paikallarakentamiseen	22
3 KATTOELEMENTTIEN RAKENNETEKNISET VAATIMUKSET	23
3.1 Lujuus ja jäykkyys	23
3.2 Lämmöneristys	26
3.3 Kosteudenhallinta	27
3.4 Paloturvallisuusvaatimukset	29
3.5 Äänieristys	39
4 KATTOELEMENTTIEN RAKENNESUUNNITTELU	40
4.1 Kuormat	40
4.1.1 Pysyvät kuormat	41
4.1.2 Lumikuorma	42
4.1.3 Kuormitusyhdistelmät	44
4.2 Rakenteen käyttöluokka	46
4.3 Materiaaliominaisuudet	46
4.4 Murtorajatilat	50
4.4.1 Taivutuskestävyys	50
4.4.2 Leikkauskestävyys	51
4.5 Käyttörajatilat	51
5 KATTOELEMENTTIEN RAKENNETYYPIST JA -DETALJIT	54

5.1 Rakennetyypit	54
5.2 Liittymädetaljit	58
6 SUUNNITELTAVAN KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT	60
7 LOPUKSI	63
LÄHTEET	65

LIITTEET

- Liite 1. Vesikattoelementit.
 Liite 2. Vesikattoelementit: leikkauskuva.
 Liite 3. Vesikattoelementit: lappeen kuva.
 Liite 4. Kestävyyslaskelmat.

KAAVAT

Kaava 1. Katon ominaislumikuorman laskentakaava.	42
Kaava 2. Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä STR.	44
Kaava 3. Murtorajatilan mitoituskuorman minimiarvo.	44
Kaava 4. Käyttörajatilan ominaisyhdistelmä.	45
Kaava 5. Käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä.	45
Kaava 6. Käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä.	45
Kaava 7. Lujuusominaisuuden mitoitusarvo.	46
Kaava 8. Taivutuskestävyyden mitoitusehto 1.	50
Kaava 9. Taivutuskestävyyden mitoitusehto 2.	50
Kaava 10. Leikkausvoimakestävyyden mitoitusehto.	51
Kaava 11. Kokonaistaipuman w_{fin} kaava.	52
Kaava 12. Lopputaipuman laskentakaava.	53

KUVAT

Kuva 1. Esimerkki palkkirakenteisesta puukattoelementistä.	11
Kuva 2. Esimerkki LVL-paneelielementin rakenteesta.	12
Kuva 3. Esimerkki tuuletusta kattoelementistä.	14
Kuva 4. Esimerkki tuulettamattomasta kattoelementistä.	15
Kuva 5. Esimerkki tuulettamattomasta P3-paloluokan elementistä.	16
Kuva 6. Esimerkki tuuletetusta P3-paloluokan elementistä.	16
Kuva 7. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k .	42
Kuva 8. Lumikuorman muotokertoimet.	43

Kuva 9. Kattojen lumikuorman muotokertoimet.	43
Kuva 10. Sauvojen akselit.	51
Kuva 11. Taipuman muodostuminen.	52
Kuva 12. Esimerkki yläpohjaelementin rakennetyypistä.	55
Kuva 13. Esimerkki yläpohjaelementistä. P2-paloluokan hallirakennus.	56
Kuva 14. Esimerkki rakenteellisesti liimatusta yläpohjaelementistä.	57
Kuva 15. Kattoelementtien liittyminen puiseen pääkannattimeen.	59
Kuva 16. Kattoelementin ja pääkannattimen liittymädetalji.	59

TAULUKOT

Taulukko 1. Palkkirakenteisen kattoelementin toiminta normaalilämpötilassa.	25
Taulukko 2. Rakenteellisesti liimatun kattoelementin toiminta normaalilämpötilassa.	26
Taulukko 3. Tehdasvalmisteisen kattoelementin tuuletusvaatimukset.	28
Taulukko 4. Hyvin tuulettuvan katon tuuletuksen ohjeellinen mitoitus.	28
Taulukko 5. P3-luokan rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset.	31
Taulukko 6. P2-luokan rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset.	31
Taulukko 7. P2- ja P3-paloluokan rakennuksen suurin sallittu henkilömäärä.	32
Taulukko 8. Kantavien ja jäykistävien rakenteiden luokkavaatimukset.	33
Taulukko 9. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset.	34
Taulukko 10. Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset.	35
Taulukko 11. Palkkirakenteinen kattoelementti palotilanteessa.	37
Taulukko 12. Rakenteellisesti liimattu kattoelementti palotilanteessa.	38
Taulukko 13. Kuormien jaottelu aikaluokkiin.	41
Taulukko 14. Materiaalien osavarmuusluvut Y_M .	47
Taulukko 15. Muunnoskertoimen k_{mod} arvot.	48
Taulukko 16. Virumaluvun k_{def} arvot.	48
Taulukko 17. Sahatavaran ja liimapuun materiaaliominaisuudet.	49
Taulukko 18. Kerto-LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet.	49
Taulukko 19. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot.	53

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Kerto LVL	Metsä Woodin LVL-tuote; Kerto LVL S-palkki on yleinen yläpohjaelementtien kantavana rakennusmateriaalina (Kerto kantaviin rakenteisiin 2015, 2)
kuormayhdistelmä	mitoitusarvo, jota käytetään rakenteellisen luotettavuuden laskemiseen, kun eri kuormitukset vaikuttavat samanaikaisesti (Rakennustuoteteollisuus RTT ry 2009, 8)
levyjäykistys	rakennuksen jäykistystapa, jossa rungon aukkoihin sijoitetut levyt jäykistävät rakenteen siirtäen vaakakuormien aiheuttamat rasitukset levyjen leikkausvoimina rakenteille ja perustuksiin; kattoelementit voivat toimia jäykistävinä rakenteina (Betonteollisuus ry 2010, 20)
liimapuu	ensisijaisesti kantaviin rakenteisiin tarkoitettu havupuulamelista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote (Liimapuukäsikirja OSA 1 2014, 15)
LVL	viilupuu, havupuuviiluista liimaamalla valmistettu palkki- tai levytuote, laminated veneer lumber (LVL Handbook Europe 2020, 9)
LVL-C	LVL-tuote, jossa puuviilut on ristilimitetty; noin 20 % viiluista on poikittaissuunnassa; LVL-C paneeleja käytetään usein kattoelementtien rakenteina (LVL Handbook Europe 2020, 10)
LVL-P	LVL-palkki- tai pilarituote, joka on koottu liimaamalla 3 mm:n viiluja pituussuunnassa yhteen (LVL Handbook Europe 2020, 9)
U-arvo	lämmönläpäisykerroin eli lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan; yksikkö $W/(m^2K)$ (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee puurakenteisia kattoelementtejä, niiden toimintaa, rakenteita, vaatimuksia ja suunnittelun pääperiaatteita. Tekstissä tarkastellaan erityisesti hallirakennuksiin soveltuvia palkkirakenteisia yläpohjaelementtejä ja niiden ominaisuuksia.

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui puurakenteiset kattoelementit, koska maatilallinen, jolle opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona, oli päättänyt rakentaa teräsrakenteisen työhallin puukattoelementeillä. Rakennuttaja oli päättänyt kustannusvertailun perusteella puuelementteihin, joiden rakentaminen oli mahdollista paikallisella elementtitehtaalla. Aihe on myös ajankohtainen, sillä puuelementtirakentaminen lisääntyy koko ajan sen käytännöllisyyden vuoksi: rakennusprojekti nopeutuu, laatu paranee ja kokonaiskustannukset pienenevät. Vielä ajankohtaisempaa on puurakentaminen, sillä ekologisuus ja ympäristöasiat nousevat yhä useammin esille myös rakennusosalalla. Puurakentamisella pystytään hyvin vastaamaan kiristyiin kestävän kehityksen vaatimuksiin, sillä puu on oikein käytettynä erittäin ekologinen rakennusmateriaali. Puurakenteiset elementit aiheena on tärkeä, koska oikein suunnitellut ja asennetut elementit parantavat rakentamisen laatua ja tukevat kestävä kehitystä.

Lähteenä opinnäytetyössä on käytetty enimmäkseen avointa puuelementtistandardia HalliPES 1.0 sekä aihetta käsitteleviä ympäristöministeriön asetuksia. Suunnittelun lähteenä on käytetty eurokoodin suunnittelustandardeja ja Suomen kansallisia liitteitä. Lisäksi lähteenä on käytetty useita puu- ja elementtirakentamista käsitteleviä artikkeleita ja julkaisuja.

Työn tavoitteena on tutkia puurakenteisia kattoelementtejä ja niihin liittyviä vaatimuksia sekä suunnitella puurakenteiset yläpohjaelementit teräsrunkoiseen halliin. Työhön on koottu olennaista tietoa palkkirakenteisten vesikattoelementtien suunnittelun pääperiaatteista.

Ensin tässä opinnäytetyössä käsitellään puukattoelementtejä yleisellä tasolla, tarkastellaan tyypillisiä rakenteita ja käyttökohteita sekä esitellään muutamia suomalaisia elementtirakentamiseen erikoistuneita yrityksiä ja heidän tuotteitaan. Tämän jälkeen kerrotaan puurakentamisen hyödyistä ja eduista sekä vertaillaan paikallarakentamista elementtirakentamiseen.

Luvussa 3 tarkastellaan kattoelementtien rakenneteknisiä vaatimuksia: lujuutta ja jäykkyyttä, lämpöä ja kosteutta, palomitoitusta ja äänieristystä. Luku 4 käsittelee puurakenteisten kattoelementtien rakenteiden mitoitusta. Tässä työssä perehdytään kuormien määrittämiseen sekä elementtien kantavien palkkien taivutus- ja leikkausmitoitukseen. Luvussa 5 esitellään tyypillisiä kattoelementtien rakennetyyppejä ja perehdytään kattoelementtien ja pääkannattimien liitosdetaljeihin.

Luvussa 6 tarkastellaan kohdetta, johon elementtisuunnitelmat ovat tehty. Työssä esitellään rakennuskohteen lähtötiedot ja käsitellään lyhyesti kohteen yläpohjaelementtien suunnittelua. Kohteeseen tehdyt piirustukset ja laskelmat ovat työn liitteinä. Viimeinen luku on yhteenveto, joka pitää sisällään johtopäätökset.

Opinnäytetyön tuloksena syntyneiden suunnitelmien pohjalta rakennettiin puurakenteiset yläpohjaelementit elementtitehtaalla Pöytyällä. Kyseiset kattoelementit asennettiin syksyllä 2019 teräsrunkoisen työhallin vesikatoksi maatilalla Yläneellä.

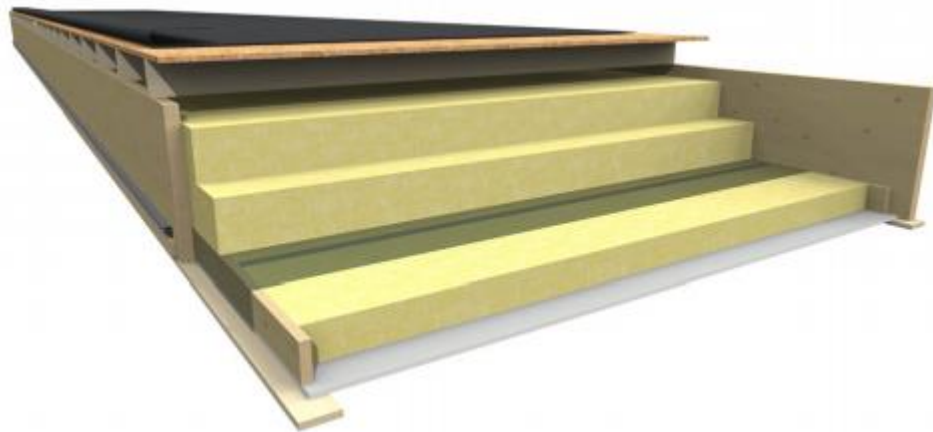
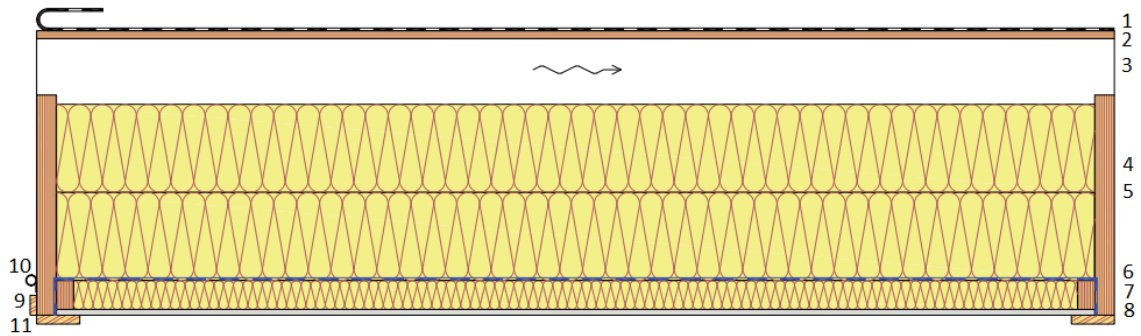
2 PUURAKENTEISET KATTOELEMENTIT

Puurakenteisia kattoelementtejä käytetään usein massiivipuurunkoisissa halleissa, mutta niitä voidaan käyttää myös betoni- ja teräsrunkoisissa rakennuksissa. Kattoelementit suunnitellaan ja mitoitetaan aina tapauskohtaisesti kohteen vaatimusten mukaan. (HalliPES 1.0 2014b, 1.)

2.1 Elementtityypit

Puisissa palkkirakenteisissa suorkattoelementeissä käytetään elementin kantavana palkkina yleensä liimapuu- tai LVL-palkkeja, joiden välissä on sahatavarasta tehtyjä välipalkkeja. Välipalkkien alapintaan asennetaan tavallisesti levytys kipsilevyistä tai akustovillasta. Välipalkkien kohdalle ja yläpuolelle asennetaan lämmöneristeet, jotka ovat usein mineraalivillaa. Eristeiden alapintaan tulee höyrynsulku, mikä estää rakennuksen kosteuden pääsyn yläpohjarakenteisiin. Tuulettuvassa kattoelementissä kantavien palkkien yläpintaan asennetaan tuuletustilan palkit, joiden yläpintaan tulee laudoitus tai levytys, aluskate sekä vesikate. Tuuletusväli on yleensä vähintään 100 mm. Tuulettuvat kattoelementit ovat yleensä 2–4 aukkoisia, mutta voivat olla myös 1-aukkoisia. (Liimapuukäsikirja 2014, 41.)

Puurakenteiset kattoelementit ovat nopeita asentaa. Eri valmistajat lupaavat vähän erilaisia asennusaikoja, mutta yleensä päivässä pystytään asentamaan noin 1 000 neliometriä valmista kattoa. Elementtien maksimikoot määräytyvät kuljetusmahdollisuuksien mukaan, mutta 2,5 m x 20–25 m on yleinen koko 3–4-aukkoisille rakenteille. Elementteihin tehdään suunnitelmien mukaan jo tehtaalla valmiiksi sisä- ja ulkopuolen viimeistelyt, kipsilevypaneloinnit, höyrynsulut, lämmöneristeet, laudoitukset ja aluskate. Myös kattoelementtien räystäät voidaan tehdä jo tehtaalla valmiiksi. Tuuletettujen kattoelementtien U-arvo on yleensä 0,07–0,15 W/(m²K) ja paloluokka REI15-60 riippuen kohteen ja tilaajan vaatimuksista. (LVL Handbook Europe 2020, 73.) Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva tuulettuvasta palkkirakenteisesta kattoelementistä ja sen rakenteesta. Elementtien rakenteet voivat vaihdella valmistajan ja rakennuskohteen mukaan.

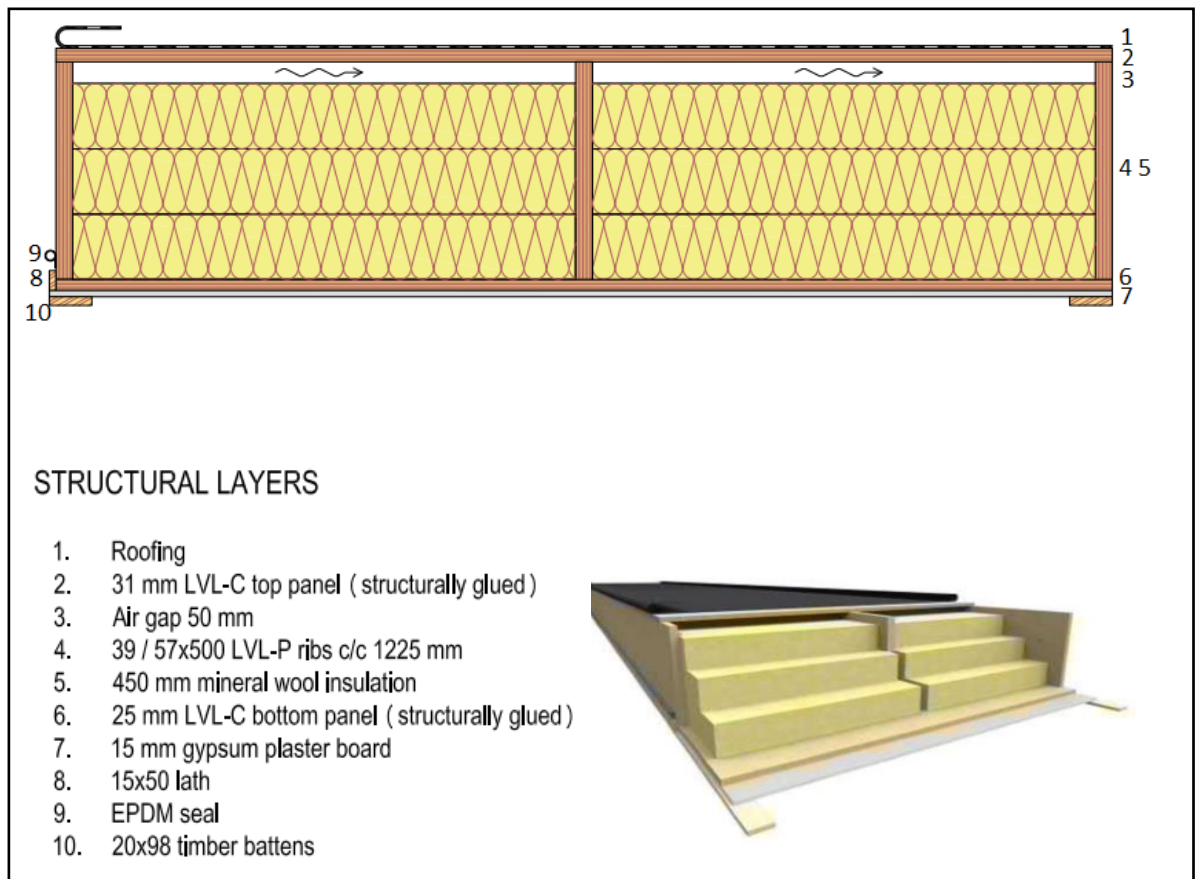


STRUCTURAL LAYERS

1. Roofing
2. 18 mm plywood
3. 42x148 C24 purlins c/c 800 + air gap
4. 45x500 LVL beams
5. 400 mm mineral wool insulation
6. Water vapor membrane
7. 39x66 LVL battens c/c 400 + mineral wool insulation
8. 13 mm gypsum plaster board
9. 15x45 lath
10. EPDM seal
11. 20x98 timber battens

Kuva 1. Esimerkki palkkirakenteisesta puukattoelementistä (LVL Handbook Europe 2020, 74).

Vaihtoehto palkkirakenteisille kattoelementeille on LVL-ripa-laatikkoelementit. Pitkän jännevälin kattoelementit voidaan tehdä LVL-P-rivoista ja LVL-C-paneeleista. Ripaelementtejä voidaan käyttää kylmissä tiloissa tai lämpöeristettyinä lämpimissä hallirakennuksissa. Lumikuormasta ja elementtien paksuudesta riippuen jänneväli voi olla 10–20 metriä. Tällainen laatikkoelementti on yksinkertaisempi rakenne kuin palkkirakenne kattoelementti, sillä sekundäärirakenteita ei tarvita. Paloeristysvaatimuksista riippuen LVL-C-paneelien pohja voidaan jättää näkyviin tai se voidaan päällystää kipsilevyillä. Sisäkattolevyjen paksuus riippuu paloeristysvaatimuksista. Laatikkoelementtien yksi etu on, että LVL-C-paneeliin voidaan tehdä ripustuksia mihin kohtaan vain. (LVL Handbook Europe 2020, 75.) Kuvassa 2 on esimerkki tällaisen LVL-paneelielementin rakenteesta. Ripaelementtien tuuletusväli on yleensä pienempi kuin palkkirakenteisissa elementeissä.



Kuva 2. Esimerkki LVL-paneelielementin rakenteesta (LVL Handbook Europe 2020, 75).

Puukattoelementtityypit voidaan siis luokitella kantavan rakenteensa perusteella palkki-rakenteisiin elementteihin ja LVL-ripa-laatikkoelementteihin. Tämän lisäksi kattoelementit voidaan luokitella esimerkiksi seuraavien rakenteellisten ominaisuuksien perusteella.

- Tuuletetty tai tuulettamaton rakenne: Kattoelementti voidaan suunnitella ja toteuttaa joko tuulettuna tai tuulettamattomana rakenteena.
- Paloluokka: Elementtien rakenteesta ja palosuojauksesta riippuen ne soveltuvat joko P1-, P2- tai P3-paloluokan rakennuksiin.
- Rakennusmateriaalit: Elementeissä voidaan käyttää erilaisia rakennusmateriaaleja, joiden mukaan elementit voidaan luokitella. Esimerkiksi lämmöneristeiden, katteiden ja sisäverhouksen materiaalit vaihtelevat valmistajan tuotteiden ja rakennuskohteiden mukaan.
- Aukkoisuus: Elementtejä rakennetaan sekä yksiaukkoisina että moniaukkoisina. Usein suositetaan moniaukkoisia vaihtoehtoja kustannustehokkuuden vuoksi. (HalliPES 1.0 2014b.)

Kattoelementtien rakenne määräytyy rakennukselle ja yläpohjalle asetettujen vaatimusten mukaan. Rakenne suunnitellaan tapauskohtaisesti huomioiden kosteusolosuhteet sekä palo-, ääni- ja lujustechniset vaatimukset. (HalliPES 1.0 2014b, 1.) Rakenne ja materiaalit voivat vaihdella myös kustannusten, tilaajan toiveiden ja elementtivalmistajan käytäntöjen mukaan.

Kuvissa 3-6 on esitelty muutamia erilaisia kattoelementtityyppejä. Kuvassa 3 on esimerkki tuuletetun kattoelementin rakenteesta ja mitoista. Kuvan elementin vesikattopintana on bitumikermikate tai PVC-kate, sisäkattopintana rakennuslevy ja lämmöneristeenä mineraalivilla. Kuvankaltainen elementtirakenne on tyypillinen tuulettuville kattoelementeille.

TUULETETTU KATTOELEMENTTI		
Perusominaisuudet		
Palotekninen soveltuvuus	P1-, P2- ja P3-paloluokka	
Vesikattopinta	Bitumikermikate tai PVC-kate	
Sisäkattopinta	Rakennuslevy	
Leveys B	2440...2500 mm	
Lämmöneriste	Mineraalivilla	
Ohjeelliset korkeudet ja jännevälit (lumikuorma 2,2 kN/m ² , ripustuskuorma 0,2 kN/m ² , taipuma L/200)		
Rakennemalli	Jänneväli L	Korkeus H
1-aukkoinen	6 m / 8 m	670 mm
1-aukkoinen	10 m	770 mm
Moniaukkoinen	6 m / 8 m / 10 m	670 mm
Moniaukkoinen	12 m	770 mm

Kuva 3. Esimerkki tuuletusta kattoelementistä (HalliPES 1.0 2014b, 2).

Kuvassa 4 on esimerkki tuulettamattomasta kattoelementistä, jonka ylä- ja alalevyt ovat rakenteellisesti liimattu. Lämmöneristeeksi tässä esimerkissä on valittu mineraalivilla, joka on hyvin yleinen eriste yläpohjarakenteissa. Elementti voidaan toteuttaa 1-aukkoisena tai moniaukkoisena. LVL-laatikkoelementit ovat rakenteeltaan vastaavia.

TUULETTAMATON KATTOELEMENTTI ylä- ja alalevy rakenteellisesti liimattu		
Perusominaisuudet		
Palotekninen soveltuvuus	P1-, P2- ja P3-paloluokka	
Vesikattopinta	Bitumikermikate tai PVC-kate	
Sisäkattopinta	Rakennuslevy	
Leveys B	2440...2500 mm	
Lämmöneriste	Mineraalivilla	
Ohjeelliset korkeudet ja jännevälit (lumikuorma 2,2 kN/m ² , ripustuskuorma 0,2 kN/m ² , taipuma L/200)		
Rakennemalli	Jänneväli L	Korkeus H
1-aukkoinen	6 m / 8 m / 10 m / 12 m / 16 m	590 mm
1-aukkoinen	18 m	690 mm
1-aukkoinen	20 m	790 mm
1-aukkoinen	22 m	890 mm
1-aukkoinen	24 m	990 mm
Moniaukkoinen	6 m / 8 m / 10 m / 12 m	590 mm

Tarvittaessa lisäripa

Rakenneliimaus

Rakenneliimaus

H

B

Kuva 4. Esimerkki tuulettamattomasta kattoelementistä (HalliPES 1.0 2014b, 3).

Kuvassa 5 on esimerkki P3-paloluokan rakennukseen soveltuvasta tuulettamattomasta kattoelementistä, jonka lämmöneristeenä on polyuretaani. Sisäkattopinnan materiaaliksi on valittu rakennuslevy.

TUULETTAMATON KATTOELEMENTTI		
Perusominaisuudet		
Palotekninen soveltuvuus	P3-paloluokka	
Vesikattopinta	Bitumikermikate tai PVC-kate	
Sisäkattopinta	Rakennuslevy	
Leveys B	2440...2500 mm	
Lämmöneriste	Polyuretaani	
Ohjeelliset korkeudet ja jännevälit		
Rakennemalli	Jänneväli L	Korkeus H
1-aukkoinen	RAK mukaan	RAK mukaan
Moniaukkoinen	RAK mukaan	RAK mukaan

Kuva 5. Esimerkki tuulettamattomasta P3-paloluokan elementistä (HalliPES 1.0 2014b, 8).

Kuvassa 6 on esimerkki P3-paloluokan rakennukseen soveltuvasta tuuletetusta kattoelementistä, jonka lämmöneristeinä on mineraalivilla. Sisäkattopinnaksi on valittu pelti.

TUULETETTU KATTOELEMENTTI		
Perusominaisuudet		
Palotekninen soveltuvuus	P3-paloluokka	
Vesikattopinta	Bitumikermikate tai PVC-kate	
Sisäkattopinta	Pelti	
Leveys B	2400...2500 mm	
Lämmöneriste	Mineraalivilla	
Ohjeelliset korkeudet ja jännevälit		
Rakennemalli	Jänneväli L	Korkeus H
1-aukkoinen	RAK mukaan	RAK mukaan
Moniaukkoinen	RAK mukaan	RAK mukaan

Kuva 6. Esimerkki tuuletetusta P3-paloluokan elementistä (HalliPES 1.0 2014a, 9).

2.2 Suomessa käytettyjä tuotteita

Suomessa on monia puukattoelementtejä valmistavia rakennusyrityksiä. Tässä luvussa käsitellään muutamia kattoelementtejä valmistavia yrityksiä ja niiden tuotteita. Kaikkien valmistajien tuotteissa on lähestulkoon samat peruseriaatteen.

2.2.1 Metsä Wood

Metsä Woodin puuelementeissä on kantavana rakenteena Kerto LVL. Puuelementit nopeuttavat rakennusprojektia ja pienentävät näin ollen kustannuksia. Elementtien kantava rakenne mahdollistaa jopa yhdeksän metrin jännevälit. Kerto LVL on kevyt, luja ja kestävä ratkaisu. (Metsä Wood 2020.)

Kerto on havupuuviiluista liimaamalla valmistettu palkki- tai levytuote, joka on hyvä valinta suurta lujuutta vaativiin kantaviin rakenteisiin jäykkyytensä, mittatarkkuutensa ja keveytensä vuoksi. Kerto on helposti työstettävä ja kevyt materiaali, ja sen käytöllä saavutetaan ajan ja kustannusten säästöä rakentamisessa. Kerto on lujempaa kuin massiivipuuta, mikä mahdollistaa sirojen rakenteiden toteuttamisen. Kerto-tuotteet ovat CE-merkittyjä ja niillä on VTT:n sertifikaatti 184/03. (Kerto kantaviin rakenteisiin 2015, 2–3.)

Metsä Woodilla on käytössä myös Kerto-Ripa-elementtisuunnittelujärjestelmä. Kerto-Ripa-elementti muodostuu kantavista Kerto S -palkeista ja Kerto Q -levyistä ja rakenne-liimauksesta. Kyseinen järjestelmä mahdollistaa jopa 20 metrin jännevälit. Kerto-Ripa-elementti voi olla suljettu tai avoin rakenne, jonka eristys räätälöidään kohteen vaatimusten mukaan. Kerto-Ripa-elementit toimitetaan työmaalle valmiilla vesikatteella, lämmöneristeellä sekä alapinnan verhouksella. (Metsä Wood 2020.)

Puuelementillä on Metsä Woodin (2020) mukaan seuraavia hyötyjä:

- nopea rakentaa ja lyhyt asennusaika (sääsuojaus 1 500 neliömetrille yhdessä päivässä)
- seuraavat työvaiheet voivat jatkua katon alla kuivissa olosuhteissa
- Kerto-Ripa-kotelolaatta on viisi kertaa kevyempi kuin TT-betonilaatta
- elementtien keveys mahdollistaa pienemmän runkorakenteen ja kevyemmät perustukset
- paloluokka jopa REI90

- rakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytyminen testattu Tampereen teknisessä yliopistossa
- elementeillä on ETA-07/0029-hyväksyntä ja CE-merkintä
- tuote on ympäristöystävällinen.

2.2.2 LapWall

LapWall-kattoelementit soveltuvat kaikille kattotyypeille ja runkoratkaisuille. Vesikattoihin liittyvät detaljit ratkaistaan jo suunnitteluvaiheessa, joten rakentaminen on toimintavarmaa ja nopeaa työmaalla. Päivän aikana pystytään asentamaan 1 500 neliömetrin valmis vesikatto. Asennuksen jälkeen pystytään nopeasti siirtymään seuraaviin työvaiheisiin säältä suojassa. LapWall-kattoelementtien laadunvalvonnasta vastaa VTT. Tuotannon keskiössä on korkealuokkainen ja tasalaatuinen rakentaminen sekä katkeamaton kuivaketju. Rakennustyömaa pysyy siistinä, sillä elementeistä ei synny muuta jätettä kuin kattoelementtejä kuljetuksen ajan suojaavat muovit. Kattoelementtejä ei myöskään tarvitse varastoida työmaalla kuin hetkellisesti. (LapWall 2018.)

LapWall LEKO -kattoelementit tuovat nopeutta ja kustannustehokkuutta rakennusprojekteihin. LEKO-kattoelementin kantavana runkona on LVL-palkki. Katemateriaalina käytetään bitumikermiä tai PVC-katetta. Alapinnassa voidaan käyttää kipsilevyä tai akustovillaa. Tehtaalla elementtiin asennetaan valmiiksi vesikate, lämmöneriste ja alapinnan verhoukset. LEKO-kattoelementit suunnitellaan rakennuskohteen mukaan. Niiden maksimipituus on 24 metriä ja leveys 2,44 metriä, jänneväli on 4–9 metriä. Elementit tehdään yleensä moniaukkoisina. Kattoelementeille on mahdollista saavuttaa paloluokat REI15-REI60. (LapWall 2018.)

LapWall LEKO Kerto -kattoelementit valmistetaan rakenneliimauksella. Elementin kantavana rakenteena on Kerto S -palkit sekä ylä- ja alapinnassa Kerto Q -levy. Elementtejä käytetään kantavina rakenteina, joiden jänneväli voi olla 18 metriä yksiaukkoisena ja pituus 25 metriä. LEKO Kerto -elementti sopii hyvin kohteisiin, joissa tarvitaan pitkiä jännevälejä ja mahdollisimman vähän taipumista. Elementit ovat ETA-07/0029-hyväksytyjä ja CE-merkittyjä. LEKO Kerto -elementit täyttävät luokkien REI15-REI60 palonkestävyysvaatimukset. (LapWall 2018.)

2.2.3 SeiKat Oy

SeiKat Oy valmistaa ONNI-puukattoelementtejä. ONNI-kattoelementit ovat hyvin tuuletuvia ja mineraalivillaeristeisiä elementtejä, joiden kantavana rakenteena toimii Kertopuu. Elementtien sisäpinnassa on yhtenäinen höyrynsulku. Elementtien pituus on normaalisti 8–21 metriä ja leveys noin 2,5 metriä. Tehdasolosuhteissa valmistetuilla kattoelementeillä rakennus saadaan nopeasti ja kustannustehokkaasti lämpimäksi ja säältä suojaan. Yhden työpäivän aikana voidaan asentaa 1 000 neliömetriä kattoelementtejä. Nopean asennuksen myötä huonoille sääoloille altis ja vaarallinen kattotyö jää työmaalla minimiin. Elementtien käyttö poistaa rakennusmateriaalien varastointitarpeen työmaalla. ONNI-kattoelementtejä voidaan käyttää muun muassa erilaisissa halleissa, myymälöissä, maatilarakennuksissa ja asuinrakennuksissa. Elementit tehdään tapauskohtaiset erityisvaatimukset, kuten palomääräykset ja pintamateriaalit, huomioiden. Kattoelementit voidaan asentaa rungon perusteella joko lappeen tai harjan suuntaisesti. (SeiKat Oy 2020.)

Kun vesikatemateriaalina käytetään PVC-katetta tai huopaa, asennetaan kate jo tehtaalla. Kun katteena käytetään peltiä tai tiiltä, elementteihin asennetaan tehtaalla aluskatteet, rimat ja ruoteet valmiiksi. LVI-S-tekniikan vaatimat läpiviennit voidaan tehdä valmiiksi tehtaalla. Alapinnan materiaalina käytetään yleensä peltiä, kipsi- tai akustiikkalevyä. (SeiKat Oy 2020.)

ONNI-kattoelementtien edut ovat valmistajan mukaan seuraavat (SeiKat Oy 2020):

- rakennus saadaan nopeasti suojaan säältä
- korkealla tehtävä kattotyö minimoituu, kun esimerkiksi sisäkattoverhous ja maalatut räystäät asennetaan jo elementtitehtaalla
- työmaalla ei tarvitse varastoida säälle alttiita materiaaleja, kuten eristeitä, puutavaraa ja levyjä
- eristetyt elementit mahdollistavat lämmityksen aloittamisen heti asennuksen jälkeen
- elementtien toimitus sisältää rakennesuunnittelun, valmistuksen ja asennuksen.

2.3 Puu kattoelementtien rakennusmateriaalina

Puuelementit ovat nykyaikainen ja toimiva tapa rakentaa. Puuelementit ovat laadukkaita, kevyitä, mittatarkkoja ja kustannustehokkaita. Räystäs- ja otsalaudat voidaan asentaa jo tehtaalla, mikä nopeuttaa rakentamisen kokonaiskestoa. Työmaalla säästetään aikaa telinetöissä ja hitaissa viimeistelytöissä. (Ks. esim. Metsä Wood 2020.)

Kerto on havupuuviiluista liimaamalla valmistettu palkki- ja levytuote, joka on yleinen materiaali puisissa kattoelementeissä. Se on jäykkyytensä ja mittatarkkuutensa vuoksi hyvä valinta suurta lujuutta vaativiin rakenteisiin. Kerto on helposti työstettävä ja kevyt materiaali, mikä merkitsee ajan ja kustannusten säästöä rakentamisessa. Materiaalina Kerto on vahvempaa kuin massiivipuu ja sillä on mahdollista tehdä siroja rakenteita. Puu on täysin uusiutuva ja kierrätettävä rakennusmateriaali, joten puutuotteiden valmistuksesta aiheutuu vain vähäisiä kasvihuonepäästöjä. (Kerto kantaviin rakenteisiin 2015, 2–3.)

Kantavana rakenteena puuelementeissä voidaan käyttää myös liimapuuta. Liimapuu on sahataralamellemalla liimaamalla määrämuotoiseksi valmistettu puutuote, joka on painonsa nähden luja materiaali. Liimapuun tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus, jäykkyys ja kestävyys. Korkea lujuus mahdollistaa suurien vapaiden jänneväliden käytön. Liimapuu on helposti muotoiltavaa ja työstettävää ja se pitää hyvin muotonsa. Liimapuu on orgaaninen tuote, joka hyvällä suunnittelulla kestää hyvin mikro-organismien lahottavaa vaikutusta. Puuosat on suunniteltava siten, että ne pysyvät kuivana tai kuivuvat nopeasti kostumisen jälkeen. Kuiva tai vain hetkellisesti kostea puu ei lahoa. (Liimapuukäsikirja OSA 1 2014, 7, 22, 24.)

Rakennustuotteiden valmistus aiheuttaa 5–12 prosenttia maamme energian kulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä. Näistä päästöistä yli 90 % aiheutuu sementin ja teräksen valmistuksesta. Rakennusten käytöstä aiheutuu 39 % energiankulutuksesta ja 30 % hiilidioksidipäästöistä. Puusta pystytään tekemään energiatehokkaita rakennuksia kustannustehokkaasti. (Puuinfo 2020.) Puu on energiatehokkain ja ekologinen rakennusmateriaali, sillä sen valmistus tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Puutuotteisiin on varautunut hiiltä, sillä kasvunsa aikana puu sitoo hiiltä. Puutuotteiden valmistuksesta syntyy vain vähäinen määrä kasvihuonekaasuja. Puusta voidaan rakentaa aivan yhtä energiatehokkaita rakennuksia kuin muistakin materiaaleista. Suomessa puu on lähiraaka-aine, ja Suomen metsissä kasvaa paljon enemmän puuta kuin sitä käytetään. Puu sitoo

myös hiilidioksidia. Puusta ei missään vaiheessa synny ongelmajätettä, sillä elinkaa-rensaa päätteeksi tuotteet voidaan kierrättää tai käyttää uusiutuvan energian tuottami-seen. Puutuotteiden tuotanto on energiaomavaraista, sillä energialähteenä voidaan käyt-tää tuotannon sivutuotteena saatavaa bioenergiaa. Puutuotteiden kuljetusten ympäristö-vaikutukset jäävät pieniksi tuotteiden keveyden ansiosta. (Metsäteollisuus 2010, 3–5.)

Puulla on pienet lämpöliikkeet verrattuna metalleihin. Puun lämpöjännityksistä ei yleensä aiheudu mitään haittaa. Puulla on hyvä lämmöneristyskyky ja sen lämmönjohtavuus on paljon pienempi kuin teräksellä. (Liimapuukäsikirja 2014, 22.) Puu on turvallinen raken-nusmateriaali, jolla pystytään täyttämään samat paloturvallisuusvaatimukset kuin muilla-kin materiaaleilla. (Metsäteollisuus 2010, 7.) Esimerkiksi liimapuukurakenteilla on suuren ja tasa-aineisen poikkileikkauksen vuoksi hyvä suojavaikutus palotilanteissa. Palon syt-tyminen on hidasta ja liimapuun palaa hitaasti. Palaessa liimapuun pinnalle muodostuu hiiltynyt kerros, joka suojaa liimapuun sisäosia ja parantaa kantokyvyn säilymistä. (Liimapuukäsikirja 2014, 24.)

Vaihtoehto puisille kattoelementeille on teräsrakenteiset sandwich-elementit. Sandwich-elementissä on sisä- ja ulkopuolella ohut pelti, joiden välissä on mineraalivilla- tai poly-uretaanieriste (ks. esim. Weckman Steel Oy 2020). Puurakenteella on tiettyjä etuja te-räsrakenteeseen verrattuna. Teräsrakenteet ovat usein kalliita. Teräksen pintaan saat-taa muodostua korroosiota eli teräksen pinta alkaa tuhoutumaan kemiallisten ja sähkö-kemiallisten tekijöiden aiheuttamana. Syöpynyttä metallia ei voi enää palauttaa. Teräs on lämpötilan vaihteluille herkkä materiaali, joka pehmenee korkeissa lämpötiloissa ja haurastuu kylmässä. (Väsänen 2007, 30–31.)

Sandwich-kattoelementit ovat aiheuttaneet huolta rakennusosalalla, sillä levyjäykisteenä toimiakseen sandwich-elementeillä ei ole vakiintuneita suunnitteluohjeita ja toteutusta-poja. Ongelmia on syntynyt, kun kattoelementtinä toimivan sandwich-elementin on ole-tettu puutteellisin laskelmin toimivan kantavana rakenteena. Kantavat sandwich-kat-toelementit voivat olla riskirakenteita, jos niiden rakennesuunnitelmat ovat puutteellisia. Hyvin suunnitellut ja oikein asennetut teräselementit ovat turvallisia rakenteita. (Tähti-kunnas 2017.)

Puukattoelementti voidaan tarvittaessa kunnostaa vaihtamalla sen peltikate. Sandwich-elementtejä ei pystytä kunnostamaan pelkkää katetta vaihtamalla, vaan elementit pitää uusina kokonaisuudessaan. Tämä tekee sandwich-elementtien huollosta kallista. (Raken-nussuunnittelija J. Helmisaari, suullinen asiantuntijahaastattelu 9.4.2020.)

2.4 Katon rakentaminen elementeistä verrattuna paikallarakentamiseen

Elementtirakentamisella on paljon etuja verrattuna paikallarakentamiseen ja rakentamisessa on siirrytty yhä enemmän valmisosarakentamiseen. Työmaalla tehtävä mittatilaustyörakentaminen on aikaa vievää ja tulee kalliimmaksi kuin tuoteistettu tehdasolosuhteissa tapahtuva rakentaminen. Vakioituilla ratkaisuilla tehdasolosuhteissa tapahtuva rakentaminen tuo kustannustehokkuutta ja laatua rakentamiseen. Hyvissä olosuhteissa pystytään toteuttamaan paremmin laadunvalvontaa. Sisätiloissa tapahtuva elementtirakentaminen on sääolosuhteista riippumatonta, joten rakentaminen voidaan tehdä mihin vuodenaikaan tahansa. Elementteihin ei pääse kosteutta, kun ne rakennetaan kuivissa sisätiloissa. Elementtirakentamisessa rakennusmateriaalit pystytään käyttämään tehokkaasti ja menekki pienenee.

Suurin elementtirakentamisella saavutettava hyöty on rakennusprojektin nopeutuminen; nopealla asentamisella saavutetaan suuria hyötyjä niin taloudellisesti kuin laadullisesti. Kattoelementtien asentaminen on nopeaa ja päivässä pystytään yleensä asentamaan jopa yli 1 000 neliometriä valmista kattoa, joten rakennus saadaan suojattua nopeasti säältä ja seuraavat työvaiheet pystytään tekemään säältä suojassa. Rakenteet pysyvät kuivina ja laatutaso kasvaa.

Elementtitekniikassa ei synny materiaalsiirtoja niin paljon kuin paikallarakentamisessa. Työmaalla kerroksittain varastoituja rakennusmateriaaleja joudutaan siirtämään nostokoneilla ja tämä lisää työntekijäkustannuksia. Paikallarakentaminen vaatii myös rakenteiden suojaamista työmaalla. Päivittäin tehtävä sääsuojien asentaminen ja purkaminen lisää työntekijäkustannuksia. Materiaalit, kuten mineraalivilla, tuulensuojalevyt, kipsilevyt ja puutavara, vievät paljon tilaa työmaalla ja ne on suojattava säältä.

Työmaalla täytyy kiinnittää erityistä huomiota putoamisvaaraan ja työturvallisuuteen, joten suojakaiteet ja muut turvavälineet ovat välttämättömiä. Näiden asentaminen lisää työmaakustannuksia. Elementtitehtaalla tuotteet pystytään rakentamaan hyvissä olosuhteissa turvallisesti maan tasossa.

Elementtirakentamisen edut paikallarakentamiseen verrattuna ovat yleisesti tunnettuja. (Ks. esim. Kilpeläinen, Ukonmaanaho & Kivimäki 2001, 12 tai Keronen 2009, 46.)

3 KATTOELEMENTTIEN RAKENNETEKNISET VAATIMUKSET

Vesikatto on tärkeä osa rakennusta: se suojaa rakennusta säältä ja on samalla näyttävä osa rakennusta. Hyvä katto suojaa rakennusta sen koko elinkaaren ajan. Yläpohjarakenne on kokonaisuus, joka muodostuu yleensä kantavasta rakenteesta, ilmansulusta, höyrynsulusta, lämmöneristyksestä, vedeneristyksestä ja tuuletuksesta. Katon suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota, että kattorakenne on yhtenäisesti toimiva kokonaisuus. (Sisäilmayhdistys ry 2020.) Kattoelementtien rakenne tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti ja ottaa huomioon muun muassa kosteusolosuhteet, palotekniset vaatimukset, äänitekniset vaatimukset sekä lujuustekniset vaatimukset (HalliPES 1.0 2014c, 1).

3.1 Lujuus ja jäykkyys

Kattoelementtien kantavina rakenteina käytetään korkean lujuuden omaavia ja jäykkiä materiaaleja, kuten liimapuuta tai Kerto-tuotteita. Liimapuu on luja, jäykkä ja kestävä materiaali (Liimapuukäsikirja 2014, 19). Kerto-palkkien rakenne on hoikka ja korkea, mutta jäykkä. Kerto-palkkien korkea kimmokerroin ja taivutusjäykkyys auttavat taipumien hallinnassa. (Kerto-käsikirja 2017, 1.)

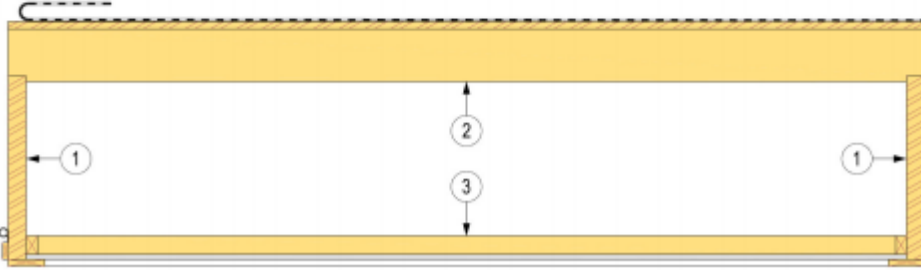
Tarvittavan lujuuden ja jäykkyyden varmistamiseksi lasketaan elementtejä rasittavat kuormat ja kattoelementtien rakenneosille tehdään taivutus- ja leikkausmitoitus sekä taipumatarkastelu voimassa olevien normien mukaan. Jos kattoelementit toimivat jäykistävänä rakenteena, myös normaalivoima on otettava puristuksen takia huomioon. Lisäksi elementin ja pääkannattimen liitoksen tulee olla riittävän luja. Moniaukkoiset kattoelementit vaikuttavat pääkannattajien kuormiin, mutta 1-aukkoiset eivät vaikuta. Luvussa 4 käydään läpi puurakenteiden mitoitus ja esitetään eurokoodien mukaisia mitoituskaavoja ja -taulukkoita.

Kattorakennetta voidaan hyödyntää myös rakennuksen jäykistyksessä. Katon rakennetta voidaan käyttää tuulikuormien siirtämiseen sekä rungon suunnassa että rungon poikkisuunnassa. Rungon suunnassa kattorakenteen on kestävä normaalivoimia ja katon liitosten on kestävä leikkausvoimia. Rungon poikkisuunnassa tuulikuorman siirtäminen edellyttää katolta levyominaisuuksia. Katto voidaan mitoittaa levyjäykisteeksi

esimerkiksi vinolaudoituksella tai vanerilla. (Keronen 2009, 42.) Levyjäykistysominaisuuden näkökulmasta on otettava huomioon levytyyppi, levyn sijainti elementissä, levyn kiinnitys, voimien siirtyminen levyjäykisteelle sekä liitostyypit (HalliPES 1.0 2014c, 1). Levyjäykistystä ei ole käsitelty enempää tässä opinnäytetyössä, koska kohteena olevan rakennuksen teräsrunko hoitaa jäykistyksen eikä kattoelementeiltä vaadita levyjäykistysominaisuuksia.

Taulukossa 1 on esitetty palkkirakenteisen kattoelementin rakenneosien toimintaa normaalilämpötilassa sekä suunnittelussa huomioitavia asioita. Elementin eri rakenneosat mitoitetaan tapauskohtaisesti riippuen vaikuttavista kuormituksista.

Taulukko 1. Palkkirakenteisen kattoelementin toiminta normaalilämpötilassa (HalliPES 1.0 2014c, 2).

PALKKIRAKENTEINEN KATTOELEMENTTI NORMAALILÄMPÖTILASSA		
Osa	Rakenneosan toiminta	Rakenneosan suunnittelussa huomioitavia seikkoja
1	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain yläpohjan pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Kiepahdustuenta Liitos pääkannattimeen
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa yläpohjan pystykuormat Jos siirtää primäärirungon sivuttaistuentavoimia jäykisteille 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus + Normaalivoima (yhteisvaikutus) Kiepahdustuenta Nurjahdustuenta Liitos pääkannattimeen Normaalivoiman siirtäminen elementtijatkoksissa
2	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain vesikaton pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Liitos elementin pääpalkkiin
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vesikaton pystykuormat Jos toimii sivuttaistukena elementin pääpalkille yhdessä vesikatteen alusrakennellevytyksen kanssa 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Levyjäykistys Voimien siirtyminen levyjäykisteelle Liitos elementin pääpalkkiin
3	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain alakaton pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Liitos elementin pääpalkkiin
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa alakaton pystykuormat Jos toimii sivuttaistukena elementin pääpalkille yhdessä alakattolevytyksen kanssa Jos toimii koko elementin levyjäykisteenä 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Levyjäykistys Voimien siirtyminen levyjäykisteelle Liitos elementin pääpalkkiin
<p>ELEMENTIN KANTAVAT OSAT</p> <p>Osa 1: Elementin pääpalkki</p> <p>Osa 2: Vesikaton kantava runko (sis. vesikatteen alusrakennellevytyksen)</p> <p>Osa 3: Alakaton kantava runko</p> 		

Taulukossa 2 on esitetty rakenteellisesti liimatun kattoelementin rakenneosien toimintaa normaalilämpötilassa. Erilaiset kuormat ja niiden yhdistelmät vaikuttavat eri tavalla kuhunkin rakenneosaan.

Taulukko 2. Rakenteellisesti liimatun kattoelementin toiminta normaalilämpötilassa (Hal-
liPES 1.0 2014c, 3).

RAKENTEELLISESTI LIIMATTU KATTOELEMENTTI NORMAALILÄMPÖTILASSA		
Osa	Rakenneosan toiminta	Rakenneosan suunnittelussa huomioitavia seikkoja
1	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain yläpohjan pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa yläpohjan pystykuormat Jos siirtää primäärirungon sivuttaistuentavoimia jäykisteille 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus + Normaaliveima (yhteisvaikutus) Liitos pääkannattimeen Normaaliveiman siirtäminen elementtijatkoksissa
2	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain vesikaton pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vesikaton pystykuormat Jos toimii koko elementin levyjäykisteenä 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Levyjäykistys Voimien siirtyminen levyjäykisteelle
3	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa vain alakaton pystykuormat 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Liitos elementin pääpalkkiin (ripustuskuorma)
	<ul style="list-style-type: none"> Jos kantaa alakaton pystykuormat Jos toimii koko elementin levyjäykisteenä 	<ul style="list-style-type: none"> Taivutus Levyjäykistys Voimien siirtyminen levyjäykisteelle Liitos elementin pääpalkkiin (ripustuskuorma)

ELEMENTIN KANTAVAT OSAT

Osa 1: Elementin pääpalkki (ripa)

Osa 2: Vesikaton kantava rakenne (ylälaippa)

Osa 3: Alakaton kantava rakenne (alalaippa)

3.2 Lämmöneristys

Rakennuksen lämmöneristysten suunnittelussa tulee ottaa huomioon rakennusosien oikeanlainen lämpö- ja kosteustekninen toiminta (C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2010). Tuuletettujen kattoelementtien U-arvo on yleensä 0,07–0,15 W/m²K riippuen kohteen ja tilaajan vaatimuksista. (LVL Handbook Europe 2020, 73.) Yleensä yläpohjan lämmöneristys toteutetaan riittävän paksuilla mineraalivillaeristeillä tai polyuretaanieristeillä (ks. esim. SP Elementit 2017).

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan yläpohjan lämmönläpäisykertoimenä käytetään U-arvoa $0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Puolilämpimän tilan yläpohjalle vastaava arvo on $0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017.) Rakennusosan pienen osan lämmönläpäisykerroin saa olla näitä arvoja suurempi, jos se on tarpeellista lujuuden takia tai muista erityisistä syistä. Pienen osan poikkeaminen vaatimuksista aiheuttaa kylmäsilan. Kylmäsilta ei saa kuitenkaan aiheuttaa kosteuden tiivistymistä tai liiallisen korkeaa suhteellista kosteutta rakenteen pinnassa tai rakenteessa. (C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2010.)

Lämmin tila on tila, jonka mitoittava huonelämpötila on 17 astetta tai sitä korkeampi. Jäähdytettävä kylmä tila on tila, jossa jäähdytysjärjestelmän avulla ylläpidetään ympäri vuotisesti alle 17 asteen lämpötilaa. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi viileät kellarit ja varastotilat. Puolilämpimällä tilalla tarkoitetaan tilaa, joka ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun normaalia sisävaatetusta käyttäen. Tilan lämpötila on keskimäärin 5-17 astetta. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017.)

Yläpohjiin on yleensä asennettava ilmansulku. Se on rakennusainekerros, jonka tehtävänä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi ja näin ollen parantaa lämmöneristävyyttä. (Sisäilmayhdistys ry 2020.)

3.3 Kosteudenhallinta

Riittävällä yläpohjan tuuletuksella vähennetään kosteusvaurioiden muodostumista. Toimiva tuuletus poistaa kattorakenteista sinne luonnollisesti kertyneen kosteuden. (Kattoliitto ry 2019, 64.) Tuuletetuissa kattoelementeissä tulee huomioida, että elementissä on riittävän korkea tuuletusväli ja että elementeistä muodostuvassa kattokokonaisuudessa on esteettömästi toimiva tuuletus, eli ilma pääsee sisään ja ulos. Tehdasvalmisteiset vedeneristetyt puuelementit säilyvät kuivina yläpohjan valmistumiseen saakka, joten yläpohjassa ei ole ylimääräistä kosteutta, jonka tulisi poistua yläpohjan tuuletusjärjestelmän kautta. Tämän vuoksi tehdasvalmistetuissa kattoelementeissä voidaan käyttää matalampaa tuuletusväliä kuin paikallarakennetuissa katoissa. Tuuletusvälin vähimmäismitta on yleensä 100 mm. Yläpohjan tuuletusvaatimukset tehdasvalmisteisille kattoelementeille on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 4 on esitetty hyvin tuulettuvan katon ohjeellinen tuuletuksen mitoitus, joka on julkaistu Kattoliiton Toimivat katot 2019 -julkaisussa. Tuuletetuissa kattoelementeissä ei yleensä käytetä kahdensuuntaista ristituuletusta, vaan

tuuletus toteutetaan yhdensuuntaiseksi katon lappeen suuntaan. (HalliPES 1.0 2014b, 9–10.) Normaalisti tuuletusväli sijaitsee lämmöneristeen ja aluskatteen välissä. Käytettäessä diffuusioavointa aluskatetta, joka on suoraan lämmöneristeen päällä, tuuletusväli tulee aluskatteen ja vesikatteen väliin. Jyrkillä katoilla tulee olla riittävän suuret tuuletusaukot alaräystäillä ja poistoilma-aukot on sijoitettava mahdollisimman ylös, jotta painovoimainen tuuletus toimii. Tuulesta voidaan tarvittaessa tehostaa esimerkiksi alipainepuhaltimilla tai harjatuuletuksella. Tehokas tuuletus vähentää lumen sulamisesta aiheutuvia kosteusriskejä. (Kattoliitto ry 2019, 64–65.)

Taulukko 3. Tehdasvalmisteisen kattoelementin tuuletusvaatimukset (HalliPES 1.0 2014b, 10).

TEHDASVALMISTEISEN KATTOELEMENTIN TUULETUS			
Kattokaltevuus	Tuuletusvälin korkeuden minimiarvo ¹⁾	Tuloaukot ²⁾ promillea / katto-m ²	Poistoaukot ²⁾ promillea / katto-m ²
≥ 1 : 40	100 mm	2,5	2,5
< 1 : 40	100 mm	3,0	3,0

¹⁾ Minimituuletusvälin korkeus voi olla pienempi kuin taulukon arvo, mikäli kattoelementtivalmistajalla on tähän ohjeistus.

²⁾ Tulo- ja poistoaukot voidaan korvata alipainetuulettimilla kattoelementtivalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Taulukko 4. Hyvin tuulettuvan katon tuuletuksen ohjeellinen mitoitus (Kattoliitto ry 2019, 17).

Kattokaltevuus	min. tuuletusväli ¹⁾	ilmanottoaukot promillea/katto-m ²	poistoaukot promillea/katto-m ²
1:40 tai loivempi	300 mm	2,5	2,5
1:40–1:10	200 mm	2,5	2,5
1:10 tai jyrkempi	100 mm	2,0	2,0

¹⁾ Minimituuletusväli ottaen huomioon lämmöneristeen muodonmuutokset ja työtoleranssit. Pienillä katoilla tai katon osilla tuuletusväli voi olla pienempi kuin taulukon arvo, mikäli poisto- ja korvausilma-aukoilla on riittävä korkeusero (vähintään 500 mm) ja ilman virtausmatka tuuletusvälissä on lyhyt (alle 3 m). Tällöinkin tuuletusvälin täytyy olla jyrkissä katoissa (1:20 tai jyrkempi) vähintään 50 mm, ja loivissa katoissa (loivempi kuin 1:20) vähintään 100 mm.

Rakennuksen sisätilan kosteuden takia yläpohjaan täytyy yleensä asentaa höyrynsulku. Lämmin sisäilma on yleensä ulkoilmaa kosteampaa, jolloin kostea ilma pyrkii siirtymään vesihöyrynä rakenteen läpi sisältä ulos. Jos rakenteessa on lämmöneristeen kylmällä puolella tiivis rakenne, minkä läpi kosteus ei pääse, kosteus jää rakenteeseen. Höyrynsulun tehtävä on estää kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin, jottei esimerkiksi hometta tai lahoamista pääse syntymään. Vesikaton vaurioiden vaikutukset ulottuvat usein myös sisätiloihin ja muihin rakenteisiin. (Sisäilmayhdistys ry 2020.)

Vesikatteen alle asennetaan aluskate, jonka pääasiallisena tehtävänä on johtaa vesikatteen alapintaan muodostuva kondenssivesi ja katteen saumoista vuotava vesi hallitusti ulkoseinälinjan ulkopuolelle. Aluskatteen läpäisevien läpivientien kohdalla katteen tiiviys pitää varmistaa läpivientitiivisteillä. Aluskatteen ja varsinaisen katteen väliin jätetään riittävä tuuletusväli. Hengittävän aluskatteen kanssa tuuletusväliä ei välttämättä tarvita. Aluskatteen puuttuminen tai viallisuus voi aiheuttaa kosteuden pääsyn yläpohjan rakenteisiin, jolloin syntyy helposti hometta tai tapahtuu lahoamista. Aluskatteen kuntoa ja toimivuutta kannattaa tarkkailla, jotta välttyään isommilta vaurioilta. (Kattoliitto ry 2019, 78.)

Vesikatteen on oltava tiivis ja sen on kestettävä veden, lumen ja jään aiheuttamat rasitukset sekä huoltotoimien vaatima liikkuminen katolla. Veden poistaminen katolta toteutetaan tarvittaessa riittävän isoilla kattokaivoilla, räystäskouruilla ja syöksytorvilla. Kattokaivojen sisäpuoliset viemärit on suunniteltava siten, ettei niiden pinnalle tiivisty kosteutta eivätkä ne pääse jäätymään. Vedenpoisto täytyy suunnitella niin, ettei varsinaisen vedenpoistojärjestelmän tukkiutuessa ylivuotava vesi kastele rakenteita. (Sisäilmayhdistys ry.)

3.4 Paloturvallisuusvaatimukset

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta on asetettu vaatimuksia rakennusten ja rakenteiden palosuunnitteluun liittyen. Samaisessa asetuksessa kuvataan, mitä paloluokkia on ja miten paloluokka ja palokuormaryhmä määrittyvät. Asetuksessa käsitellään myös yläpohjiin kohdistuvia paloturvallisuusvaatimuksia.

Pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on tehtävänsä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelusta siten, että ra-

kennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää paloturvallisuudelle asetettut olennaiset tekniset vaatimukset. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 3.)

Rakennusten paloluokkia ovat P0, P1, P2 ja P3. Luokkia 1–3 on käytettävä, kun rakennus suunnitellaan ympäristöministeriön asetuksen mukaisten luokkien ja lukuarvojen perusteella. P0-luokkaa käytetään, kun rakennus suunnitellaan käyttäen palonkehitykseen perustuvaa menettelyä. Rakennuksen eri osat voivat olla kuulua ei paloluokkiin, jos palon leviäminen osasta toiseen estetään palomuurilla. Rakennus tai sen palo-osasta ryhmitellään sen pääkäyttötarkoituksen perusteella. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 3.)

Paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu. Paloluokan P2 rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla paloteknisesti matalampia kuin luokassa P1. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia pintaosille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu käyttötapaan perustuen. Paloluokkaan P3 kuuluvan rakennuksen kantaville rakenteille ei ole erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömäärää rajoittamalla. (HalliPES 1.0 2014a, 1.)

Toiminnot jaetaan tuotanto- ja varastotiloissa kahteen palovaarallisuusluokkaan:

- 1) *toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara;*
- 2) *toiminnot, joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara taikka joissa voi esiintyä räjähdysvaara. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 3.)*

Taulukossa 5 on esitetty P3-paloluokan rakennusten käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa eli kerroslukumäärää, korkeutta ja kerrosalaa. Korkeaa turvallisuutta vaativilla rakennuksilla on tiukemmat rajoitukset: esimerkiksi autosuojan vaatimukset ovat kevyemmät kuin hoitolaitoksen.

Taulukko 5. P3-luokan rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 5).

Rakennus	Kerros-luku enintään	Korkeus ¹⁾ enintään	Kerrosala enintään
1-kerroksinen, yleensä	1	9 m	2 400 m ² (4 800 m ² *)
2-kerroksinen, yleensä	2	9 m	1 600 m ² (2 400 m ² *)
Hoitolaitos	1	9 m	2400 m ²
Tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	14 m	ei rajoitusta
Erillisenä rakennuksena oleva maataloustuotteiden kuivaamo	1	18 m	ei rajoitusta
Autosuoja	1	9 m	ei rajoitusta
Asuinrakennus, jonka päällekkäiset kerrokset kuuluvat eri asuinhuoneistoon	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu

¹⁾ Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.
²⁾ Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m² ja osastoimattomana enintään 50 m² oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.
 * Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Paloluokan P2 rakennuksen palotekniset vaatimukset ovat tiukemmat kuin P3-luokan rakennuksessa. Taulukossa 6 on esitetty P2-paloluokan rakennusten käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset. Rakennuksen kerroslukua, korkeutta tai kerrosalaa voidaan rajoittaa, jotta riittävä turvallisuustaso saavutetaan.

Taulukko 6. P2-luokan rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 5).

Rakennus	Kerrosluku enintään	Korkeus ¹⁾ enintään	Kerrosala enintään
Yleensä	2	9 m	ei rajoitusta
1-kerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Palovaarallisuusluokan 2 tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos), majoitusrakennus ja työpaikkarakennus ³⁾	8 *	28 m *	12 000 m ² *
Yli 2-kerroksinen kokoontumis- ja liikerakennus ³⁾	4 *	14 m *	12 000 m ² *
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon ³⁾	4	14 m	12 000 m ²

¹⁾ Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.
²⁾ Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m² ja osastoimattomana enintään 50 m² oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.
³⁾ Rakennuksessa ei sallita tiloja, joissa on palokuormaa yli 1200 MJ/m².
 * Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Paloluokkien P2- ja P3-rakennuksissa on rajoitettu henkilömääriä ja paikkalukuja (Halli-PES 1.0 2014a, 1). Rakennuksen kerrosmäärä ja käyttötarkoitus vaikuttavat rajoitusten tiukkuuteen. Mitä enemmän kerroksia rakennuksessa on, sitä tiukemmat rajoitukset ovat. Vaatimukseen vaikuttaa rakennuksen käyttötarkoitus: esimerkiksi majoitustilojen rajoitukset ovat tiukemmat kuin tuotanto- ja varastotilojen. Taulukossa 7 on esitetty paloluokkien P2 ja P3 suurimmat sallitut henkilömäärät.

Taulukko 7. P2- ja P3-paloluokan rakennuksen suurin sallittu henkilömäärä tai paikkaluku (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 5).

Rakennuksen paloluokka	P2			P3	
Kerroksia	1	2	yli 2 kerrosta *	1	2
Käyttötarkoitus					
Asunnot, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150 (250 *)
Majoitustilat, majoituspaikkoja	150 (300 *)	50 (100 *)	500	50 (100 *)	10
Hoitolaitokset, hoitopaikkoja	100 (200 *)	25 (50 *)	150	10 (25 *)	ei sallittu
Kokoonntumis- ja liiketilat, henkilöitä	ei rajoitusta	250 (500 *)	1 000	500 (1 000 *)	50
Työpaikatilat, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150
Tuotanto- ja varastotilat, henkilöitä	ei rajoitusta	50 (100 *)	ei sallittu	ei rajoitusta	ei sallittu
Kaksikerroksisen rakennuksen henkilömäärärajoitukset koskevat tapauksia, joissa mainitun käyttötarkoituksen mukaiset tilat on sijoitettu kokonaan tai osaksi rakennuksen toiseen kerrokseen. Jos näitä tiloja on vain ensimmäisessä kerroksessa, voidaan soveltaa yksikerroksista rakennusta koskevia rajoituksia. Mikäli rakennuksessa on eri käyttötarkoituksiryhmiin kuuluvia tiloja, rakennuksen turvallisuustaso arvioidaan tarkastelemalla rakennusta kokonaisuutena. * Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Poikkeuksena enintään 14 metriä korkea asuinrakennus, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon.					

Palon syttymisen vaaran rakennuksessa on oltava mahdollisimman pieni. Palon syttymisen sekä palon ja savun leviämisen vaara ei saa olennaisesti lisääntyä teknisten asennusten takia. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 6.)

Rakennus tai sen rakennusosat eivät saa aiheuttaa vaaraa sortumisen vuoksi määrätynä aikana palon alkamisesta. Joskus on tarpeellista henkilöturvallisuuden tai vahinkojen suuruuden takia, että rakennus kestää sortumatta koko palokuorman palamisen ja jäähtymisen. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 6.)

P1- ja P2-paloluokan rakennusten rakenteiden kantavuutta koskeviin luokkavaatimukseen sovelletaan taulukkoa 8.

Taulukko 8. Kantavien ja jäykistävien rakenteiden luokkavaatimukset P1- ja P2-paloluokan rakennuksissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 7).

Rakennus	Rakennuksen paloluokka ja palokuormaryhmät MJ/m ²			
	P1			P2
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	-
1–2-kerroksinen rakennus, yleensä	R 120 (R60 *)	R 90 (R60 *)	R 60	R 30
– hoitolaitokset, majoitustilat	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 30
– ylin kellarikerros	R 120, A2 (R90 *, A2)	R 90, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60, A2
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne on kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30
– yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 60 (R30 *) (R15, A2 *)	R 30 (R15 *) (R15, A2)
– yläpohja rakennuksessa, jossa ei ole ullakkoa ja rakenne ei ole kantavan rungon olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on enintään 28 m, yleensä	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * # ^{3) 4)}
– ylin kellarikerros	R 180, A2 (R90 *, A2)	R 120, A2 (R60 *, A2)	R 60, A2	R 60 * A2
– asuinrakennus, asunto, ylin kerros	R 60 +	R 60 +	R 60 +	R 60 * # ³⁾
– asuinrakennus, asunto, kaksi ylintä kerrosta ²⁾	R60 * #	R60 * #	R60 * #	R 60 * # ³⁾
– yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka korkeus on enintään 14 m ja jonka kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45, A2 (R30, A2 *)	R 45 # (R30 * #)
Yli 2-kerroksinen rakennus, jonka korkeus on yli 28 m mutta enintään 56 m	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2 (R90 *, A2)	ei mahdollinen
Yli 2-kerroksinen rakennus jonka korkeus on yli 56 m	R180 *, A2	R120 *, A2	R 120 *, A2	ei mahdollinen
Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240, A2 (R180 *, A2)	R 180, A2 (R120 *, A2)	R 120, A2	R 120, A2 (R90 *, A2)
<p>Parvekkeiden palonkestävyysvaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta.</p> <p>Kantavien rakenteiden on oltava vähintään D-s2, d2 -luokan tarviketta, ellei taulukossa toisin mainita.</p> <p>Uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 30. Ylimmän kellarikerroksen alapuolella sijaitsevan kellarikerroksen uloskäytävän porrassyöksen ja -tasanteen luokkavaatimus on R 60. Jos kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimus A2-s1, d0, tämä koskee myös porrassyöksiä ja -tasanteita. Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävän porrassyökset ja -tasanteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.</p> <p>Ullakon tai ontelon vesikattorakenteille, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita, ei aseteta palonkestävyysvaatimusta.</p> <p>¹⁾ Kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundääräkannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.</p> <p>²⁾ Kun kolme ylintä kerrosta, lukuun ottamatta uloskäytävää, on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p>³⁾ Huom. 24 § 3 momentissa esitetyt vaatimukset.</p> <p>⁴⁾ Jos käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä on 600–1 200 MJ/m², luokkavaatimus on R 90 * # ³⁾</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p> <p># Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.</p> <p>+ Lämmöneristeiden ja muiden täytteiden on oltava eristävältä osaltaan vähintään D-s2, d2 -luokkaa.</p> <p>A2 Kantavien rakenteiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.</p>				

Jos rakennuksen koko, kerroksisuus ja käyttötarkoitus sitä edellyttävät, on rakennus jaettava palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi sekä pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi. Osastoivan rakennusosan on estettävä palon leviäminen palo-osastosta toiseen määrätyn ajan. Osastoivan rakennusosan läpiviennit eivät olennaisesti saa heikentää rakennusosan osastoivuutta. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 8–12.) Osastoivien rakennusosien luokkavaatimuksiin sovelletaan taulukkoa 9.

Taulukko 9. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 11).

	Rakennuksen paloluokka ja kerrosluku sekä palokuormaryhmä MJ/m ²					
	P1			P2 yli 2 kerrosta	P2 1–2 kerrosta	P3
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	–	–	–
Kerrokset, yleensä	EI 120 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 90 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 60 ¹⁾	EI 60 ²⁾	EI 30	EI 30
– yli 56 metriä korkea rakennus	EI 90, A2 *	EI 60, A2 *	EI 60, A2 *	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
– yläpohja, jos osastoivuusvaatimus	EI 60	EI 60	EI 60	EI 60 ²⁾	EI 30	EI 30
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1, pinta-alaosastointi	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2, pinta-alaosastointi	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 60, A1 *
– autosuojat, pinta-alaosastointi	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	ei mahd.	EI 60	EI 30
Ullakon osastoivat seinät, pinta-alaosastointi	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30
Kellarikerrokset	EI 120, A2 (EI 90, A2 *)	EI 90, A2 (EI 60, A2 *)	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 30, A2 ³⁾

¹⁾ Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävien osastoivat rakennusosat on tehtävä vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.

²⁾ Huom. 24 §:n 3 momentissa esitetyt vaatimukset.

³⁾ Yhdelle asunnolle kuuluvassa kellarissa luokkavaatimus on EI 30.

A1 Tarvikkeet A1 luokkaa
A2 Tarvikkeet vähintään A2-s1, d0 -luokkaa

* Kun rakennus tai tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Rakennuksessa käytettävät tarvikkeet eivät saa myötävaikuttaa palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 12). Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset on määritetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 14).

Käyttötarkoitus	Pinta	Rakennuksen paloluokka		
		P1	P2	P3
Asunnot	seinät ja katot	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ⁴⁾	D-s2, d2 ¹⁾
Majoitustilat	seinät ja katot	D-s2, d2	B-s1, d0 ^{4) 2)} (C-s2, d1* ^{4) 2)})	D-s2, d2
Hoitolaitostilat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	D-s2, d2 –
Kokoontumis- ja liiketilat				
– enintään 300 m ² palo-osasto: ravintolat, myymälät, koulut, liikuntahallit, teatterit, kirkot, päiväkodit ja päivähoitolaitokset	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2 ⁴⁾	D-s2, d2
– yli 300 m ² palo-osasto: ravintolat, koulut, liikuntahallit, teatterit, kirkot, päiväkodit ja päivähoitolaitokset	seinät ja katot	C-s2, d1 (D-s2, d2*)	C-s2, d1 ⁴⁾ (D-s2, d2* ⁴⁾)	D-s2, d2
– yli 300 m ² palo-osasto: myymälät, näyttelyhallit ja kirjastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 (C-s2, d1*) D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ (C-s2, d1* ⁴⁾) D _{FL} -s1	B-s1, d0 (C-s2, d1*) –
Työpaikkatilat	seinät ja katot	D-s2, d2 ¹⁾	B-s1, d0 ^{4) 2)} (D-s2, d2* ⁴⁾)	D-s2, d2 ¹⁾
Tuotanto- ja varastotilat				
– palovaarallisuusluokka 1	seinät katot lattiat	D-s2, d2 D-s2, d2 D _{FL} -s1	D-s2, d2 ⁴⁾ B-s1, d0 D _{FL} -s1	D-s2, d2 D-s2, d2 –
– palovaarallisuusluokka 2	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1
Autokorjaamot ja -huoltamot, autosuojat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁵⁾ A2 _{FL} -s1
Ullakot ja yläpohjan ontelot				
– ullakot sekä yläpohjan ontelot, jotka on osastoitu alapuolisesta tilasta	ullakon tai ontelon sisäpinnat	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ¹⁾	–
– asuinrakennuksen irtaimiston säilytystä tai pyykinkuivausta varten tarkoitettu ullakko	lattiat	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1	D _{FL} -s1
– yläpohjan ontelot, joita ei ole osastoitu alapuolisesta tilasta. Vaatimus ei koske lämmöneristeen tuuletusuria.	ontelon sisäpinnat	B-s1, d0 ¹⁾	B-s1, d0 ¹⁾	–
Kellarit	seinät ja katot lattiat	C-s2, d1 D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1	D-s2, d2 D _{FL} -s1
Teknisen huollon tilat	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Kattilahuoneet, syöttöhuoneet ja nestemäisen polttoaineen varastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1
Kiinteän polttoaineen varastot	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 A2 _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ A2 _{FL} -s1	D-s2, d2 –
Uloskäytävät ja palosulut	seinät ja katot lattiat	A2-s1, d0 ³⁾ D _{FL} -s1	A2-s1, d0 ³⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Sisäiset käytävät majoitus ja työpaikkatiloissa	seinät ja katot lattiat	B-s1, d0 D _{FL} -s1	B-s1, d0 ⁴⁾ D _{FL} -s1	B-s1, d0 D _{FL} -s1
Saunat ja kylpyhuonetilat	seinät ja katot	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2

Taulukon vaatimuksia sovelletaan myös putkien, ilmaputkien tai niiden eristeiden pintoihin, jollei näiden määrä ole vähäinen. Putkimaisten eristeiden osalta taulukon arvoja sovelletaan siten, että seinä ja kattoja koskien paloon osallistumista kuvaavan luokan merkintään lisätään alaindeksi L. Savun tuottoa sekä palavaa pisarointia koskevat lisämääräykset pysyvät samoina.

¹⁾ Vähäisiä osia pinnoista voidaan verhota tarvikkeilla, jotka eivät täytä vaatimusta.

²⁾ Vähäisiä osia seinäpinnoista voidaan verhota D-s2, d2 -luokan tarvikkeilla. Koskee myös suojaverhottuja seinä.

³⁾ Vähäisten rakennusosien pintojen luokkavaatimus on B-s1, d0.

⁴⁾ Kun suojaverhoaus vaaditaan, pintaluokkavaatimus määräytyy suojaverhouksen tarvikeluokkavaatimuksen mukaan.

⁵⁾ Enintään 1 000 neliömetrin erillisessä autosuojassa ja rakennuksen osana olevassa enintään 60 neliömetrin autosuojassa luokkavaatimus on kellarikerrosta lukuun ottamatta D-s2, d2.

* Kun tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla
– ei vaatimusta

Ympäristöministeriön asettamat vaatimukset yläpohjan palokestävyydelle:

Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen ja yli 56 metriä korkea P1-paloluokan rakennuksen lämmöneristeen ja muun täytteet on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa. Enintään 56 metriä korkeassa P1-paloluokan rakennuksessa voidaan käyttää lämmöneristettä, joka eristävältä osaltaan täyttää B-s1, d0 -luokan vaatimukset tai lämmöneriste on suojattu ja sijoitettu niin, että palon leviäminen eristeeseen on rajoitettu ajan, joka on rakennuksen sisäpuolelta ja aukkojen pielen osalta vähintään tilan osastoivien rakennusosien palonkestävyysaikavaatimus. Edellä mainitusta poiketen kuitenkin riittää, että palon leviäminen eristeeseen on rajoitettu ajan, joka on vähintään puolet tilan osastoivien rakennusosien palonkestävyysaikavaatimuksesta: 1) 1–2-kerroksisessa ullakottomassa rakennuksessa; 2) enintään 28 metriä korkeassa rakennuksessa, jos lämmöneriste eristävältä osaltaan täyttää D-s2, d2 -luokan vaatimuksen. Läpiviennit ja muut asennukset on toteutettava siten, ettei lämmöneristeiden suojaus niiden johdosta olennaisesti heikkene. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 18.)

Yläpohjan kate ei saa syttyä helposti toisen rakennuksen palosta eikä palo saa levitä katteessa tai sen alustassa vaaraa aiheuttavalla tavalla. Katteen on oltava BROOF(t2)-luokkaa. Tähän luokkaan kuulumaton kate voidaan kuitenkin hyväksyä, jos kyseessä on erillinen tulisijaton rakennus tai muu erityistapaus, missä ei ole aluepalon vaaraa. Suuret kattopinnat on jaettava enintään 2 400 neliömetrin osiin. Vaatimus ei koske tapauksia, joissa katteen alusta on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa tai muita ratkaisua, joiden paloturvallisuustaso on riittävä. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017, 18.)

Puurakenteiden palomitoituksessa käytetään suunnittelustandardin EN 1995-1-2 mukaisia ohjeita, kuten RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019.

Paloteknisten ominaisuuksien näkökulmasta elementtien rakennesuunnittelussa on otettava huomioon levytyyppi ja -määrä, elementin kantavan rakenteen dimensiot, villatyypit ja liitostyypit. Kattoelementit suunnitellaan aina tapauskohtaisesti huomioiden kattoelementin toiminta normaalilämpötilassa ja palotilanteessa yhdessä primäärirungon kanssa. Elementtien kantavat rakenteet mitoitetaan palotilanteessa vain alapuoliselle

palolle, joten ontelopaloa ei tarvitse tarkastella. Ontelo täytyy jakaa 1600 m²:n palo-osastoihin EI 30 -rakentein ja kyseiset osastot täytyy jakaa 400 m²:n osiin EI 15 -rakentein. (HalliPES 1.0 2014c, 1–2.)

Taulukossa 11 on esitetty asioita, jotka täytyy huomioida palomitoitusta tehdessä, kun kyseessä on palkkirakenteinen kattoelementti. Palomitoitusmenetelmästä riippuen täytyy mitoituksessa ottaa huomioon muun muassa kiepahdus- ja nurjahdustuennan säilyminen palossa, villan palonkesto-ominaisuudet, rakenneosien dimensiot, liitosten palonkestävyys ja levyjäykistystoiminta palotilanteessa.

Taulukko 11. Palkkirakenteinen kattoelementti palotilanteessa (HalliPES 1.0 2014c, 4).

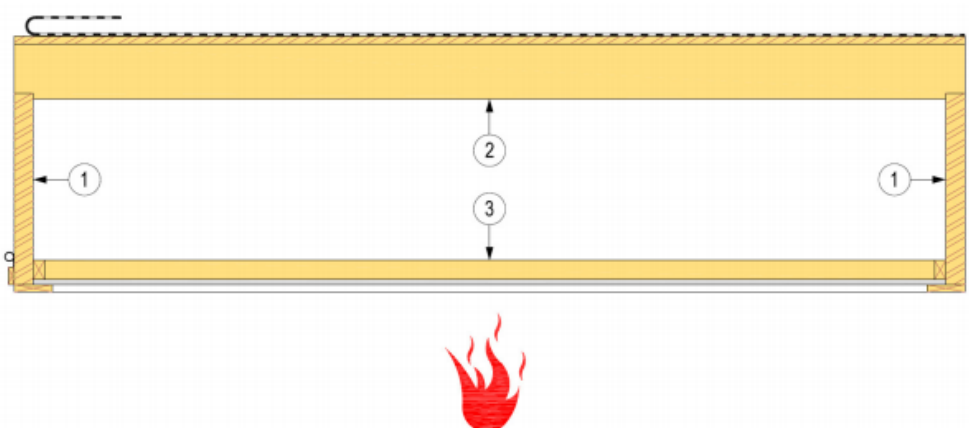
PALKKIRAKENTEINEN KATTOELEMENTTI PALOTILANTEESSA	
Palomitoitusmenetelmä	Palomitoituksessa huomioitavia seikkoja
<ul style="list-style-type: none"> Jos suojataan koko palonkestoajalle (rakenneosat eivät hiilly) 	<ul style="list-style-type: none"> Alakaton palosuojauksen tulee kestää koko palonkestoajan Kiepahdustuennan säilyminen palossa Nurjahdustuennan säilyminen palossa
<ul style="list-style-type: none"> Jos suojataan osaksi palonkesto ajasta (rakenneosat hiiltävät, kun palosuojalevytys menettää tai alkaa menettämään palosuojauskykyään) 	<ul style="list-style-type: none"> Alakaton rungon tulee kantaa villat koko palonkestoajan Elementin villan tulee olla palonkestävä (kivivilla) Rakenneosien dimensiot kasvavat hiiltymävaran takia Kiepahdustuennan säilyminen palossa Nurjahdustuennan säilyminen palossa Mahdollinen levyjäykistystoiminnon säilyminen palossa Elementin liitosten palonkestävyys

ELEMENTIN KANTAVAT OSAT

Osa 1: Elementin pääpalkki

Osa 2: Vesikaton kantava runko (sis. vesikatteen alusrakennelvytyksen)

Osa 3: Alakaton kantava runko



Taulukossa 12 on esitetty rakenteellisesti liimattun kattoelementin rakenneosien toimintaa palotilanteessa. Kuten taulukosta voidaan havaita, palomitoituksessa täytyy ottaa tapauskohtaisesti huomioon esimerkiksi levyjäykisteen toiminta palotilanteessa ja liitoksien palonkestävyys.

Taulukko 12. Rakenteellisesti liimattu kattoelementti palotilanteessa (HalliPES 1.0 2014c, 5).

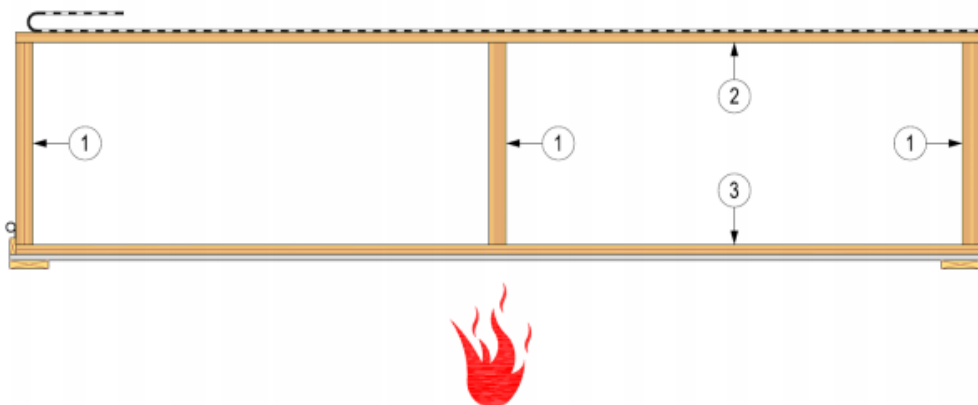
RAKENTEELLISESTI LIIMATTU KATTOELEMENTTI PALOTILANTEESSA	
Palomitoitusmenetelmä	Palomitoituksessa huomioitavia seikkoja
<ul style="list-style-type: none"> Jos suojataan koko palonkestoajalle (rakenneosat eivät hiilly) 	<ul style="list-style-type: none"> Alakaton palosuojauksen tulee kestää koko palonkesto aika
<ul style="list-style-type: none"> Jos suojataan osaksi palonkesto ajasta (rakenneosat hiiltävät, kun palosuojalevytys menettää tai alkaa menettämään palosuojauskykyään) 	<ul style="list-style-type: none"> Alalaipan tulee kantaa villat koko palonkestoajan Hiiltynyt alalaippa ei toimi liittorakenteena pääpalkin kanssa Mahdollinen levyjäykistystoiminnon säilyminen palossa Alalaipan liitoksien palonkestävyys

ELEMENTIN KANTAVAT OSAT

Osa 1: Elementin pääpalkki (ripa)

Osa 2: Vesikaton kantava rakenne (ylälaippa)

Osa 3: Alakaton kantava rakenne (alalaippa)



3.5 Äänieristys

Rakennuksen tarkoituksenmukainen käyttö edellyttää oikeanlaista ääniympäristöä. Hyvä ääniympäristö saadaan aikaan suunnittelemalla ääneneristys, melun- ja värinän- torjunta sekä ääniolosuhteet käyttötarkoitukseen sopiviksi. Ääniympäristöä voidaan parantaa pienentämällä rakennuksen ulko- ja sisäpuolisten ääni- ja värähtelylähteiden melupäästöä, estämällä äänen leviämistä sekä sijoittamalla ääntä tuottavat ja melulle herket toiminnot mahdollisimman kauas toisistaan. Melu vaikuttaa haitallisesti ihmisten terveyteen, asumisen laatuun, maankäyttöön ja rakentamiseen sekä asuinympäristön arvoon. Hyvä ääniympäristö mahdollistaa levon ja keskittymisen. Lisäksi työteho, työturvallisuus ja työhyvinvointi paranevat. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 2.)

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristön vähimmäisvaatimuksista asettaa vaatimuksia meluntorjunnalle ja ääniolosuhteille. Asetuksessa on säädöksiä muun muassa äänieristyksestä, melun- ja värinän- torjunnasta ja ääniolosuhteista. Ympäristöministeriön asetusta sovelletaan rakennuksiin, joissa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, taikka opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- tai toimistotiloja. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 13.)

Rakenteiden ääneneristävyys ja taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on oltava sellaisia, että rakennuksessa oleskelevien uni ja lepo eivät häiriinny ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta on ääniolosuhteiden puolesta mahdollista. Rakennuksen ääniolosuhteet on määritettävä äänitason ja kaiuntaisuuden avulla sekä piha- ja oleskelualueilla äänitasojen avulla. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1992/132.)

Ulkovaipan ääneneristysvaatimus voidaan esittää kaavamääräyksenä tai -merkintänä. Vaatimuksella tarkoitetaan äänitasoeroa, mikä on ulkomelun keskiäänitason ja sallitun sisämelun keskiäänitason erotus. Ulkovaipan ääneneristävyys koostuu kaikkien ulkovaipan rakenneosien yhdessä muodostamasta ääneneristävyystä, joten rakenneosia ei käsitellä yksittäisinä osina ulkovaipan ääneneristävyyttä määrittäessä. Ulkovaipan on syytä eristää ulkoa tulevaa melua, kuten tie- ja raideliikenteen sekä lentoliikenteen melua. Erityisesti lentoliikenteen aiheuttama melu kohdistuu juuri yläpohjaan. Rakenteiden ja niiden ilmatiivyyden lisäksi huomiota tulee kiinnittää ulkoilmaventtiilien, ilmakeinien ja läpivientien ääneneristävyyteen. (Lahtela 2004, 53.)

4 KATTOELEMENTTIEN RAKENNESUUNNITTELU

Kattoelementit koostuvat kantavista palkeista, joiden rakenteena voidaan käyttää sahatavara-, viilupuu-, liimapuu- tai uumalevypalkkeja. Palkkikoko ja -jako suunnitellaan tapauskohtaisesti kuormitusten asettamien vaatimusten mukaan. (Kilpeläinen ym. 2001, 42.) Palkit mitoitetaan taivutukselle ja leikkaukselle. Lisäksi palkkien taipumien pitää pysyä sallituissa rajoissa. Mikäli elementit toimivat jäykistävinä rakenteina, niihin kohdistuu puristusta, jolloin myös normaalivoiman vaikutus on otettava huomioon ja on mitoitettava puristetun sauvan nurjahduskestävyys. Jos taas rakennuksen runko hoitaa jäykistykseen, normaalivoimaa ei tarvitse huomioida. Nurjahduskestävyyden mitoittamista ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä.

Suunnittelustandardi EN 1995 (Eurokoodi 5) koskee rakennusten suunnittelua käytettäessä sahatavaraa, höylättyä ja pyöreää puutavaraa, liimapuuta tai puisia rakenteisiin tarkoitettuja tuotteita, kuten LVL-tuotteita tai puulevyjä, jotka on valmistettu liimaamalla tai mekaanisin liittimin. (Puuinfo 2018, 8.)

Puurakenteet suunnitellaan siten, että standardissa EN 1990:2002 ja sitä koskevassa kansallisessa liitteessä esitetyt perusvaatimukset täyttyvät. Perusvaatimukset täyttyvät, kun käytetään rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää Eurokoodi 0:n ja sen kansallisen liitteen mukaan, kuormat ja kuormayhdistelmät määritetään Eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaan ja kun kestävyyksien, käyttökelpoisuuksien ja säilyvyyden osalta noudatetaan Eurokoodi 5:ttä ja sen kansallista liitettä. (Puuinfo 2018, 8.)

Tässä työssä käsitellään puurakenteiden mitoitusohjeita yksinkertaistaen. Tarkat mitoitusohjeet löytyvät esimerkiksi RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje -julkaisusta.

4.1 Kuormat

Suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteistä tai RIL 201-1-2017:sta. Jos suunnittelukriteereinä ovat mekaaninen kestävyys ja käyttökelpoisuus, tulee ottaa huomioon kuorman kesto ja puun kosteus. Ne vaikuttavat puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin. (Puuinfo 2018, 10.) Yläpohjan mitoituksessa tulee ottaa huomioon rakenteen oman painon, lumikuorman sekä tuulikuorman

aiheuttamat rasitukset. Tuulikuorman tarkasteleminen on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Muiden kuin tuulta vastaan jäykistävien kantavien puurakenteiden mitoituksessa ei yleensä tarvitse tarkastella tuulikuormaa yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa. Koska tuuli aiheuttaa imua, on kattorakenteiden kiinnitykset kuitenkin tarkistettava käyttäen osapintojen paikallista tuulenpainetta. (Puuinfo 2018, 13.)

Kukin kuorma määritellään yhteen aikaluokkaan, mikä kuvaa tietyn ajan vaikuttavan vakiokuorman kestoa. Taulukossa 13 on kolme tyypillisintä kuormien aikaluokkaa (pysyvä, keskipitkä ja hetkellinen) ja niihin määriteltävät kuormitukset. (Puuinfo 2018, 14.)

Taulukko 13. Kuormien jaottelu aikaluokkiin (Puuinfo 2018, 15).

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka	Kuormitukset
Pysyvä	yli 10 vuotta	Omapaino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pintakuormat luokissa A-D Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat (luokat F ja G) Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Hetkellinen		Tuuli Onnettomuuskuorma

4.1.1 Pysyvät kuormat

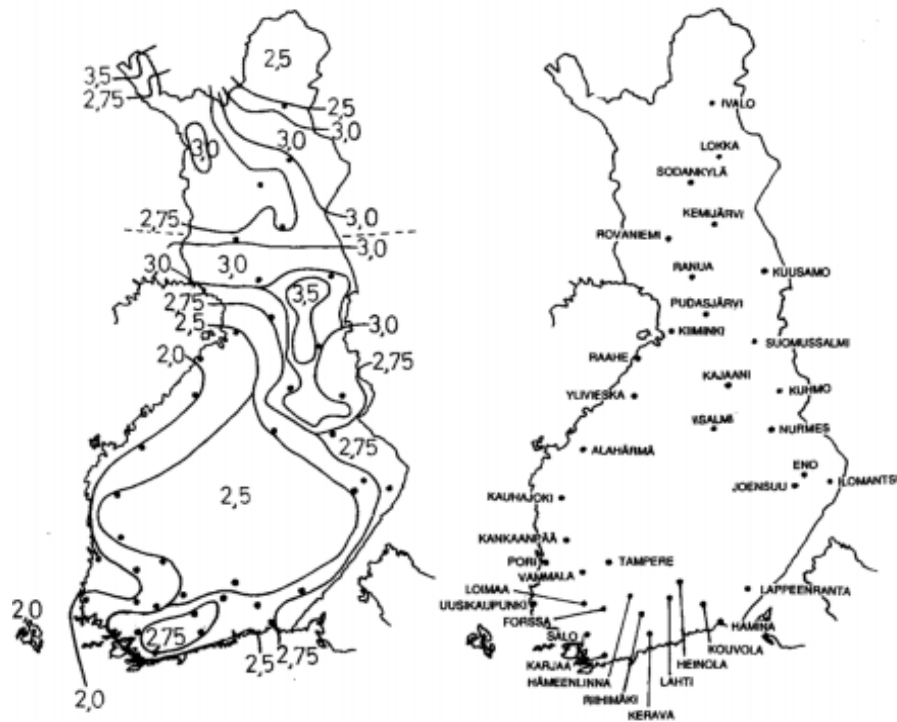
Pysyvillä kuormilla tarkoitetaan kuormia, jotka vaikuttavat rakenteessa aina. Rakennusosan omapainon ominaisarvo lasketaan käyttämällä nimellismittoja ja nimellisiä tilavuuspainoja. Tehdasvalmisteisille rakennusosille ja laitteille käytetään valmistajan ilmoittamia arvoja. Kuivalle havupuutavaralle ja siitä liimaamalla valmistetuille materiaaleille (muun muassa LVL ja liimapuu) käytetään tilavuuspainoa 5 kN/m^3 . Omaan painoon lasketaan mukaan kantavat ja ei-kantavat rakennusosat ja kiinteät laitteet. (Puuinfo 2018, 10.)

4.1.2 Lumikuorma

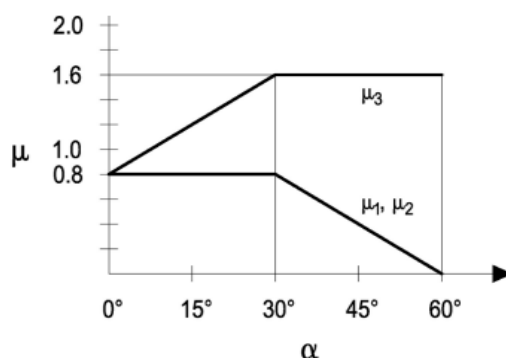
Lumikuorman määrään vaikuttaa rakennuksen sijainti sekä katon muoto. Rakennuspaikan sijainnin mukaan määräytyvät maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k on esitetty kuvassa 7. Kattojen ominaislumikuormat q_k saadaan, kun maanpinnan lumikuorma kerrotaan kuvien 8 ja 9 mukaan määritetyllä muotokertoimella μ_i . Katon ominaislumikuorma lasketaan kaavalla 1. (Puuinfo 2018, 11.)

$$q_k = \mu_i s_k$$

Kaava 1. Katon ominaislumikuorman laskentakaava (Puuinfo 2018, 11).

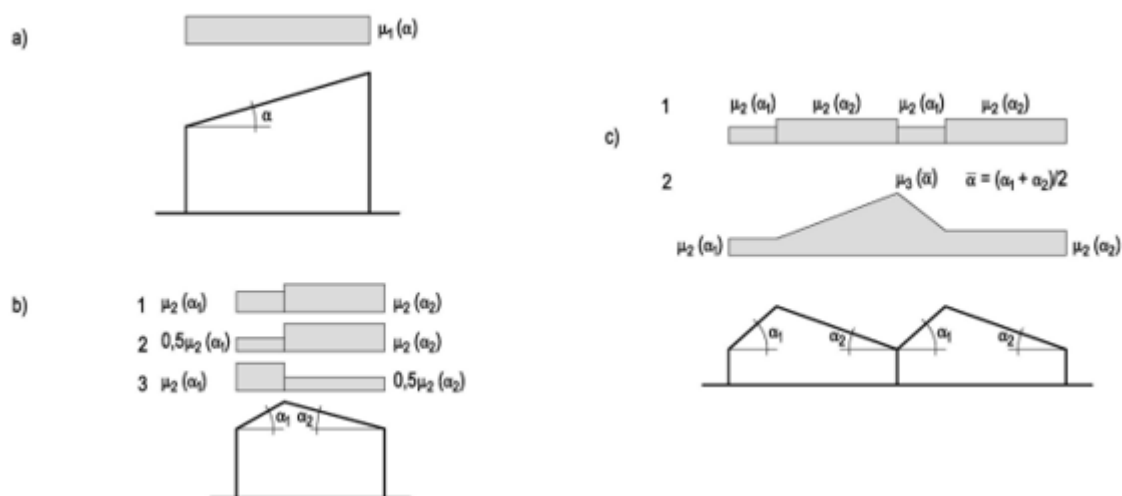


Kuva 7. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k . (Puuinfo 2018, 11)



Kuva 8. Lumikuorman muotokertoimet. (Puuinfo 2018, 12.)

Katot tarkistetaan kuvassa 9 esitetyille lumen kuormitustapauksille. Lumikuorma on kiinteä muuttuva kuorma, minkä takia lumikuorman ”liikkuvuutta” ei huomioida moniaukkoisten kattoelementtien mitoituksessa. Jos kuitenkin on odotettavissa, että katolla olevaa lunta poistetaan tai lumi jakaantuu uudelleen liukumisen takia, katto tulee suunnitella asianomaisia kuormituskaavioita käyttäen. (Puuinfo 2018, 11.)



Kuva 9. Kattojen lumikuorman muotokertoimet: a) pulpetti-, b) harja-, c) sahakatto (Puuinfo 2018, 13).

Kuvien 8 ja 9 muotokertoimien arvot otetaan huomioon, jos lunta ei estetä liukumasta katolla. Jos lumen liukumista estetään esimerkiksi lumiesteellä, niin lumikuorman muotokertoimelle käytetään vähintään arvoa 0,8. Jos katolla on tasoeroja, ulkonemia tai esteitä, täytyy mitoituksessa ottaa huomioon tuulen kinostama lumi. (Puuinfo 2018, 12.)

4.1.3 Kuormitusyhdistelmät

Rakenteellinen luotettavuus lasketaan käyttämällä eri kuormitusyhdistelmien aiheuttamia mitoituskuormia. Kuormia yhdistelemällä tarkastellaan tilanteita, kun eri kuormitukset vaikuttavat samanaikaisesti. Murtorajatilat liittyvät rakenteen varmuuteen ja ihmisten turvallisuuteen.

Murtorajatilassa kuormat yhdistellään kaavan 2 mukaisesti.

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kaava 2. Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä STR.

Mitoituskuorman on oltava kuitenkin vähintään kaavan 3 verran.

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

Kaava 3. Murtorajatilan mitoituskuorman minimiarvo.

Kaavassa 2 ja 3

K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormituskerroin

$G_{k,j}$ on pysyvät kuormat

$Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ on muut samanaikaisesti vaikuttavat kuormat

$\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

P on mahdolliset esijännitysvoimat

γ_P esijännitysvoimien osavarmuuskerroin.

Kertoimen K_{FI} arvot määräytyvät seuraamusluokan mukaan seuraavasti:

CC3 $K_{FI} = 1,1$; CC2 $K_{FI} = 1,0$; CC3 $K_{FI} = 0,9$

Käyttörajatilat ovat rajatiloja, jotka liittyvät rakenteen toimintaan normaalikäytössä. Käyttörajatiloja Käyttörajatilojen kaavat (ominaisyhdistelmä, tavallinen yhdistelmä ja pitkäaikainen yhdistelmä) ovat esitetty kaavoissa 4–6.

Ominaisyhdistelmän kaavaa 4 käytetään palautumattomille rajatiloille, kun kuormat poistetaan.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kaava 4. Käyttörajatilán ominaisyhdistelmä.

Tavallisen yhdistelmän kaavaa 5 käytetään palautuville rajatiloille, kun kuormat poistetaan.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kaava 5. Käyttörajatilán tavallinen yhdistelmä.

Kaavaa 6 käytetään käyttörajatilán kuormitusyhdistelmänä, kun tarkastellaan kuormien pitkäaikaisvaikutuksia.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,1} Q_{k,i}$$

Kaava 6. Käyttörajatilán pitkäaikaisyhdistelmä.

Lisäksi jossain tilanteissa täytyy tarkastaa rakenteiden staattinen tasapaino sekä kestävyys onnettomuustilanteissa omilla kuormitusyhdistelyillä, joiden kaavat löytyvät esimerkiksi RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje -julkaisusta. Kyseisiä asioita ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä.

4.2 Rakenteen käyttöluokka

Rakenteet tulee jaotella käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on lujuusarvojen jaottelua varten ja tietyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen määrittelyä varten. Käyttöluokan valintaan vaikuttaa puun tasapainokosteus sekä kosteuden vaihtelut. (Puuinfo 2018, 15.)

Käyttöluokka 1: Materiaalien kosteus vastaa 20 asteen lämpötilaa ja ympäröivä suhteellinen kosteus ylittää 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei yleensä yli arvoa 12 %. Tähän luokkaan kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai siihen vastaavissa kosteusoloissa. Käyttöluokkaan 1 lasketaan yleensä myös lämpöeristeroksessa olevat rakenteet, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä. Tässä käyttöluokassa tulee kiinnittää erityistä huomiota puun halkeiluvaaraan. (Puuinfo 2018, 15.)

Käyttöluokka 2: Materiaalien kosteus vastaa 20 asteen lämpötilaa ja ympäröivä suhteellinen kosteus ylittää 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei yleensä ylitä arvoa 20 %. Tähän luokkaan kuuluu puurakenne, joka on ulkoilmassa kuivana. Rakenteen tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa, jossa se on kastumiselta suojattu. (Puuinfo 2018, 15.)

Käyttöluokka 3: Tälle käyttöluokalle on ominaista, että ilmasto-olosuhteiden takia kosteusarvot ovat suuremmat kuin luokassa 2. Käyttöluokkaan 3 kuuluu ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puurakenne. (Puuinfo 2018, 15.)

4.3 Materiaaliominaisuudet

Mitoitettavan rakenteen materiaaliominaisuudet vaikuttavat sen mitoitukseen. Materiaalien tulee täyttää niille asetetut vaatimukset ja materiaalien lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien on oltava riittävät. (Puuinfo 2018, 16.)

Lujuusominaisuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 7.

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_m},$$

Kaava 7. Lujuusominaisuuden mitoitusarvo.

jossa

X_k on lujuusominaisuuden ominaisarvo

Y_m on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

k_{mod} on kuorman keston ja kosteuden huomioiva muunnoskerroin.

Taulukossa 14 on kunkin materiaalin osavarmuusluku Y_M , jota tarvitaan taivutus- ja leikkausvoiman laskentakaavoissa.

Taulukko 14. Materiaalien osavarmuusluvut Y_M (Puuinfo 2018, 15).

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Materiaalien ja liitosten mitoituksessa käytetään taulukossa 15 esitettyjä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskertoimia k_{mod} . Jos kuormayhdistelmä muodostuu eri aikaluokan kuormista, käytetään kertoimena k_{mod} -arvoa, joka vastaa lyhytkestoisinta kuormaa. (Puuinfo 2018, 16.)

Taulukko 15. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot (Puuinfo 2018, 17).

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 ¹⁾ , OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 ¹⁾ , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

Pitkäaikaisen taipuman laskennassa käytetään materiaalin ja rakenteen käyttöluokan määrittelemää virumalukua k_{def} , jotka on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Virumaluvun k_{def} arvot (Puuinfo 2018, 17).

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	-

Materiaali ja sen lujuusluokka määrittävät puutavaran ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet. Taulukossa 17 on esitetty sahatavaran ja liimapuun edellä mainitut ominaisuudet yleisimmissä lujuusluokissa.

Taulukko 17. Sahatavaran ja liimapuun materiaaliominaisuudet (Puuinfo 2018, 17).

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs ¹⁾
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0, \text{mean}}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90, \text{mean}}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaisiäisyys	ρ_k	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keski-arvo	ρ_{mean}	380	420	460	400	430	430

Taulukossa 18 on esitetty eri Kerto LVL -tuotteiden ominaislujuudet, kokovaikutuseksponentit, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet.

Taulukko 18. Kerto-LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet (Puuinfo 2018, 18).

Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
Paksuus (mm)		21 - 90	27 - 75	27 - 69
Ominaislujuudet (N/mm ²)				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
Kokovaikutuseksponentti	S	0,12	0,15	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0, \text{flat}, k}$	50	32	36
Veto syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	26
Veto poikittain syrjällään	$f_{t,90, \text{edge}, k}$	0,8	0,5	6,0
Puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	26
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90, \text{edge}, k}$	6	4	9
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90, \text{flat}, k}$	1,8	1,0	2,2
Leikkaus syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)				
Kimmomoduuli	E_{mean}	13800	10000	10500
Liukumoduuli	$G_{\text{edge, mean}}$	600	400	600
Tiheydet (kg/m ³)				
Ominaisiäisyys	ρ_k	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	510	440	510

4.4 Murtorajatilat

Rakenneosan kestävyys lasketaan murtorajatilan tarkastelulla. Tässä luvussa käsitellään palkin taivutus- ja leikkausvoimakestävyyden mitoittamista. Jotta nämä kestävyys voidaan tarkastaa, täytyy ensin laskea ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet eli maksimimomentit ja maksimileikkausvoimat statiikan lainalaisuuksien mukaan. Liitteessä 4 on esimerkki voimasuureiden laskemisesta.

4.4.1 Taivutuskestävyys

Taivutetun sauvan pitää täyttää kaavojen 8 ja 9 mitoitus ehdot. Nämä ehdot eivät päde, jos sauva on poikkileikkaukseltaan vaihteleva tai pituussuunnassa kaareva. (Puuinfo 2018, 25.)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Kaava 8. Taivutuskestävyyden mitoitusehto 1 (RIL 205-1-2017, 74).

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

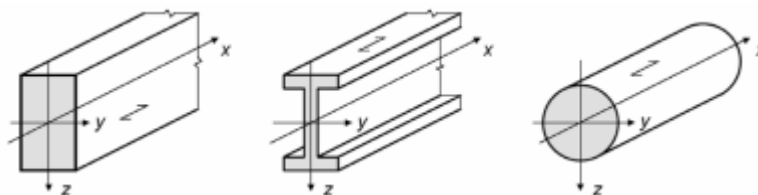
Kaava 9. Taivutuskestävyyden mitoitusehto 2 (RIL 205-1-2017, 74).

Kaavassa 8 ja 9

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ ovat jännitysten mitoitusarvot kuvan 10 mukaisten pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa;

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ ovat vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvot;

kertoimella k_m otetaan huomioon jännitysjakauman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen; $k_m = 0,7$, kun kyseessä on sahatavaran, liimapuun tai LVL:n suorakaidepoikkileikkaus, muussa tapauksessa $k_m = 1,0$.



Kuva 10. Sauvojen akselit (Puuinfo 2018, 25).

4.4.2 Leikkauskestävyys

Leikkausvoimamitoituksessa kaavan 10 mitoitus ehdon pitää täyttyä, jotta rakenne on kestävä. Tämä pätee komponentin ollessa syysuuntainen.

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

Kaava 10. Leikkausvoimakestävyyden mitoitus ehto (RIL 205-1-2017, 74).

jossa

τ_d on leikkausjännityksen mitoitusarvo

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

4.5 Käyttörajatilat

Taipumamitoitus on käyttörajatilan mitoitus. Kuormien ja kosteuden vaikutuksista rakenteeseen syntyvän muodonmuutostilan tulee pysyä riittävän pienenä. Liiallinen muodonmuutos voi vaikuttaa vahinkoa rakennusmateriaaleille ja tuottaa haittaa toiminnan ja ulkonäkövaatimusten kannalta. (Puuinfo 2018, 10.)

Kuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma w_{inst} lasketaan kaavan 4 käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja. Jos rakenteeseen kuuluu rakennusosia, joiden viruminen on erilaista, pitkäaikaiset kokonaismuodonmuutokset lasketaan käyttämällä kuormien pitkäaikaisyhdistelmää (kaava 6). Käyttörajatilatarkastelussa tuulikuormaa ei yhdistellä muiden muuttuvien kuormien kanssa, jollei tuulikuorma ole määräävä muuttuva kuorma. (RIL 2017, 30.)

Kokonaistaipuma w_{fin} lasketaan kaavalla 11.

$$w_{fin} = \max \begin{cases} (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{cases}$$

Kaava 11. Kokonaistaipuman w_{fin} kaava (Puuinfo 2018, 10).

jossa

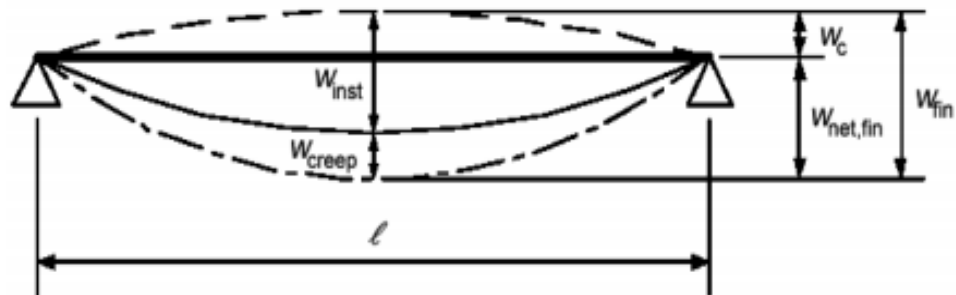
k_{def} on virumaluku (ks. taulukko 16)

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

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

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

Kokonaistaipuma w_{fin} muodostuu kuvan 11 mukaisista osista.



Kuva 11. Taipuman muodostuminen (Puuinfo 2018, 21).

Lopputaipuma $w_{net,fin}$ lasketaan kaavalla 12.

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c,$$

Kaava 12. Lopputaipuman laskentakaava (Puuinfo 2018, 21).

jossa

w_c on mahdollinen esikoroitus

w_{inst} on hetkellinen taipuma

w_{creep} on viruman aiheuttama lisätaipuma

Kun rakenneosan taipumista tai rakennuksen vaakasiirtymästä on haittaa, kuormien ominaisyhdistelmästä aiheutuvat käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät rajoitetaan taulukon 19 mukaisiksi.

Taulukko 19. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot (Puuinfo 2018, 21).

Rakenne	$w_{\text{inst}}^{1)}$	$w_{\text{net,fin}}^{2)}$	$w_{\text{fin}}^{3)}$
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200^{5)}$	$l/150$
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 kuormituk-
 sena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2 \text{ kN}$ ja levyn omapaino.

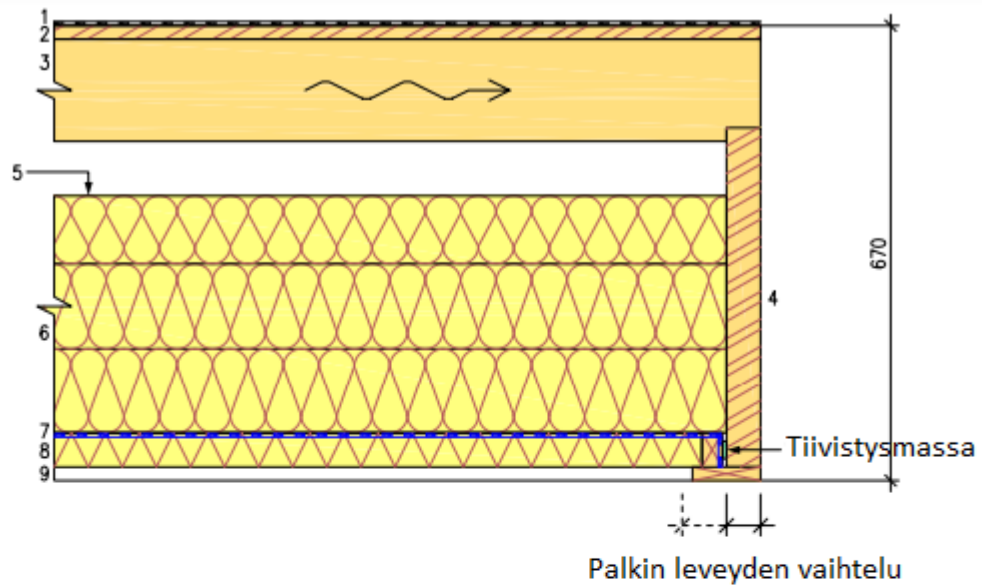
5 KATTOELEMENTTIEN RAKENNETYYPIT JA - DETALJIT

Tässä luvussa tarkastellaan tyypillisiä hallirakennusten kattoelementtien rakennetyyppejä sekä kattoelementtien liittymädetaljeja. Rakennesuunnittelija suunnittelee aina tapauskohtaisesti elementtien rakenteet ja liitokset. Vaatimukset määräytyvät kestävyys- ja rakentamismääräysten asettamien vaatimusten mukaan.

5.1 Rakennetyypit

Kattoelementit toimivat tavallisesti primäärirungon sekundäärirakenteina, jotka välittävät kuormat primäärirungolle ja sen jäykisteille. Kattoelementtien rakenneosien suunnitteluun vaikuttaa rungon tyyppi ja sen jäykistystapa. Kaikkiin tapauksiin ei voida antaa vakioratkaisua, vaan elementit on suunniteltava aina tapauskohtaisesti ottaen huomioon muun muassa kosteusolosuhteet, palotekniset vaatimukset, äänitekniset vaatimukset ja lujuustekniset vaatimukset. (HalliPES 1.0 2014c, 1.)

Kuvissa 12–14 on esitelty muutamia tyypillisiä kattoelementtien rakennetyyppejä. Lisää rakennetyyppejä löytyy muun muassa HalliPES 1.0 OSA 16: Rakennetyypit -julkaisusta. Kuvassa 12 on esimerkki tyypillisestä yläpohjaelementin rakenteesta, joka soveltuu P3-paloluokan rakennukseen.

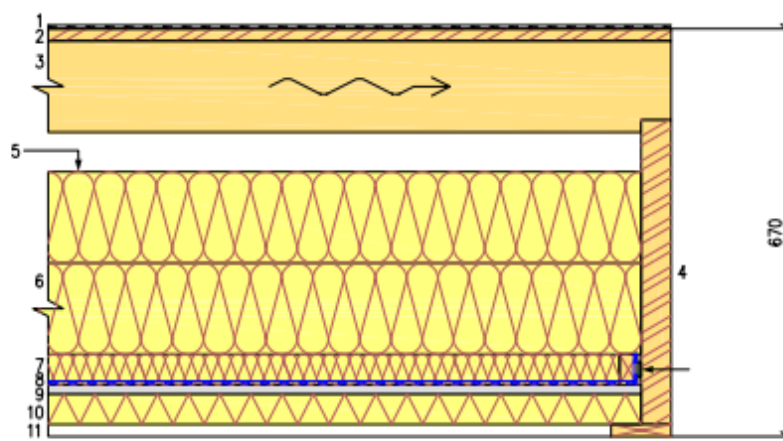


NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]
1	Vesikate (Broof (t2))	PVC-kate tai bitumikermikate ARK mukaan	
2	Kantava rakenne	Puulevy RAK mukaan	20
3	Kantava rakenne Tuuletusväli	Puurangat RAK mukaan	150
4	Kattoelementin kantava rakenne	Puupalkki RAK mukaan	
5	Yläpohjan yläpinta	Tuulensuoja tarvittaessa	
6	Lämmöneristys	Mineraalivilla	350
7	Ilman- ja höyrynsulku	Muovi (SFS 4225 E-luokka)	0,2
8	Alakaton kannatus (k-jako villan mukaan) Lämmöneristys* Äänenvaimennus/Sisäverhous	Puurangat Akustomineraalivilla	50 50
9	Akustovillan kannatus	Lauta	20

*) Pintaluokka tilan käyttötarkoituksen mukaan

Kuva 12. Esimerkki yläpohjaelementin rakennetyypistä (HalliPES 1.0 2014c).

Kuvassa 13 on esitetty esimerkki yläpohjaelementin rakenteesta, joka soveltuu P2-paloluokan rakennukseen. P2-paloluokan rakennuksen yläpohjan rakenteille on tiukemmat vaatimukset kuin P3-luokan rakenteille. Esimerkiksi kuvan 13 rakenteessa yläpinnalla ja lämmöneristeellä on tietyt luokkavaatimukset ja rakenne on palosuojattu.



NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]
1	Vesikate (B _{roof} (t2))	PVC-kate tai bitumikermikate ARK mukaan	
2*	Kantava rakenne	Puulevy RAK mukaan	20
3*	Kantava rakenne Tuuletusväli	Puurangat RAK mukaan	150
4*	Kattoelementin kantava rakenne	Puupalkki RAK mukaan	
5	Yläpohjan yläpinta (B-s1, d0)	Tuulensuoja tarvittaessa	
6	Lämmöneristys (A2-s1, d0)	Mineraalivilla**	300
7*	Alakaton kannatus Lämmöneristys (A2-s1, d0)	Puurangat RAK mukaan Mineraalivilla**	50 50
8	Ilman- ja höyrynsulku	Muovi (SFS 4225 E-luokka)	0,2
9	Palosuojaus/Suojaverhouk K210***	Puu- tai kipsilevy	10...15
10	Äänenvaimennus/Sisäverhouk	Akustomineraalivilla	50 mm
11	Akustovillan kannatus	Lauta	20

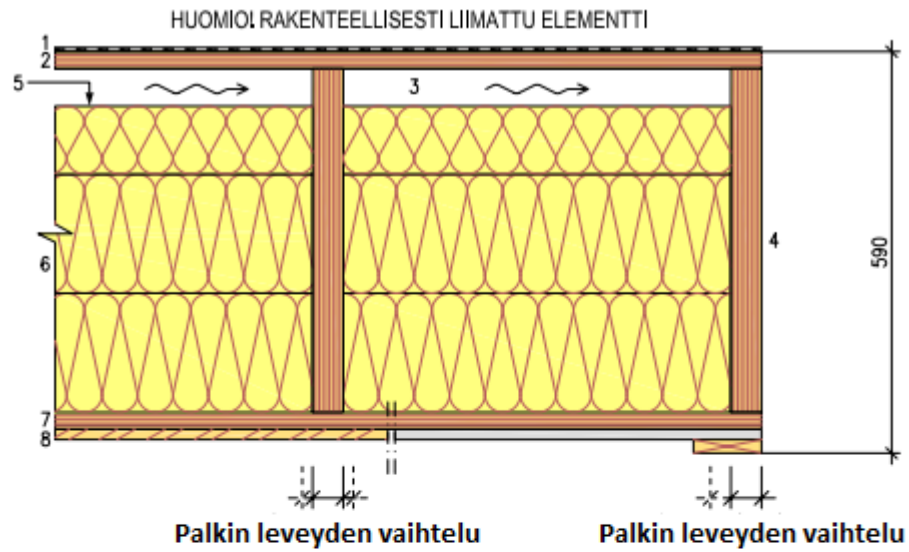
*) Palomitoitus RAK mukaan riippuen onko kysymyksessä kattoelementin olennainen osa

**) Lasi- tai kivilla riippuen palomitoituksesta

***) Tuotteen pintaluokka tilan käyttötarkoituksen mukaan

Kuva 13. Esimerkki yläpohjaelementistä. P2-paloluokan hallirakennus. (HalliPES 1.0 2014c.)

Kuvassa 14 on esimerkki rakenteellisesti liimatun yläpohjaelementin rakenteesta. Kantavana rakenteena on kotelolaatta, lämmöneristeenä on mineraalivilla ja sisäverhouksena on esimerkiksi kipsilevy. Vastaava rakenne soveltuu P3-paloluokan rakennukseen.



NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]
1	Vesikate (B _{roof} (t2))	PVC-kate tai bitumikermikate ARK mukaan	
2	Kantava rakenne* (ylälaippa)	Kotelolaatta RAK mukaan	
3	Tuuletusväli		≥ 20
4	Kantava rakenne (uuma)	Kotelolaatta RAK mukaan	
5	Yläpohjan yläpinta	Tuulensuoja tarvittaessa	
6	Lämmöneristys	Mineraalivilla	450
7	Kantava rakenne* (alalaippa)	Kotelolaatta RAK mukaan	
8	Sisäverhous**	Puu- tai kipsilevy	10...15

*) Mahdollinen levyjäykiste

**) Pintaluokka tilan käyttötarkoituksen mukaan

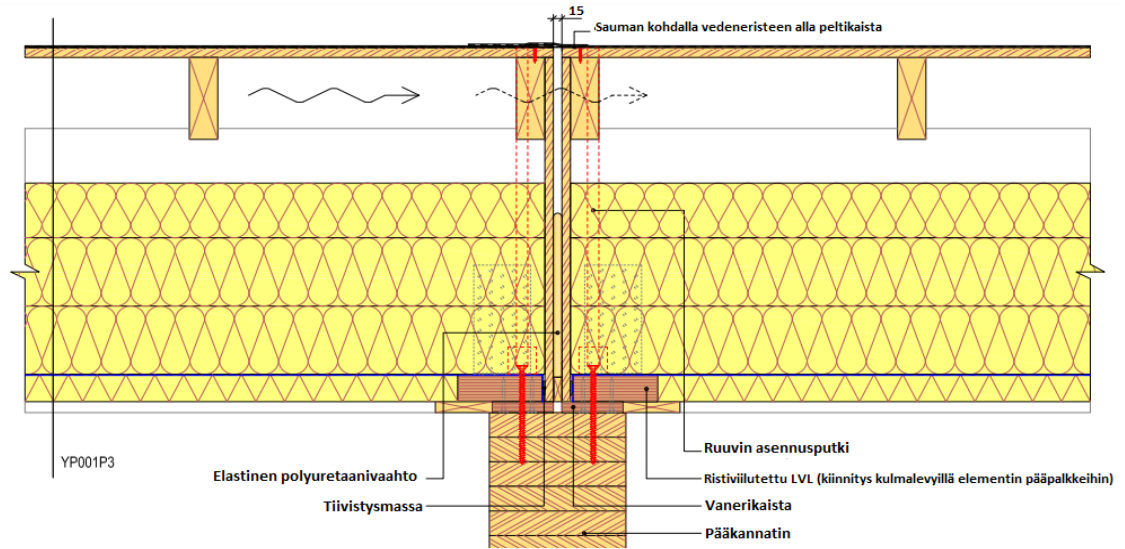
Kuva 14. Esimerkki rakenteellisesti liimatusta yläpohjaelementistä (HallipES 1.0 2014c).

5.2 Liittymädetaljit

Elementtien liitosten toiminnalliset vaatimukset määräytyvät pääasiassa liitosten kestävyiden ja rakentamismääräysten asettamien vaatimusten mukaan. Elementtiliitoksille on seuraavanlaisia vaatimuksia:

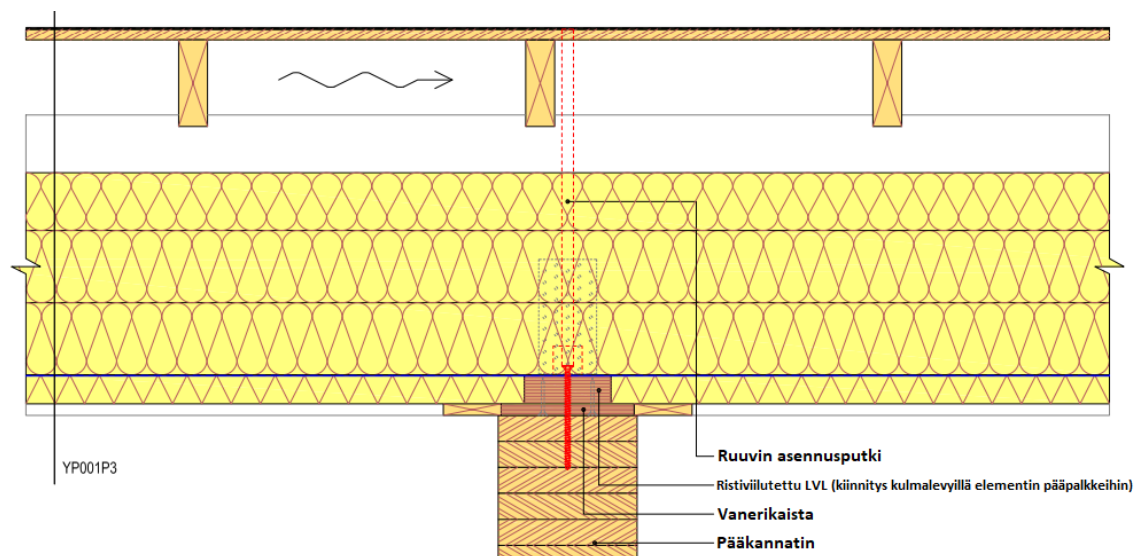
- Liitosten on oltava riittävän lujia ja jäykkiä normaalilämpötilassa sekä palotilanteessa.
- Liitoksilla tulee olla hyvät lämpö-, ääni- ja kosteustekniset ominaisuudet.
- Tarvittaessa liitosten tulee mahdollistaa elementtien yhteistoiminta rungon jäykistämiseksi.
- Liitosten tulee olla esteettisiä, pitkäikäisiä, huollettavia ja tarkastettavissa olevia.
- Liitosten tulee olla helposti toteutettavia ja elementtien asennuksen on oltava turvallista.
- Rakenteiden mitta- ja muotoepöikkeavuudet on oltava hallittavissa.
- Liitosten on mahdollistettava eri valmistajien tuotteiden yhteensopivuus ja erilaisten tuotantotapojen yhdisteleminen.
- Liitoksissa on käytettävä pääasiassa vakioituja liittimiä ja tiivisteitä materiaalikustannusten hillitsemiseksi.
- Elementtien asentamisen sekä liitosten tekemisen nopeus ja helppous vaikuttavat työkustannuksiin. (Kilpeläinen ym. 2001, 52.)

Päärakennesuunnittelija määrittelee liittymissä tarvittavat liittintyytit ja liitinmäärät tapauskohtaisesti riippuen liitokseen kohdistuvista voimista (HalliPES 1.0 2014d, 1). Kuvissa 15 ja 16 on esimerkki tyypillisistä kattoelementtien liittymädetaljeista. Kuvassa 15 on esimerkki liittymädetaljista, jossa elementit on kiinnitetty tukevasti ja tiiviisti ruuveilla puiseen pääkannattimeen. Pääkannattimeen on kiinnitetty ristiviilutettu LVL, joka on kiinnitetty kulmalevyillä elementin pääpalkkeihin. Elementtien välinen liitymä on tiivistetty elastisella polyuretaanivaahdolla. Elementtien sauman kohdalla on käytetty peltiä vedeneristeen alla tiiviiden varmistamiseksi.



Kuva 15. Kattoelementtien liittyminen puiseen pääkannattimeen (HalliPES 1.0 2014d).

Kuvassa 16 on esitetty samantyyppinen liittymädetalji, jossa ristiviilutettu LVL ja vanerikaista on kiinnitetty ruuvein pääkannattimeen. LVL kiinnitetään kulmalevyillä elementin pääpalkkeihin. Tässä esimerkissä on moniaukkoinen rakenne, eli kattoelementti jatkuu yhtenäisenä rakenteena pääkannattimen yli.



Kuva 16. Kattoelementin ja pääkannattimen liittymädetalji, kun elementti jatkuu pääkannattimen yli (HalliPES 1.0 2014d).

6 SUUNNITELTAVAN KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli suunnitella puurakenteiset vesikattoelementit Pöytyän Yläneellä sijaitsevaan teräsrunkohalliin. Kyseessä on uudisrakennuskohde, jonka tehtävänä on toimia maatilán työhallina. Rakennuttaja kilpailutti teräskattoelementtejä ja puukattoelementtejä ja teki päätöksen, että halliin tehdään puurakenteiset vesikattoelementit. Päätökseen vaikutti elementtien hinta – puurakenteiset elementit tulivat tässä tapauksessa edullisemmiksi. Yläneellä on elementtitehdas, jossa elementit pystytettiin rakentamaan, joten tällä vaihtoehdolla tuettiin paikallista työvoimaa ja kuljetuskustannukset saatiin minimoitua lyhyen kuljetusmatkan vuoksi. Suunnitelmiin ja tehtyihin valintoihin vaikuttivat rakennuskohteen vaatimukset sekä tilaajan ja elementtivalmistajan esittämät toiveet ja näkemykset.

Rakennuskohteen lähtötietoja:

- maatalouden työhalli (tuotanto- tai varastorakennus)
- sijainti Yläne, Pöytyä
- rakennuksen kerrosala 369 m², tilavuus 2170 m³
- teräskehän ulkomitat 12 m x 24,2 m, korkeus 8,78 m
- rungon kehäväli 4,8 m
- kattokulma 30 astetta
- rakennuksen paloluokka P3, palovaarallisuusluokka 1, suojaustaso 1
- seuraamusluokka CC2, käyttöluokka 2
- hallin poikittaissuuntainen tuulijäykistys hoituu kehien avulla
- väli- ja päätykehät ovat samantyyppisiä, kehät kantavat lumi- ja tuulikuormat
- sekä poikittainen että pituussuuntainen jäykistys on huomioitu hallin teräsrungossa, joten kattoelementit eivät toimi levyjäykisteenä eikä niitä näin ollen tarvitse mitoittaa puristukselle
- lumikuorman arvo maassa $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

Rakennus on luokiteltu P3-paloluokkaan, koska se kuuluu kokonsa ja käyttötarkoituksensa puolesta kyseiseen luokkaan. Taulukossa 4 on esitetty P3-luokan rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset. Palovaarallisuusluokka on 1, koska rakennuksen toimintoihin

liittyy vain vähäinen tai kohtuullinen palovaara. P3-luokan rakennuksen kantaville rakenteille ei ole erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen ja sen takia tässä työssä ei ole käsitelty rakenteiden palomitoitusta.

Jokaisessa kattopalkissa on kummallakin puolella (päädyissä sisäpuolella) elementin kiinnityslatta 5 x 50 mm, jossa on 10 mm:n reiät kattoelementtien kiinnitystä varten. Pulttiliitokset tulee kiristää asianmukaisesti.

Kattoelementtien piirustukset on esitetty opinnäytetyön liitteissä 1-3 ja kestävyyslaskelmat on esitetty liitteessä 4. Kattoelementtejä suunniteltiin yhteensä 6 erilaista (liite 1): kolme erilaista välielementtiä (E1, E2, E3) ja kolme erilaista päätyelementtiä (P1, P2, P3). Lappeen toiselle puolelle tehtiin päätyelementit peilikuvana. Kattoelementteihin rakennettiin jo tehtaalla pääty- ja sivuräystäät valmiiksi, kuten piirustuksista ilmenee. Kaiken kaikkiaan kattoelementtejä tehtiin 30 kappaletta: 15 kummallekin lappeelle, ja ne asennettiin liitteenä 3 olevan suunnitelman mukaan. Molempien lappeiden harjaelementit sidottiin toisiinsa naulalevykiinnityksellä, kuten liitteestä 2 käy ilmi.

Suunniteltujen elementtien valmistusmäärät:

- 2 kpl P1 vasen
- 2 kpl P2 vasen
- 2 kpl P2 vasen
- 2 kpl P1 oikea
- 2 kpl P2 oikea
- 2 kpl P3 oikea
- 6 kpl E1
- 6 kpl E2
- 6 kpl E3

Yläpohjan rakenne:

- vesikate: pelti, mitta 7 915 mm
- ruodelaudat 25 mm x 100 mm, k-k 300 mm
- liitospuut 48 mm x 123 mm
- aluskate/tuulensuoja
- kantavana rakenteena liimapuu GL30c 70 mm * 270 mm, k-k 620 mm, jänneväli L = 4 743 mm
- mineraalivillaeriste
- höyrysulku
- rakennuslevy.

Aluskatteeksi valittiin hengittävä Divoroll Top Ru. Se suojaa rakenteita sekä ulkoa tulevalta kosteudelta että rakennuksen sisällä syntyvältä kosteudelta. Hengittävä aluskate johtaa sisällä muodostuvan kondenssiveden turvallisesti rakennuksen ulkopuolelle. Divoroll Top Ru -aluskatteessa on asennusta helpottava ja tiiviyyttä parantava kaksoisliimaraita. Kyseisen aluskatteen materiaalilla on korkea kulutus- ja vetolujuus ja se kestää hyvin kylmää. Lämmöneristys toimii tehokkaasti, sillä Divoroll Top Ru toimii myös tuulensuojana. (Rakennusfakta 2017.)

7 LOPUKSI

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia puurakenteisten kattoelementtien suunnittelua ja suunnitella teräsrunkoiseen halliin puurakenteiset yläpohjaelementit. Ensimmäinen vaihe työn tekemisessä oli aiheeseen perehtyminen: oli selvitettävä, mitä asioita yläpohjaelementtien ja puurakenteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Aiheeseen tutustuminen tapahtui pääasiassa lukemalla alan kirjallisuutta ja haastatteleamalla rakennusalan asiantuntijoita. Varsinainen elementtien suunnittelu aloitettiin tutkimalla kohteen julkisivukuvia ja rungon rakennepiirustuksia. Suunnitelmiin vaikuttivat muun muassa rakennuksen käyttötarkoitus, rungon kehäjako ja muut mitat, paloturvallisuusluokka sekä tilaajan toiveet. Työn edetessä pidettiin palaveria rakennuttajan, vastaavan työnjohtajan ja elementtien valmistajan kanssa. Palaverien lisäksi yhteydenpitoa käytiin puhelimitse ja sähköpostiviestein. Elementtien rakennepiirustukset tehtiin CADS-suunnitteluohjelmalla. Kantavan palkin mitoitus tehtiin käsin ja tarkistettiin PupaX5-mitoitusohjelmalla. Valmiiden suunnitelmien pohjalta rakennettiin kattoelementit, jotka asennettiin rakennuskohteeseen syksyllä 2019.

Alun perin ajatuksena oli, että opinnäytetyö koostuu lähinnä työn kohteena olleen rakennuksen kattoelementtisuunnitelmista, mutta puukattoelementtien yleisosoudesta tulikin suuri osa lopullista työtä. Työssä on esitelty muun muassa erilaisia puuelementtityyppejä ja -tuotteita ja niiden suomalaisia valmistajia, rakenneteknisiä vaatimuksia, puurakenteiden mitoittamista sekä liitosdetaljeja. Puukattoelementtejä valmistetaan sekä palkkirakenteisina että LVL-laatikkoelementteinä; tässä työssä keskityttiin tarkastelemaan pääasiassa palkkirakenteisia elementtejä. Puukattoelementeissä yleisin käytetty kantava rakenne vaikuttaisi olevan LVL-tuotteet (Suomessa Kerto LVL), mutta myös esimerkiksi liimapuuta käytetään. Yläpohjarakenteet suunnitellaan ja mitoitetaan tapauskohtaisesti, ja niihin vaikuttavat muun muassa rakennuksen käyttökohde, paloluokitus, vesikaton kuormat ja se, onko katto jäykistävä rakenne vai ei. Vesikaton kosteudenhallinta ja lämmöneristys tulee suunnitella oikein, jottei kosteusvahinkoja pääse syntymään ja rakennus pysyy lämpimänä. Suurelementit valmistetaan usein moniaukkoisina kokonaistaloudellisuuden takia, mutta myös 1-aukkoisia elementtejä tehdään.

Opinnäytetyön tekeminen onnistui hyvin ja sille asetetut tavoitteet täyttyivät. Suunnitelmat valmistuivat ajallaan ja myös toimeksiantaja oli tyytyväinen suunnitelmiin. Opinnäy-

tetyön työjärjestys olisi kannattanut tehdä niin, että kirjallinen työ olisi tehty ennen varsinaista suunnittelua, mutta tällä kertaa se ei ollut rakennusaikataulun takia mahdollista. Opinnäytetyö oli oppimisen kannalta hyvä projekti. Prosessi oli laaja kokonaisuus, joka koostui piirtämisestä, mitoittamisesta, aiheen tutkimisesta ja kirjoittamisesta. Työn tekeminen kehitti edellä mainittuja taitoja ja opetti paljon elementtirakentamisesta ja yläpohjarakenteista. Lisäksi oli kehittävää olla tiiviisti mukana rakennusprojektissa ja huomata, miten eri toimijoiden yhteistyö toimii ja miten suunnitelmat voivat muuttua rakennusprojektin edetessä.

Työn kirjallista osuutta tehdessä haasteelliseksi osoittautui löytää riittävän ajantasaista ja luotettavaa lähdemateriaalia. Työn edetessä validia tietoa löytyi kuitenkin jonkin verran ja lopullisesta tekstistä tuli sujuvaa ja luotettavaa. Keväällä 2020 ei ollut poikkeustilan takia mahdollista päästä käsiksi kirjastojen aineistoihin, joten lähteinä jouduttiin käyttämään vain Internetistä löytyviä julkaisuja.

Puuelementtirakentaminen on nykyaikainen ja toimiva rakennustapa, jolla saadaan tehtyä laadukkaita, mittatarkkoja, keveitä ja lujia tuotteita. Elementtirakentamisella on mahdollista säästää myös aikaa ja rahaa, sillä rakennusprojektin kokonaiskesto lyhenee. Puurakentamisella pystytään toteuttamaan toimivia rakenteita, jotka täyttävät kaikki tarvittavat vaatimukset. Kaiken lisäksi puu on ekologinen rakennusmateriaali, jolla pystytään vastaamaan kiristyviin ympäristövaatimuksiin. Suomessa on jo nyt paljon puuelementtirakentamiseen erikoistuneita yrityksiä, mutta luultavasti puuelementtirakentamisen kehitys ja suosio kasvavat jatkossa.

LÄHTEET

Betoniteollisuus ry 2010. Jäykistysjärjestelmät. Saatavilla <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>.

C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2010. Rakennusten lämmöneristys. Saatavilla https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Kumotut.

HalliPES 1.0 2014a. Osa 1: Hallien paloluokat. Finnish Wood Research Oy. Saatavilla https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/HalliPES_1.0_Osa_1_Hallien%20paloluokat.pdf.

HalliPES 1.0 2014b. Osa 4: Kattoelementtityypit. Finnish Wood Research Oy. Saatavilla https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/HalliPES_1.0_Osa_4_Kattoelementtityypit_0_0.pdf.

HalliPES 1.0 2014c. Osa 16: Rakennetyypit. Finnish Wood Research Oy. Saatavilla https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/HalliPES_1.0_Osa_16_Rakennetyypit.pdf.

HalliPES 1.0 2014d. Osa 17: Liittymädetaljit. Finnish Wood Research Oy. Saatavilla https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/HalliPES_1.0_Osa_17_Liittym%C3%A4detaljit.pdf.

Kattoliitto ry 2019. Toimivat katot. Saatavilla https://www.kattoliitto.fi/wp-content/themes/vantage/pdf/Toimivat_katot_2019_netti.pdf.

Keronen, A. 2009. Puuhallin rakenteet, Esisuunnittelu ja valintaperusteet. Puuinfo Oy. Saatavilla <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puuhallin-rakenteet-esisuunnittelu-ja-valintaperusteet/090202-puuhallin-rakennesuunnittelu.pdf>.

Kerto kantaviin rakenteisiin 2015. Metsä Wood. Saatavilla <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/metsawood-kerto-kantaviin-rakenteisiin-suomi.pdf>.

Kerto-käsikirja 2017. Lattia ja kattopalkit. Metsä Wood. Saatavilla <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Lattiapalkit-kattopalkit.pdf>.

Kilpeläinen, M.; Ukonmaanaho, A. & Kivimäki, M. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä – elementtirakenteet. Wood Focus Oy. Saatavilla <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>.

Lahtela, T. 2004. Äänen eristys puutalossa, Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Saatavilla <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>.

LapWall 2018. LEKO® Kattoelementit. Viitattu 15.5.2020 <https://www.lapwall.fi/leko-tuotteet/kattoelementti/>.

Liimapuukäsikirja 2014. Osa 1. Puuinfo Oy. Saatavilla https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuu_low.pdf.

LVL Handbook Europe 2020. Metsä Wood. Saatavilla <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/lvl-handbook.pdf>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1992/132. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Metsäteollisuus 2010. Puurakentaminen on ratkaisu. Saatavilla <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/477.pdf>.

Metsä Wood 2020. Puuelementit. Viitattu 14.5.2020 <https://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/kerto-kayttokohteet/Pages/puuelementit.aspx>.

Puuinfo 2020. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. Viitattu 15.5.2020 <https://www.puuinfo.fi/node/1505>.

Puuinfo 2018. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Eurokoodi 5. Neljäs painos. Saatavilla <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Eurokoodi%205%20Lyhennetty%20suunnitteluohje%2031.8.%20web.pdf>.

Rakennusfakta 2017. Divoroll [!] aluskate kattorakenteiden suojaksi. Viitattu 18.5.2020. <https://www.rakennusfakta.fi/divoroll-aluskate-kattorakenteiden-suojaksi-109524/uutiset.html>.

Rakennustuoteteollisuus RTT ry 2009. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 1: Eurokoodimitoituksen perusteet. Saatavilla https://www.eurocodes.fi/wp-content/uploads/1992/sahkoinen1992/Leaflet_1_Eurokoodimitoituksen_perusteet.pdf.

RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

SeiKat Oy 2020. Onni-kattoelementti. Viitattu 15.5.2020. <https://www.seikat.fi/onni-kattoelementti/>.

Sisäilmayhdistys ry 2020. Vesikatto ja yläpohja. Viitattu 17.5.2020. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Vesikatto-ja-ylapohja>.

SP Elementit 2017. SP kattoelementit. Viitattu 18.5.2020. <https://www.spe.fi/tuotteet/>.

Tähtikunnas, J. 2017. Sandwich-kattoelementtien käyttö. Viitattu 16.5.2020. <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/ajankohtaista/arkisto/2017/05/sandwich-kattoelementtien-kaytto>.

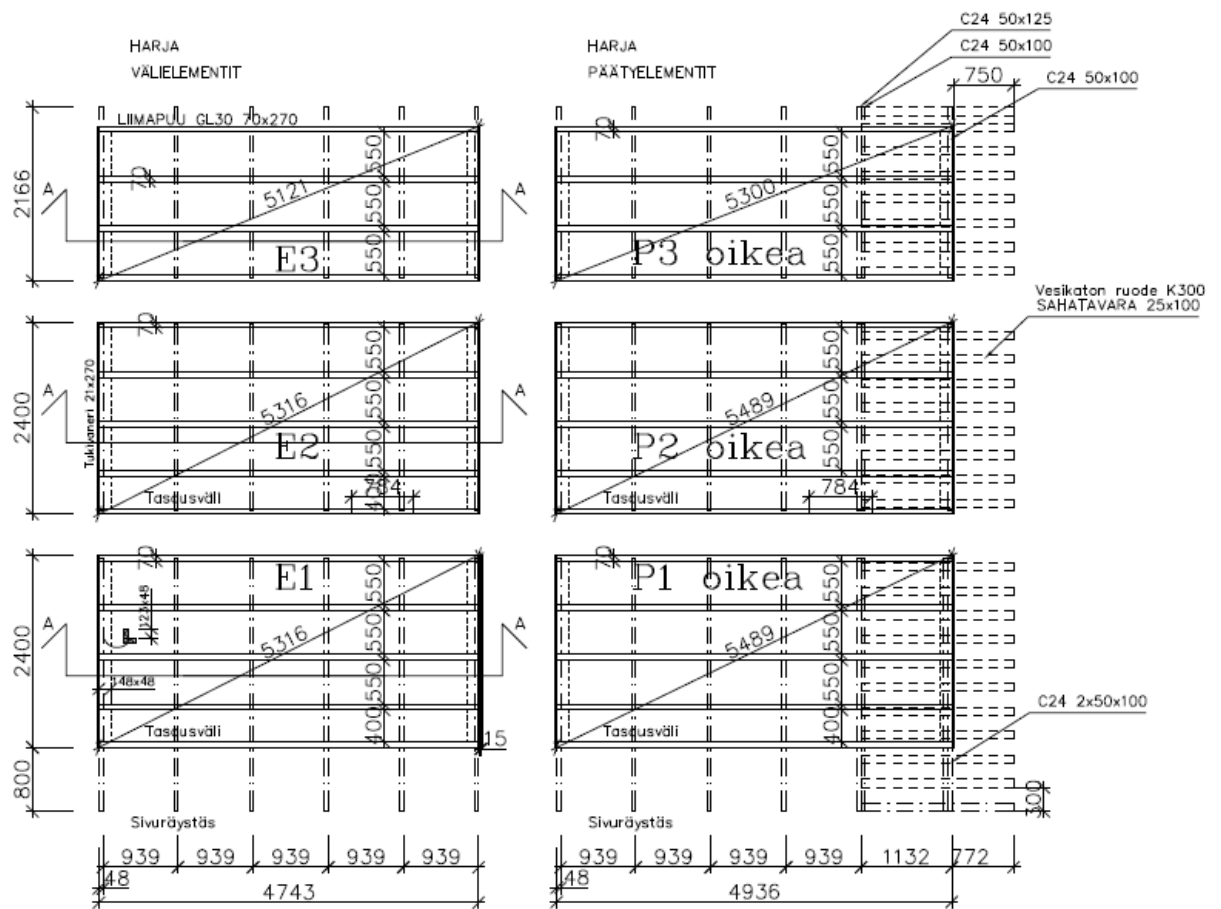
Väsänen, P. 2007. Teräs Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. Saatavilla http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf.

Weckman Steel Oy 2020. Sandwich-elementit. Teräsrakenneyhdistys. Viitattu 16.5.2020 <https://www.weckmansteel.fi/terashallit/sandwich-elementit/>.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 28.11.2017/848. Annettu Helsingissä 28.11.2017. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_rakennusten_paloturvallisuud\(45212\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_rakennusten_paloturvallisuud(45212)).

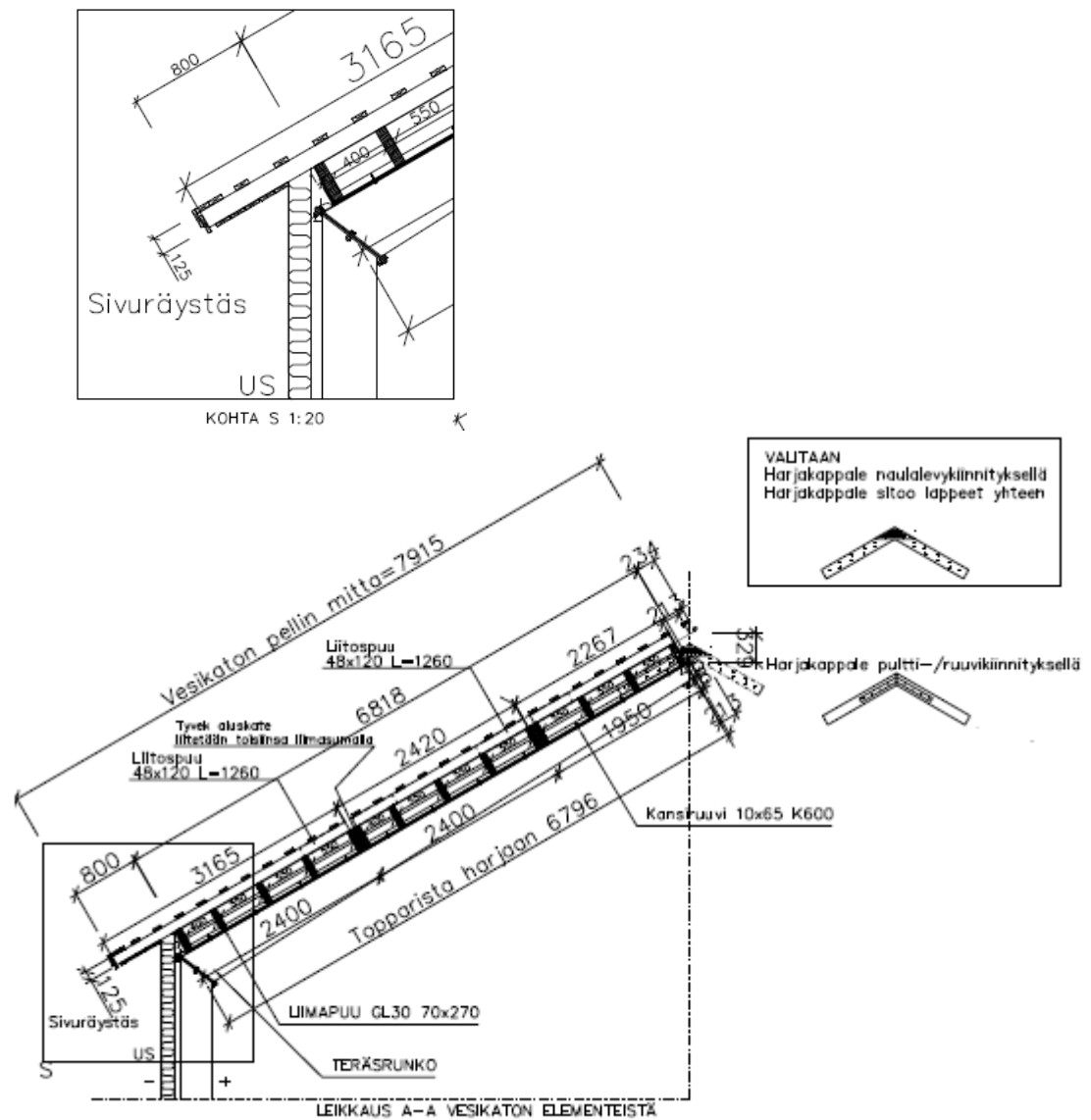
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. Annettu Helsingissä 20.12.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>.

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018. Saatavilla https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Melun_torjunta_ja_aaniolosuhteet.

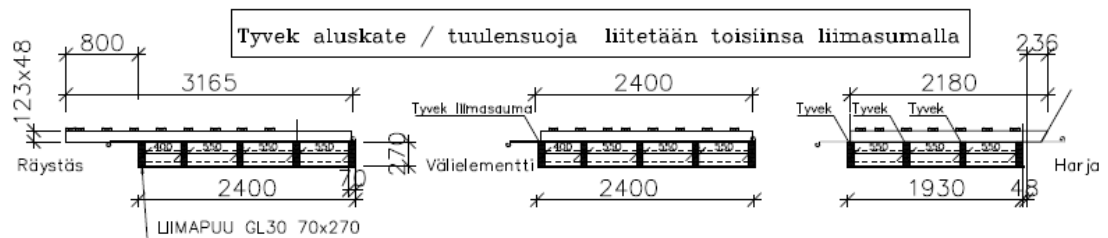


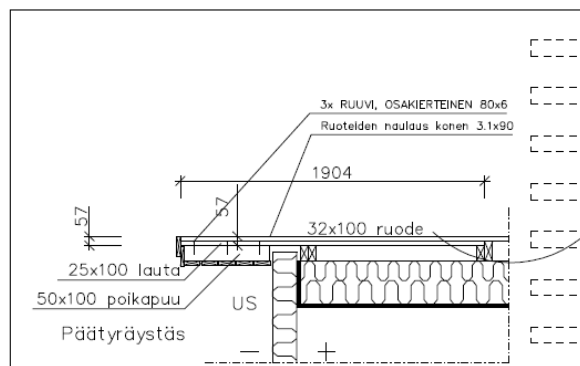
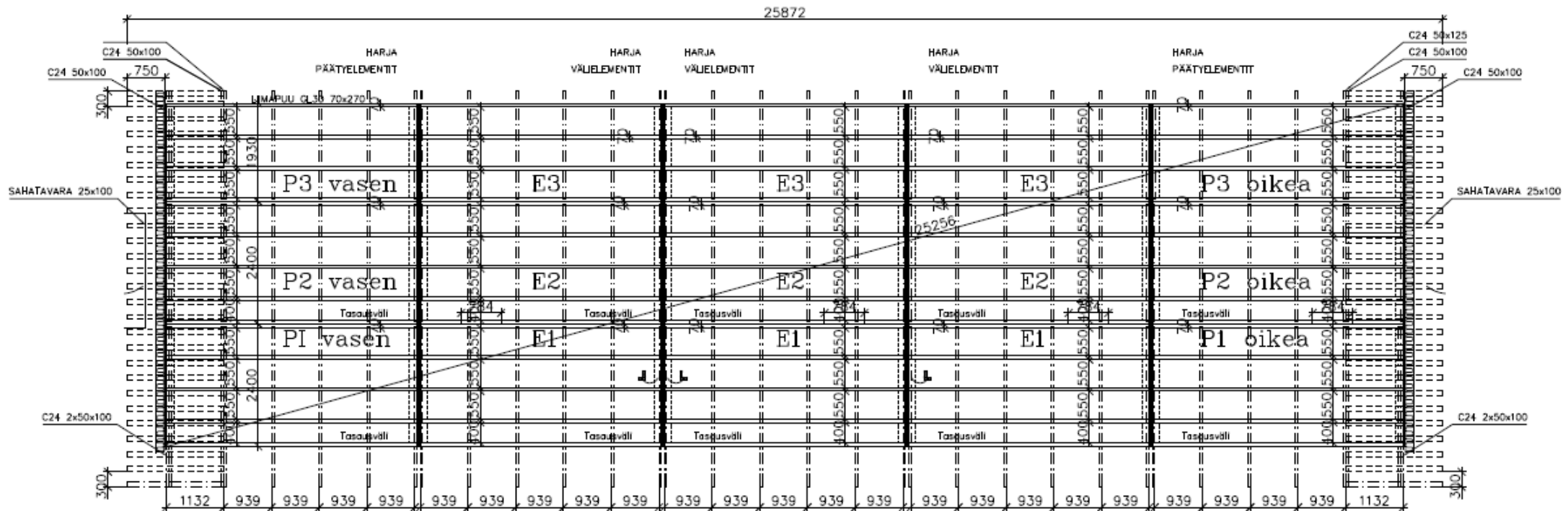
P3 vasen peilik.
P2 vasen peilik.
P1 vasen peilik.

Liite 2. Vesikattoelementit: leikkauskuva.



Lämmönjohtavuus (w/mk) 0.038 esim. Hunton tai Paroc
2 kerrosta 120 mm
1 kerros 50 mm





Palkin materiaali

Liimapuu GL30c

$f_{m,k}$	=	30 N/mm ²	taivutus syrjällään
$f_{v,k}$	=	3,5 N/mm ²	leikkaus syrjällään
E_{mean}	=	13000 N/mm ²	kimmomoduuli
Y_m	=	1,25 N/mm ²	materiaalin osavarmuusluku
L	=	4,743 m	jänneväli
b	=	70 mm	leveys
h	=	270 mm	korkeus
$k-k$	=	0,62 m	jako
e_{max}	=	152 mm	
I_y	=	$b \cdot h^3 / 12$	= 114817500 mm ⁴
W	=	I_y / e_{max}	= 755876 mm ³

Ominaiskuormat

$g_k(\text{omapaino})$	=	1,8 kN/m ²
$q_k(\text{lumi})$	=	2,2 kN/m ²
$q_k(\text{tuuli})$	=	0,6 kN/m ²

Seuraavissa laskuissa käytetään näitä:

Metrikuormana:			
g_k	=	1,116 kN/m	
$q_k(\text{lumi})$	=	1,364 kN/m	
$q_k(\text{tuuli})$	=	0,11 kN/m	
Σq_k	=	1,48 kN/m	

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

Max. Momentti omapainosta

$$M_{g,k} = (g_k \cdot L^2) / 8 = 3,14 \text{ kNm}$$

Max. Momentti hyötykuormasta

$$M_{q,k} = (q_k \cdot L^2) / 8 = 4,15 \text{ kNm}$$

Max. Leikkausvoima omapainosta

$$V_{g,k} = L / 2 \cdot g_k = 2,65 \text{ kN}$$

Max. Leikkausvoima hyötykuormasta

$$V_{q,k} = L / 2 \cdot q_k = 3,50 \text{ kN}$$

Tutkitaan seuraavat kuormitusyhdistelmät

KY1:

- Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (pysyvä aikaluokka):

G_{kj} (omapaino)

- Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka):

$1,35 \cdot G_{kj}$

KY2:

- Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka):

$G_{kj} (op) + Q_{k,1} (hyöty)$

- Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka):

$1,15 \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot Q_{k,1}$

Taivutuskestävyys KY1 (pysyvä kuorma)

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} = 4,24 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = M_d / W = 5,60 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$k_{mod} = 0,6$$

$$f_{m,d} = (f_{m,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_M = 14,40 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 5,60 < 14,40$$

Käyttöaste 39 %
OK

Leikkausvoimakkestävyys KY1 (pysyvä kuorma)

Max. Leikkausvoima

$$V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} = 3,57 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

$$T_d = (3/2) \cdot (V_d / (b \cdot h)) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,6$$

$$f_{v,d} = (f_{v,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_M = 1,68 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$T_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,28 < 1,68$$

Käyttöaste 17 %
OK

Taivutuskestävyys KY2 (keskipitkä kuorma)

Max taivutusmomentti

$$M_d = 1,15 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 9,83 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = M_d / W = 13,01 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{m,d} = (f_{m,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_M = 19,20 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 13,01 < 19,2$$

Käyttöaste 68 %
OK

Leikkausvoimakestävyys KY2 (keskipitkä kuorma)

Max leikkausvoima

$$V_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 8,29 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

$$T_d = (3/2) \cdot (V_d / (b \cdot h)) = 0,66 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{v,d} = (f_{v,k} \cdot k_{mod}) / \gamma_M = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$T_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,66 < 2,24$$

Käyttöaste 29 %
OK

Taipuma KY2

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = (b \cdot h^3) / 12 = 114817500 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst,G} = (5 \cdot g_k \cdot L^4) / (384 \cdot E_{mean} \cdot I_y) = 4,9 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$w_{inst,Q} = (5 \cdot q_k \cdot L^4) / (384 \cdot E_{mean} \cdot I_y) = 6,5 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 11,4 \text{ mm}$$

Taipumaraja

$$w_{inst} \leq L/200 \rightarrow 11,4 < 23,7$$

Käyttöaste 48,2 %
OK

Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,8$$

$$w_{fin} = [(1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}] = 23,1 \text{ mm}$$

Taipumaraja

$$w_{fin} \leq L/200 \rightarrow 23,1 < 23,7$$

Käyttöaste 97,2 %
OK