

Suunnitteluohje Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, yläpuolisen palon tapauksessa

John Olof Engström

Degree Thesis

Thesis for Master of Engineering (UAS) – degree

Degree Programme in Structural Engineering

Raseborg 2024

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: John Olof Engström
Koulutus ja paikkakunta: Structural Engineering, Raasepori
Suuntautumisvaihtoehto:

Ohjaaja(t): Towe Andersson, Novia Raseborg
Janne Inkinen, Saint Gobain Finland Oy
Harri Kemppainen, Saint Gobain Finland Oy
Jouni Hakkarainen, Eurofins Expert Services Oy

Nimike: Suunnitteluohje Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, yläpuolisen palon tapauksessa

Päivämäärä: 12.4.2024 Sivumäärä: 59

Liitteet: 0

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on laadittu Saint-Gobain Finland Oy:n toimeksiannosta.

Työn tavoitteena oli laatia suunnitteluohje palonkestävyyden laskennallisesta tarkastelusta Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, ulkopuolisen palon tapauksessa, palonkestovaatimus REI 30.

Uuden sukupolven Eurokoodit tulevat mahdollistamaan myös lasivillan huomioimisen toimivana eristeenä puurakenteiden palomitoituksessa. Suunnitteluohjeen laadinnassa tullaan hyödyntämään lasivilla täytetyille ontelorakenteille tarkoitettua laskentamenetelmää. Tämän tukena käytetään myös Eurofins Expert Services Oy:n laatimaa analyysiraporttia, lasivilla täytetyn ontelorakenteen ulkopuolisen palon palotestauksesta.

Tarkoitus oli saada tarkempi näkemys lasivillan käyttäytymisestä ulkopuolisessa palotilanteessa. Tulosten perusteella vertaillaan uuden sukupolven laskentamenetelmää nykyiseen menetelmään lasivillan palomitoituksessa.

Kieli: suomi

Avainsanat: lasivilla, palo, puurakenteet, yläpohja, suunnitteluohje

EXAMENSARBETE

Författare: John Olof Engström
Utbildning och ort: Structural Engineering, Raseborg
Inriktning:

Handledare: Towe Andersson, Novia Raseborg
Janne Inkinen, Saint Gobain Finland Oy
Harri Kemppainen, Saint Gobain Finland Oy
Jouni Hakkarainen, Eurofins Expert Services Oy

Titel: Planeringsanvisning för användning av Isover glasull i övre bjälklag av trä för brandklass P2, vid ovanliggande brand.

Datum: 12.4.2024 Sidantal: 59 Bilagor: 0

Abstrakt

Detta examensarbete är gjort på beställning av Saint Gobain Finland Oy.

Syftet med arbetet var att utarbeta en planeringsanvisning för branddimensionering vid användning av Isover glasull i övre bjälklag av trä för brandklass P2, i fallet av en extern brand, då brandmotståndskravet är REI 30.

Den nya generationen av Eurokoder möjliggör att beakta glasull som funktionell isolering vid branddimensionering av träkonstruktioner. Vid utarbetandet av planeringsanvisningen utnyttjas den beräkningsmetod som är avsedd för en hålrumsstruktur fylld med glasull. Detta stöds också av analysrapporten från Eurofins Expert Services Oy om brandprovning av extern brand i en hålrumsstruktur fylld med glasull.

Syftet var att få en mer exakt bild av hur glasull beter sig i fallet av en extern brand. Utifrån resultaten jämförs den nya generationens beräkningsmetod med den nuvarande metoden för glasull.

Språk: finska

Nyckelord: glasull, brand, träkonstruktion, övre bjälklag, planeringsanvisning

MASTERS'S THESIS

Author: John Engström
Degree Programme: Structural Engineering, Raseborg
Specialisation:

Supervisors: Towe Andersson, Novia Raseborg
Janne Inkinen, Saint Gobain Finland Oy
Harri Kemppainen, Saint Gobain Finland Oy
Jouni Hakkarainen, Eurofins Expert Services Oy

Title: Design Guide on the Use of Isover Glass Wool in P2 Fire Class Wooden Roof Structure, With Insulated Cavities, in the event of fire from above.

Date: 12.4.2024 Number of pages: 59 Appendices: 0

Abstract

This thesis was commissioned by Saint Gobain Finland Oy.

The aim of the work was to create a design guide for fire design when using Isover glass wool in a wooden roof structure, with insulated cavities of fire class P2, in case of an external fire, with fire resistance requirement REI 30.

The new generation of Eurocodes will make it possible to take glass wool into account as a functional insulation in the fire dimensioning of wooden structures. In the preparation of the design guide, the calculation method intended for a cavity structure filled with glass wool will be utilised. This was also supported by the analysis report prepared by Eurofins Expert Services Oy on fire testing of external fire in a cavity structure filled with glass wool.

The aim was to obtain a more accurate view of the behaviour of glass wool in the event of a fire from above. Based on the results a comparison of the new generation calculation method with the current method in the fire dimensioning of glass wool was made.

Language: finnish

Key words: glass wool, fire, timber structures, roof, design guide

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Saint-Gobain Finland Oy.....	2
2.1	Isover.....	2
2.1.1	Mineraalivilla.....	2
3	Puurakenteiden paloturvallisuus.....	3
3.1	Rakennuksen paloluokat ja vaatimukset.....	4
3.1.1	Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus.....	5
3.1.2	Rakenteen kantavuuden ja osastoivuuden osoittaminen.....	7
3.1.3	Taulukkomitoitus.....	8
3.1.4	Toiminnallinen palomitoitus.....	11
4	Palon leviämisen estäminen.....	13
4.1	Osastoivuuden määrittäminen.....	13
4.1.1	Osastoinnin vaikutus yläpohjaan.....	14
5	Puurakenteiden palomitoitus.....	15
5.1	Stabiliteetti palotilanteessa.....	15
5.2	Puurakenteiden käyttäytyminen palotilanteessa.....	17
6	Eurokoodien toinen sukupolvi.....	18
6.1	Yläpohjan palomitoitus.....	18
6.1.1	Vertailu Eurokoodien ensimmäiseen sukupolveen.....	18
7	Suunnitteluohje.....	19
7.1	Suunnitteluohje Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, ulkopuolisen palon tapauksessa.....	19
7.2	Polttokoe.....	24
7.2.1	Polttokokeen tulokset.....	32
7.2.2	Hiiltymisen mitattu alkamisaika.....	34
7.3	Esimerkkilaskelma.....	37
7.3.1	Esimerkkilaskennan tulokset.....	47
7.3.2	Esimerkkilaskelma nykyisen menetelmään mukaan.....	48
7.3.3	Uuden ja nykyisen menetelmän vertailu.....	52
8	Pohdinta.....	55
9	Yhteenveto.....	56
10	Referenssiluettelo.....	59

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on laadittu Saint-Gobain Finland Oy:n toimeksiannosta.

Tavoite on muodostaa suunnittelu- ja mitoitusohje lasivillan käytöstä puurankarakenteen palosuojana, kun palkisto ja lämmöneristys on alttiina yläpuoliselle palolle. Lisäksi tavoitteena on selvittää uuden Eurokoodi 5 sukupolven hyödyt verrattuna nykyiseen sukupolveen puurakenteisen yläpohjan palosuojana, kun palonkestovaatimus on ylhäältäpäin enintään REI30. Tässä tarkastellaan myös millaisissa yläpohjarakenteissa lasivilla voisi olla vaihtoehtona.

Nykyinen Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu sekä Suomen kansallinen liite, ei tällä hetkellä tunnista lasivillaa palotilanteessa. Toisen sukupolven Eurokoodit tulevat mahdollistamaan myös lasivillan huomioimisen toimivana eristeenä puurakenteiden palomitoituksessa. Suunnitteluohjeen laadinnassa tullaan hyödyntämään lasivillalla täytetty ontelorakenteelle tarkoitettua laskentamenetelmää. Tämän tukena käytetään myös Eurofins Expert Services Oy:n laatimaa analyysiraporttia, joka on teetetty Saint-Gobain Finland Oy:n toimeksiantona lasivilla täytetyn ontelorakenteen ulkopuolisen palon palotestauksesta.

2 Saint-Gobain Finland Oy

Saint-Gobain Finland Oy on perustettu vuonna 1993 ja on osa Saint-Gobain S.A konsernia, yhtiön toimialana on rakennustuote- ja metalliteollisuus, tuotteiden valmistus, myynti, markkinointi ja välitys sekä muu niihin liittyvä teollisuus ja liiketoiminta. Yhtiö tarjoaa myös palveluja ammatillisista koulutuksista, tuoteneuvontaan sekä digitaalisista laskentatyökaluista. Konserniin kuuluvia yrityksiä ovat Gyproc, Isover, Weber, Ecophon, Leca ja Pam. (Saint-Gobain, 2023)

2.1 Isover

Isover on osana Saint-Gobain Finland Oy:tä. Isover valmistaa lasivillaeristetuotteita Hyvinkäällä, Sahanmäessä sekä Forssassa sijaitsevilla tehtailla. Yhtiö on perustettu vuonna 1994, ja tuottaa vuositasolla noin 50 000 tonnia lasivillaeristeitä. Lasivillan valmistus aloitettiin Suomessa, Karhulassa jo vuonna 1941. Lasivilla valmistetaan pääsääntöisesti kierrätyslasista, mutta toisinaan myös suoraan lasin raaka-aineista eli kvartsihiekasta, soodasta ja kalkkikivestä. (ISOVER, 2023).

2.1.1 Mineraalivilla

Mineraalivilla on rakennusmateriaali, jota käytetään lämpö- ja äänieristeenä. Mineraalivillalla voidaan tarkoittaa joko lasivillaa tai kivivillaa. Mineraalivillan sideaineena käytetään yleensä fenoliformaldehidihartsia, joka tunnetaan myös bakeliittiliimana, tämä luokitellaan palavaksi aineeksi. Kuitenkin yli 50 kg/m³ painavat mineraalivillat, tai paloluokkiin A1 ja A2-s1, d0 kuuluvat mineraalivillat hyväksytään Suomessa palamattomaksi rakennusmateriaaliksi. Lasivillan sideaine aiheuttaa tämän keltaisen värin. Mineraalivillaa pystytään valmistamaan monessa eri muodossa, esimerkiksi levy, rulla sekä ruiskutettavassa purumuodossa. Mineraalivilla on painoltaan kevyt, ja pystytään muotoilemaan tarpeen mukaan rakennustyömaalla, mikä vuorossaan nopeuttaa rakennustyön edistymistä. Mineraalivillasta ei vapaudu myrkyllisiä kaasuja tai hiukkaisia, jotka huonontaisivat sisäilman laatua. Kosteudenkestävyys vaihtelee tyypeittäin, mutta yleisesti mineraalivilla kestää hyvin kosteutta. Kaikki nämä ominaisuudet tekevät mineraalivillasta yksi yleisemmistä ja enteinkin käytetyistä eristetyypeistä. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 261).

3 Puurakenteiden paloturvallisuus

Puu on materiaalina paloturvallisuuden näkökulmasta luokiteltu sekä palavana että paloturvallisena materiaalina. Tämä johtuu puun hiiltymisominaisuudesta palotilanteessa. Hiiltymisen katsotaan tapahtuvan tasaisesti, noin 1 millimetriä per minuutti. Tämä helpottaa kantokestävyyden sekä sortumisen ennakoimista palotilanteessa. Puurakenteilla helposti saavutettavat palonkestoajat ovat esim. 30, 60, 90 ja 120 minuuttia. Tämä saavutetaan tavanomaisesti rakenteiden suojaverhouksella. Suojaverhous voidaan muodostaa käyttämällä kipsikartonkilevyä sekä puurakenteiden hiiltymävaramitoitusta. Kipsikartonkilevy suojaa puurakenteen pintaa, kun kipsissä oleva kidevesi höyrystyy, tämä auttaa myös pitämään palon vastakkaisen puolen lämpötilan alhaisena. Puutalon palosuojausta voidaan lisätä, asentamalla automaattinen sammutuslaitteisto, eli sprinklauksella. Puutaloissa suositaan yleensä korkeapainevesisumusprinklausjärjestelmää, joka tukehduttaa palon vesisumulla. (Puuinfo, 2023).

3.1 Rakennuksen paloluokat ja vaatimukset

Rakennukset jaetaan paloturvallisuusasetuksen mukaisiin paloluokkiin. Kyseiset paloluokat ovat P0, P1, P2 ja P3.

Paloluokkaan P0 kuuluvat rakennukset, missä kantavat rakenteet oletetaan pääosin kestävä palossa, sortumatta. Rakennus suunnitellaan pääosin tai kokonaan oletettuun palonkehitykseen perustuvaa menetelmää, toisin sanoen toiminnallinen palomitoitus.

Paloluokkaan P1 kuuluvat rakennukset, missä kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävä palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu.

Paloluokkaan P2 kuuluvat rakennukset, missä kantavat rakenteet voivat olla paloteknisesti P1 luokan tasoa matalammat. Turvallisuustason riittävyys saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti seinien, sisäkattojen, ja lattioiden pintojen ominaisuuksille. Tämän lisäksi kerrosluku, korkeus ja henkilömäärä on rajoitettu käyttötavan mukaan. Paloluokka P2 rakennusten kantavat rakenteet voidaan toteuttaa puusta. Asuin- ja toimitilarakennukset voidaan rakentaa P2 luokan mukaisesti korkeintaan kahdeksan kerroksisena.

Paloluokkaan P3 kuuluvat rakennukset, tämän paloluokan kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Turvallisuuden riittävyys saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää käyttötavan mukaan. (Tero Lahtela, 2021, s. 9–11).

Taulukko 1. Paloluokat.

Paloluokka	Kuvaus	Tyypillisiä rakennuskohteita
P0	<ul style="list-style-type: none"> Toiminnallisen palomitoituksen mukaan (henkilömäärää ja palokuormaa koskevat tiedot ilmoitettava) 	<ul style="list-style-type: none"> Yli 28 m korkea asuinrakennus Yli 28 m korkea työpaikkarakennus
P1	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta palon ja jäähtymisvaiheen aikana ilman, että paloa sammutetaan (yleensä yli 2-kerroksisessa rakennuksessa) Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> Rakennukset, jotka eivät ole sallittuja paloluokissa P2 ja P3
P2	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla P1-paloluokkaa lievemmat Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea asuinrakennus Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos) Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea majoitusrakennus Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea työpaikkarakennus Enintään 4-kerroksinen 14 m kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾
P3	<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä, joitakin tapauksia lukuun ottamatta (esimerkiksi osastoivilla rakenteilla myös R-vaatimus) Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää käyttötarkoituksesta riippuen 	<ul style="list-style-type: none"> Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea asuinrakennus (kerrokset samaa palo-osastoa) Enintään 1-kerroksinen 9 m korkea hoitolaitos Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea majoitusrakennus Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea työpaikkarakennus Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea kokoontumis- ja liikerakennus 1-kerroksinen 14 m korkea tuotanto- ja varastorakennus ¹⁾

(Tero Lahtela, 2021, s.10).

3.1.1 Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sitä mukaan, miten ne osallistuvat paloon. Luokituksessa on tarkasteltu syttymisherkkyys, palon leviämisen ominaisuudet sekä savun ja pisaroitumisen määrää. Rakennustarvikkeiden luokat ilmaistaan tunnuksilla, esim. A1-luokkaan kuuluvat rakennustarvikkeet koostuvat yksiaineisesta palamattomasta tuotteesta, ja A2-s1, d0-luokan tuotteet koostuvat useammasta osa-aineista. Luokan osa-aineille on myös asetettu omat vaatimukset. Luokitusperusteena on käytetty tarvikkeiden käyttäytymistä palon alkuvaiheessa. Luokat A1 sekä A2-s1, d0 voidaan katsoa palokäyttäytymistä kuvaavana luokkana. Näissä luokissa olevat tuotteet käyttäytyvät samalla tavalla palon alku ja loppuvaiheessa. Muissa luokissa olevat tarvikkeet käyttäytyvät taas palon aikana vaihtelevasti, riippuen mistä aineista eri rakennekerrokset koostuvat. Tämä johtaa siihen, että pintakerros osallistuu palon alkuvaiheessa, ja seuraava rakennekerros eriste jne. osallistuvat taas palon myöhemmässä vaiheessa. Sen vuoksi nykyinen rakennusten paloturvallisuutta koskeva asetus asettaa joissakin tilanteissa luokkavaatimuksia myös rakennustarvikkeiden ytimille, kuten lämmöneristeille.

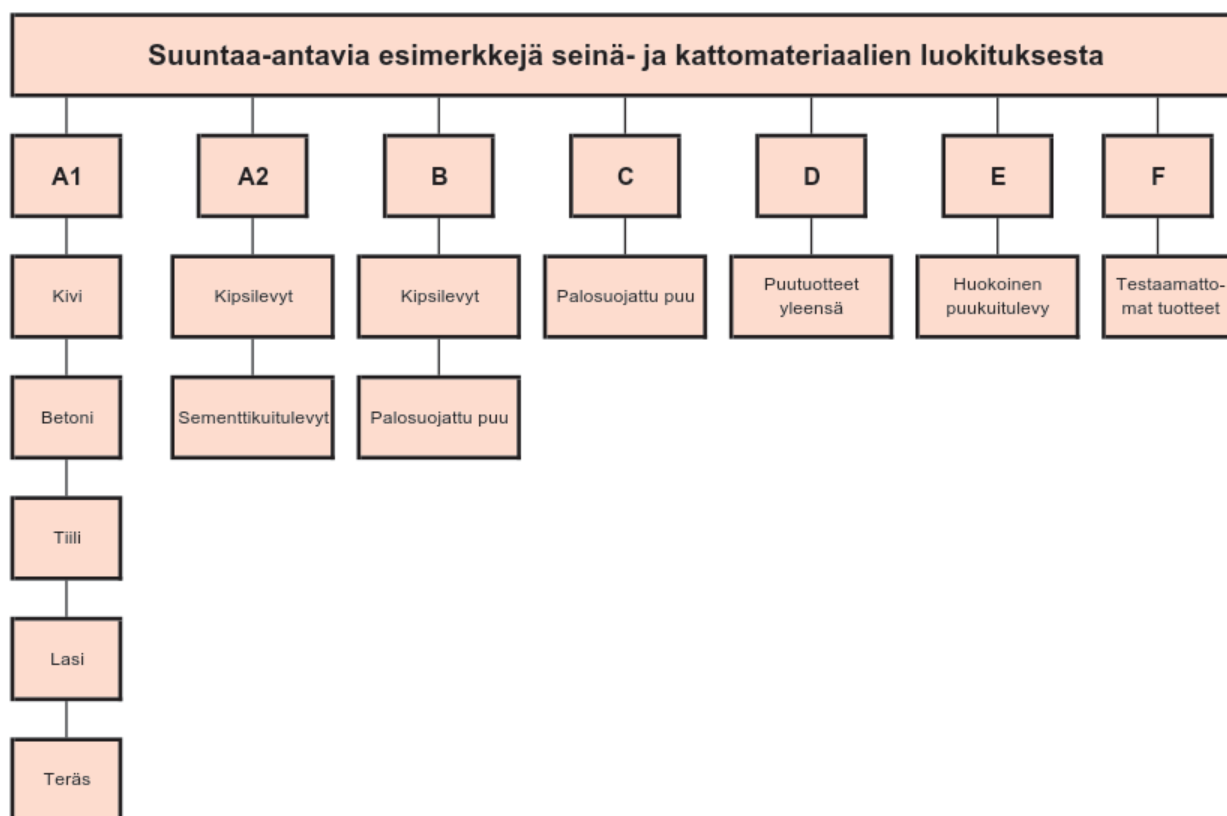
Rakennuksen sisä- ja ulkopinnoille voidaan asettaa luokkavaatimuksia. Pintaluokka on olennainen tekijä palon leviämisen kannalta. Rakennustarvikkeet luokitellaan standardisoidulla polttokokeella. (Tero Lahtela, 2021, s. 23).

Taulukko 2. Rakennustarvikkeen luokkamerkinän muodostuminen yleisesti.

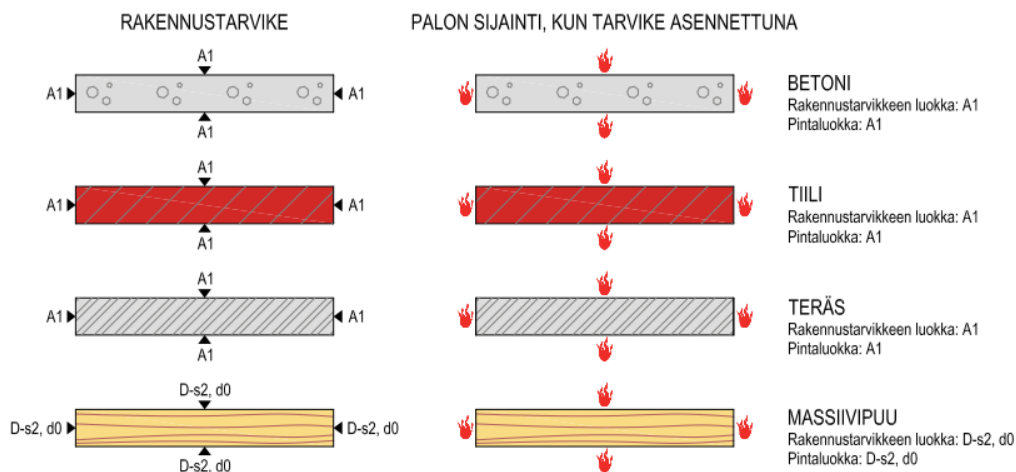
Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen Vähäinen Muu kuin s1 tai s2	s1 s2 s3	Ei esiinny Nopeasti sammuvia esiintyy Muu kuin d0 tai d1	d0 d1 d2
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2				
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B				
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

(Tero Lahtela, 2021, s.23).

Taulukko 3. Seinä- ja kattomateriaalien jakautuminen luokkiin.

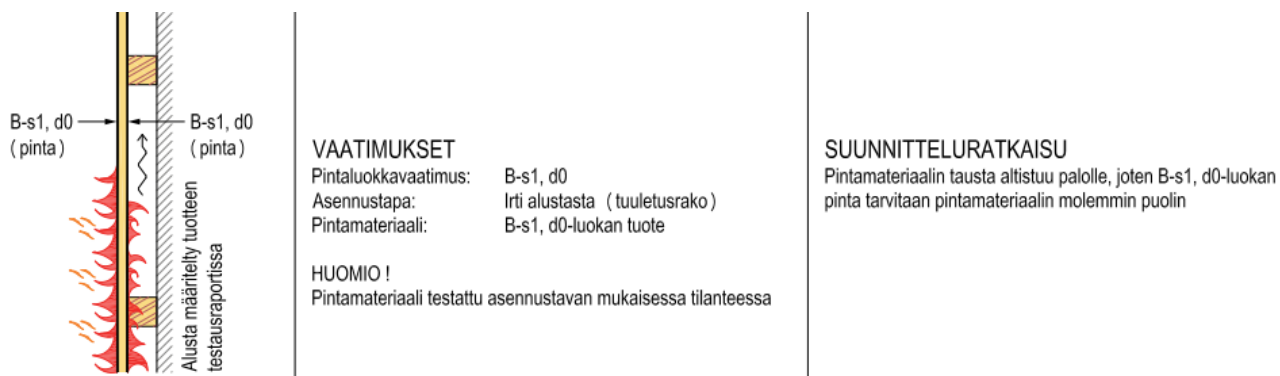


(Tero Lahtela, 2021, s.25).



Kuva 1. Esimerkkejä yksiaineisista rakennustarvikkeista.

(Tero Lahtela, 2021, s.26).



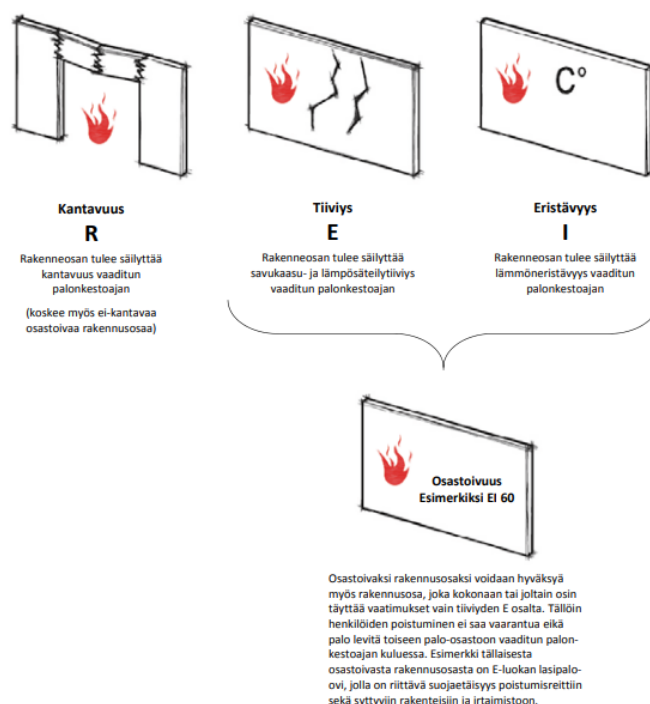
Kuva 2. Esimerkkejä asennustavan vaikutuksesta pintamateriaalilta ja alustalta vaadittaviin ominaisuuksiin.

(Tero Lahtela, 2021, s.26).

3.1.2 Rakenteen kantavuuden ja osastoivuuden osoittaminen

Kantavat sekä osastoivat rakenteet suunnitellaan REI-luokkavaatimuksen mukaisesti, käyttäen standardipalokäyrän tilanteetta. Kantavuuden ja osastoivuuden kannalta, kantavan rungon rakennusmateriaali ei vaikuta palotilanteen perusvaatimuksiin. Esimerkiksi 3–8 kerroksisen asuinkerrostalon kantavien sekä osastoivien rakenteiden vaatimukset ovat samat puu- ja betonirakenteille. Rakennusosien kantavuus palotilanteessa voidaan osoittaa laskentamenetelmällä, joka on esitetty Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelussa. Tämä sisältää menetelmät sekä palonsuojatuille sekä palosuojaamattomien rakenteiden tarkasteluun. Eri rakenteiden kantavuuden osoittaminen voidaan vaihtoehtoisesti tehdä standardisoidulla polttokokeella. Tällä tavalla päästään yleensä tarkempaan sekä taloudellisempaan lopputulokseen. Tavat voidaan myös

yhdistää siten, että käytetään osittain sekä polttokoetulosten että laskentamenetelmän yhdistämistä, joiden avulla saavutetaan yhdistelmän lopputulos. Seinärakenteiden osastoivuus voidaan määritellä Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelussa esitetyllä tavalla. Yleisesti rakenneosien osastoivuuden osoittaminen on vaikeasti määriteltävissä, johtuen siitä, että laskentamenetelmät ovat tällä hetkellä hyvin rajalliset. Tavanomaisesti rakennusosien osastoivuus joudutaan osoittamaan standardisoidulla polttokoe-menetelmällä. Rakennusosien osastoivuudesta on saatavilla hyvä määrä tietoa, sillä tuotevalmistajat ovat vuosien varrella suorittaneet suuria määriä eri polttokokeita erilaisille rakennusosille ja kokonaisuuksille. (Tero Lahtela, 2021, s. 9–11).



Kuva 3. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset.

(Tero Lahtela, 2021, s.11).

3.1.3 Taulukkomitoitus

Puurunkoinen rakennus on toteutettavissa kaikissa paloluokissa, edellyttäen että palomääräysten paloteknisiä vaatimuksia noudatetaan. Taulukoissa 2, 3 ja 4 on esitetyt vaatimukset puurungon suunnittelun osalta, helpottaakseen rakenteellisia sekä materiaali valintoja. Puurungolla voidaan tarkoittaa puurankarunkoa, CLT-levyrunkoa, LVL-levyrunkoa

tai hirsirunkoa. Palomääräysten taulukoiden mukaan P1-paloluokan rakennusten kerrosalaa, korkeutta tai henkilömäärää ei rajoiteta. Kuitenkin kyseisen paloluokan puurakennus voidaan toteuttaa maksimissaan kaksikerroksisena. Silloin ulkoseinärakenteiden tarvikeluokkavaatimukseen tulee kiinnittää erityshuomiota. Esimerkiksi hoitolaitoksen tai majoitusrakennuksen toteuttaminen P1-paloluokassa, vaatii A2-s1, d0 luokan kantavaa runkoa. Yli kaksikerroksisen P1-paloluokan puurakennuksen toteutuksessa, suunnittelun täytyy perustua oletettuun palonkehitykseen, eli toiminnalliseen palomitoitukseen. (Tero Lahtela, 2021, s. 13–14).

Taulukko 4. Tyyppillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P3-paloluokassa.

P3	Nimitys	Käyttö	Sprinklaus ⁵⁾	Kerrosala [m ²]	Palo-osasto [m ²]	Kork. [m]	Krs. [kpl]	HIö ⁴⁾ [kpl]	Runko ⁷⁾	
	Päiväkoti (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	-	≤ 2400	≤ 400	≤ 9	1	≤ 500	-	
			pakollinen	≤ 4800	≤ 1200	≤ 9	1	≤ 1000	-	
			-	≤ 1600	≤ 400	≤ 9	2	≤ 50	-	
			pakollinen	≤ 2400	≤ 600	≤ 9	2	≤ 50	-	
	Myymälä	Liiketila	-	≤ 2400	≤ 400	≤ 9	1	≤ 500	-	
			pakollinen	≤ 4800	≤ 1200	≤ 9	1	≤ 1000	-	
			-	≤ 1600	≤ 400	≤ 9	2	≤ 50	-	
			pakollinen	≤ 2400	≤ 600	≤ 9	2	≤ 50	-	
	Kirjasto	Kokoontumistila	-	≤ 2400	≤ 400	≤ 9	1	≤ 500	-	
			pakollinen	≤ 4800	≤ 1200	≤ 9	1	≤ 1000	-	
			-	≤ 1600	≤ 400	≤ 9	2	≤ 50	-	
			pakollinen	≤ 2400	≤ 600	≤ 9	2	≤ 50	-	
	Pientalo ¹⁾	Asunto	-	≤ 2400	huoneistoittain	≤ 9	1	≤ 250	-	
			-	≤ 1600	huoneistoittain	≤ 9	2	≤ 150	-	
	Rivitalo ²⁾	Asunto	-	≤ 2400	huoneistoittain	≤ 9	1	≤ 250	-	
			pakollinen	≤ 4800	huoneistoittain	≤ 9	1	≤ 500	-	
			-	≤ 1600	huoneistoittain	≤ 9	2	≤ 150	-	
			pakollinen	≤ 2400	huoneistoittain	≤ 9	2	≤ 250	-	
	Asuin-kerrostalo ³⁾	Asunto	Ei mahdollinen							
	Toimisto	Työpaikatila	-	≤ 2400	≤ 400	≤ 9	1	≤ 250	-	
pakollinen			≤ 4800	≤ 1200	≤ 9	1	≤ 500	-		
-			≤ 1600	≤ 400	≤ 9	2	≤ 150	-		
pakollinen			≤ 2400	≤ 600	≤ 9	2	≤ 150	-		
Hotelli ⁴⁾	Majoitustila	-	≤ 2400	≤ 400 yöpymistilat ≤ 400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 50	-		
		pakollinen	≤ 4800	≤ 600 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 9	1	≤ 100	-		
		-	≤ 1600	≤ 400 yöpymistilat ≤ 400 muut tilat	≤ 9	2	≤ 10	-		
		pakollinen	≤ 2400	≤ 600 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 9	2	≤ 10	-		
Palvelutalo ⁴⁾	Hoitolaitos	-	≤ 2400	≤ 400 yöpymistilat ≤ 400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 10	-		
		pakollinen	≤ 2400	≤ 600 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 9	1	≤ 25	-		

¹⁾ Tässä 1.-2-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset ja päällekkäiset tilat kuuluvat samaan huoneistoon.

²⁾ Tässä 1.-2-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset huoneistot kuuluvat eri palo-osastoihin ja päällekkäiset tilat kuuluvat samaan huoneistoon.

³⁾ Tässä 1.-2-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset ja päällekkäiset huoneistot kuuluvat eri palo-osastoihin.

⁴⁾ Palo-osasto on jaettava osiin majoitushuoneittain.

⁵⁾ Turvallisuusselvityksen kautta sprinklaus voi tulla aina pakolliseksi rakennuksissa, jotka on tarkoitettu henkilöille, joiden poistumismahdollisuudet alentuneen toimintakyvyn seurauksena ovat tavanomaista huonommat (esim. hoitolaitos, majoitustila, asunto).

⁶⁾ Majoitustilassa ja hoitolaitoksessa paikkaluku, muissa tapauksissa rakennuksessa oleskelevien henkilöiden määrä.

⁷⁾ Kantavan rungon luokkavaatimus. Osastoitvien rakennusosien rungon tulee täyttää vähintään sama palonkestoaikavaatimus kuin osastoivuudelta vaaditaan.

Taulukko 5. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P2-paloluokassa.

P2	Nimitys	Käyttö	Sprinklaus ²⁾	Kerrosala [m ²]	Palo-osasto [m ²]	Kork. [m]	Krs. [kpl]	Hlö ⁴⁾ [kpl]	Runko ⁷⁾
	Päiväkoti (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 1200	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 60
	Myymälä	Liiketila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 300 ⁸⁾	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 60
	Kirjasto	Kokoontumistila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 1200	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 60
	Pientalo ¹⁾	Asunto	-	-	huoneistoittain	≤ 9	1...2	ei rajoitusta	R 30
			-	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 45
			pakollinen	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 30
	Rivitalo ²⁾	Asunto	-	ei rajoitusta	huoneistoittain	≤ 9	1...2	ei rajoitusta	R 30
			-	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 45
pakollinen			≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3...4	≤ 1000	R 30	
Asuin-kerrostalo ³⁾	Asunto	-	ei rajoitusta	huoneistoittain	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30	
		pakollinen	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 28	3...8	≤ 1000	R 60	
Toimisto	Työpaikka-tila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30	
		-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30	
		pakollinen	≤ 12000	≤ 2400	≤ 28	3...8	≤ 1000	R 60	
Hotelli ⁴⁾	Majoitustila	-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	1	≤ 150	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 300	R 30	
		-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	2	≤ 50	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	2	≤ 100	R 30	
		pakollinen	≤ 12000	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 28	3...8	≤ 500	R 60	
Palvelutalo ⁴⁾	Hoitolaitos	-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	1	≤ 100	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 200	R 30	
		-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	2	≤ 25	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	2	≤ 50	R 30	
		pakollinen	≤ 12000	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 28	3...8	≤ 150	R 60	

¹⁾ Tässä 1.-4.-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset ja päällekkäiset tilat kuuluvat samaan huoneistoon.

²⁾ Tässä 1.-4.-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset huoneistot kuuluvat eri palo-osastoihin ja päällekkäiset tilat kuuluvat samaan huoneistoon.

³⁾ Tässä vähintään 2.-kerroksinen asuinrakennus, jossa vierekkäiset ja päällekkäiset huoneistot kuuluvat eri palo-osastoihin.

⁴⁾ Palo-osasto on jaettava osiin majoitushuoneittain.

⁵⁾ Turvallisuusselvityksen kautta sprinklaus voi tulla aina pakolliseksi rakennuksissa, jotka on tarkoitettu henkilöille, joiden poistumamahdollisuudet alentuneen toimintakyvyn seurauksena ovat vananomaista huonommat (esim. hoitolaitos, majoitustila, asunto).

⁶⁾ Majoitustilassa ja hoitolaitoksessa paikkaluku, muissa tapauksissa rakennuksessa oleskelevien henkilöiden määrä.

⁷⁾ Kantavan rungon luokkavaatimus. Osastovien rakennusosien rungon tulee täyttää vähintään sama palonkestoaikavaatimus kuin osastoivuodelta vaaditaan.

⁸⁾ 1200 m², jos tila on rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa sekä tilan kantavat ja osastoivat rakennusosat täyttävät A2-s1, d0-luokan vaatimukset.

Taulukko 6. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P1-paloluokassa.

P1	Nimitys	Käyttö	Palokuormaryhmä	Sprinklaus ¹⁾	Palo-osasto [m²]	Krs. [kpl]	Runko ²⁾
	Päiväkoti (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	alle 600 MJ/m ²	-	≤ 2400	1..2	R 60
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60
	Myymälä	Liiketila	alle 600 MJ/m ²	-	≤ 300	1..2	R 60
				-	≤ 2400	1..2	R 90
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60
	Kirjasto	Kokoontumistila	600 - 1200 MJ/m ²	-	≤ 2400	1..2	R 90
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60
	Toimisto	Työpaikkatila	alle 600 MJ/m ²	-	≤ 2400	1..2	R 60
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60

¹⁾ Turvallisuusselvityksen kautta sprinklaus voi tulla aina pakolliseksi rakennuksissa, jotka on tarkoitettu henkilöille, joiden poistumismahdollisuudet alentuneen toimintakyvyn seurauksena ovat tavanomaista huonommat (esim. hoitolaitos, majoitustila, asunto).

²⁾ Kantavan rungon luokkavaatimus. Osastoivien rakennusosien rungon tulee täyttää vähintään sama palonkestoaikavaatimus kuin osastoivuudelta vaaditaan.

(Tero Lahtela, 2021, s.21).

3.1.4 Toiminnallinen palomitoitus

Toiminnallinen palomitoitus perustuu oletettuun palonkehityksen, rakennuskohtaiseen todennäköisesti syntyvään tilanteeseen. Tässä huomioidaan myös rakennuskohtainen käyttötarkoitus sekä ominaisuudet. Tämä mitoitustapa katsotaan olevan verrattavissa palomääräysten mukaiseen taulukkomitoitukseen. Toiminnallinen palomitoitus edellyttää, että käytettävät menetelmät ovat sellaisia, joiden kelpoisuus on osoitettu. Laskenta- ja koemenetelmät, joita voidaan olettaa täyttävän nämä kelpoisuusvaatimukset ovat Eurooppalaisten EN sekä kansainväliset ISO standardit. Suunnittelun yhteydessä käytetyt menetelmät sekä mallit ja tulokset on esitettävä rakennusluvan yhteydessä. (Tero Lahtela, 2021, s. 13–14).



Kuva 4. Toiminnallisessa palomitoituksessa todennäköiset palotapahtumat simuloidaan tietokoneohjelmilla.

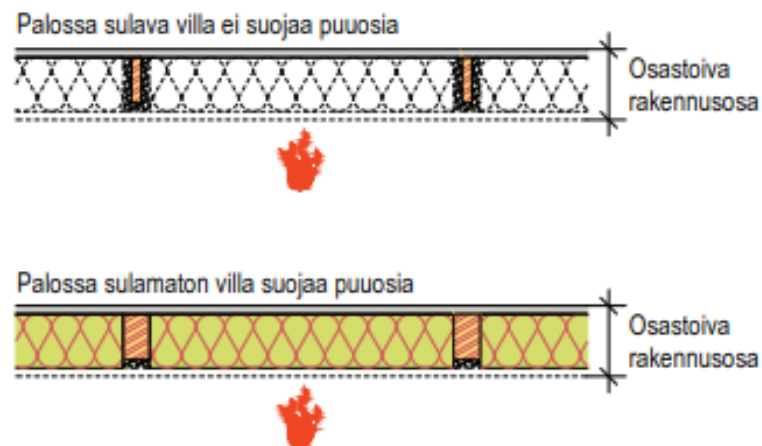
Kuvat: Pekka Nurro ja VTT. (Tero Lahtela, 2021, s.21).

4 Palon leviämisen estäminen

Palon leviämisen estämisen tarkoitus on varmistaa, että palo ei leviä rakennuksesta toiseen. Tätä kautta henkilöturvallisuus ei vaarannu eikä aiheuta huomattavia taloudellisia tai yhteiskunnallisia menetyksiä. Tämä toteutetaan yleensä noudattamalla rakennusten välisiä määritettyjä turvaetäisyyksiä. Jos tätä ei pystytä toteuttamaan, rakennusten väliin on sijoitettava palomuri. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017, luku 5).

4.1 Osastoivuuden määrittäminen

Rakennusosan osastoivuuden määrittäminen perustuu rakenteen toisen puolen lämpötilan nousuun sekä tiiveystarkasteluun. Tämän tarkastelun yhteydessä, on huomioitava myös mahdolliset epäjatkuvuuskohdat kuten saumat ja reiät. Rakenteellinen kantavuustarkastelu tehdään myös rungon osalta. Rankarunkoisessa rakenteessa kestävyys on usein melko heikko, tähän voidaan vaikuttaa rankojen välissä olevalla eristetyypillä. (Tero Lahtela, 2021, s. 40–58).

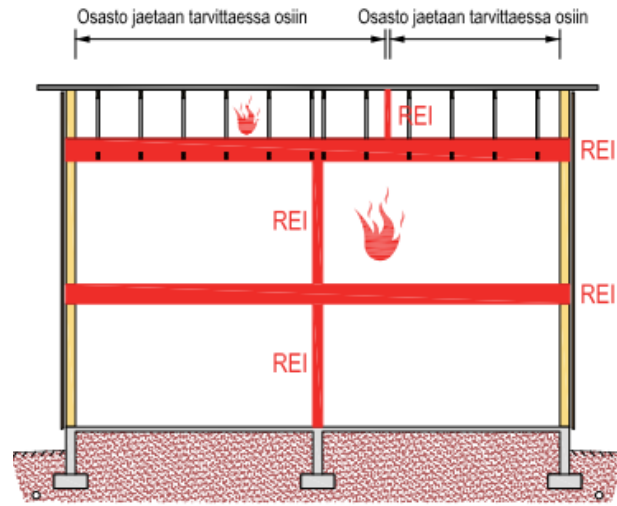


Kuva 5. Lämmöneristeen tyyppi vaikuttaa rangan hiiltymiseen ja tätä kautta sen kestävyyteen myös osastoivassa rakennusosassa.

(Tero Lahtela, 2021, s.43).

4.1.1 Osastoinnin vaikutus yläpohjaan

Osastoivan rakenteen ja tätä kantavat rakennusosat tulee aina säilyttää kantokykyominaisuutensa koko vaaditun osastointiajan. Mukaan lukien P3-luokan rakennuksia, missä palotilanteessa ei ole kantavuusvaatimuksia. Tästä syystä, kun lähdetään suunnittelemaan osastoivaa rakennetta, tulee tällöin ensin tarkastella kantavan rungon kestävyyttä palotilanteessa. Tällä tavalla saavutetaan mahdollisimman taloudellinen ratkaisu. Ullakollisessa rivitalorakennuksessa yläpohja tehdään perinteisesti osastoivaksi rakenteeksi. Koska rakenne on osastoiva, tämä tarkoittaa sitä, että yläpohjan runkorakenteen on säilytettävä kantavuutensa koko vaaditun osastointiajan. Tämä pätee sekä sisäpuolisessa- että ullakkopalotilanteessa. Käyttäen NR-ristikkorakennetta, tämä vaatii paloristikkoratkaisun, jotta kantavuus pystytään säilyttämään ullakkopalotilanteessa. Poikkeuksena P3-luokan rakennuksissa, missä voidaan yhdistellä yläpohjan sisäpuolinen osastointi sekä osastoimalla pystyrakenteet vesikattoon asti. Tällä tavalla estetään palon leviäminen ullakkotasolla sivusuunnassa, sekä sisätiloista ullakkotilaan ja kerrososastointia ei tarvita. Paloluokissa P1 ja P2 vaaditaan kerrososastointi sisätilojen sekä ullakon väliin. Yläpohjarakenne toteutetaan tavanomaisesti joko NR-paloristikoista tai palkkiyläpohjana. Käyttäen palkkiyläpohjaratkaisua, ontelo ei välttämättä tarvitse osastoida kerroksesta. Tämä kuitenkin edellyttää, että kaikkien pintojen olevan B-s1,d0 luokkaa. Pieniä määriä (max. 20%) pinnoista voidaan toteuttaa luokan D-s2,d2 materiaaleista. Suositeltavaa on kuitenkin aina osastoida kerroksesta, milloin pintojen vaatimus voi olla D-s2,d2 luokkaa, ja aluskate voi olla normaali E-luokkaa. Vaakasuuntaista osastointia ei tässä tapauksessa tarvita, koska ontelo on kauttaaltaan osastoitu alapuolisessa tilassa. Yläpohjarakenteen ontelo jaetaan enintään 400m² palo-osastoihin, EI 15-luokan rakennusosin. Jos rakennuksen yläpohja sisältää ullakon, tämä tulee mitoittaa yläpohjan luokkavaatimuksen mukaan sekä ylä- ja alapuoliselle että ontelo palolle. (Tero Lahtela, 2021, s. 40–58).



Kuva 6. P1- ja P2-paloluokan rakennuksessa ullakko kerrososastoidaan.

(Tero Lahtela, 2021, s.43).

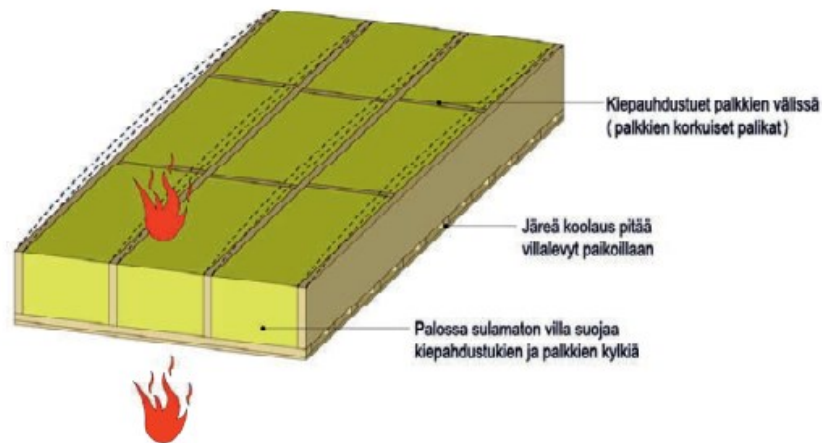
5 Puurakenteiden palomitoitus

Palomitoitus perustuu standardiin SFS-EN 1995-1-1. Palorasituksia koskevat mitoitushjeet, ovat esitetty standardissa SFS-EN 1995-1-2. Standardoidun lämpötiläkäyrän palorasitusten mukaiset rakennusosat tulee täyttää näille asetetut R, E, I palonkestävyysvaatimukset. Täyttymiskriteerit esitetään standardissa SFS-EN 1363-1:1999. (RIL 205-2-2019, 2019, s. 13–15).

5.1 Stabiilitteetti palotilanteessa

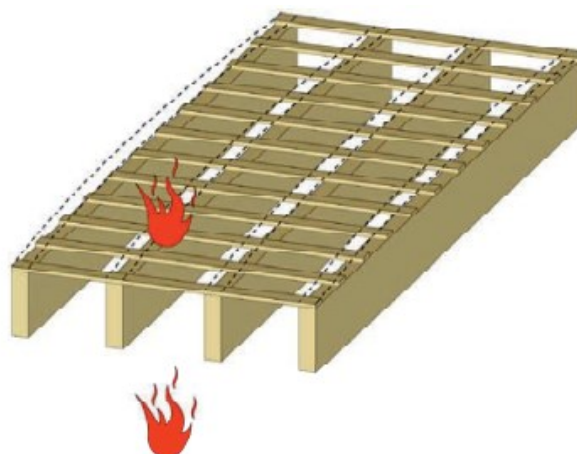
Lähtökohtaisesti suoritetaan aina rakennuksen kokonaisstabiilisuustarkastus, ennen varsinaista palomitoitusta. Tämä tehdään siitä syystä, että joissain tapauksissa joudutaan suunnittelemaan erillinen stabiilitteettituenta, jos esimerkiksi palotilanteessa levyt, jotka tukevat seinien rankoja, palavat pois. Kaikki tuennat suunnitellaan myös siten, että nämä kestävät koko vaaditun palonkestoajan. Tällaisessa tapauksessa joudutaan miettimään myös stabilisoivien osien kokoa ja materiaalivalintoja. Valintojen mukaan, joudutaan huomioimaan osien hiiltyminen ja palonsuojausta. Tavanomaisesti kuitenkin haastavin osalualue tukevien rakenteiden suunnittelussa, ovat liitosten suunnittelu ja mitoitus. Suosituksena on aina suojata liitokset koko palonkestovaatimuksen ajaksi. Sillä suojaamattomien liitosten palonkesto aika on hyvin heikko, ja reunaetäisyyden tarkasteluissa tulee myös huomioida puuosan hiiltyminen palotilanteessa.

Rakennesuunnittelun näkökulmasta, puurakenteet pyritään suunnittelemaan koko palonkestoajan kestäväällä suojauksella. Tämä johtaa suunnittelun osalta huomattavasti yksinkertaisempiin ratkaisuihin. Jos tämä tapa ei ole vaihtoehto, puurakenteet kannatta suunnitella hiiltymän osin siten, että osan kokoa kasvatetaan ylisuureksi, jotta hiiltymä ei vaikuta osan kantavuuteen tai stabiiliteettiin. Esimerkkinä NR-ristikkorakenteinen yläpohja, missä alapaarrepalkki on palotilanteessa hyvin kiepahdusaltis ja toimii tällaisessa tilanteessa kantavana rakenteena. (Tero Lahtela, 2021, s. 87–93).



Kuva 7. Kiepahdustuet estävät palkkien kiepahtamisen ala- tai yläpuolisessa palossa.

(Tero Lahtela, 2021, s.89).



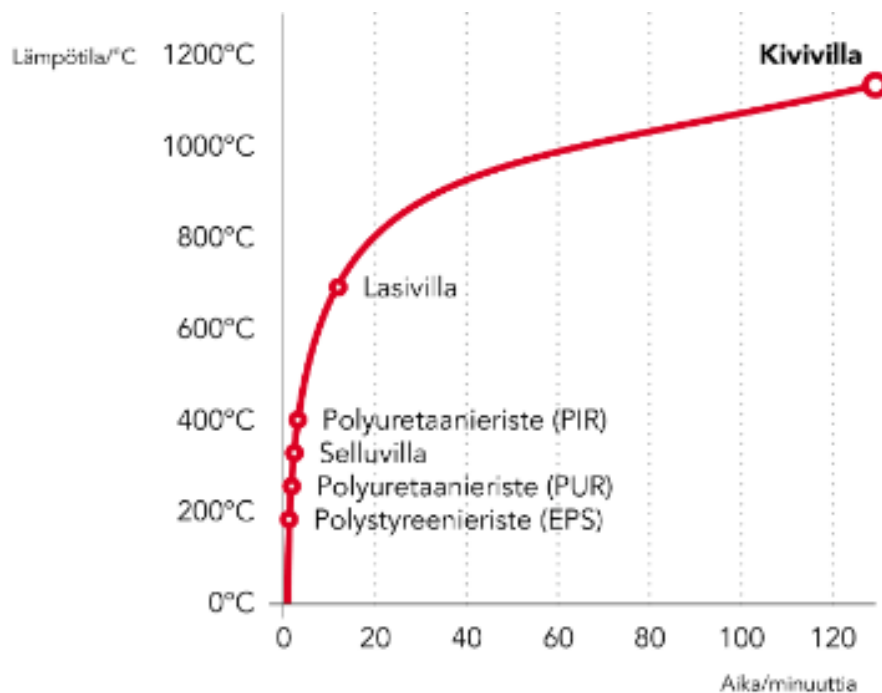
Kuva 8. Riittävän järeät palkit voidaan suunnitella toimimaan ilman kiepahdustuenta ala- tai yläpuolisessa palossa.

(Tero Lahtela, 2021, s.89).

5.2 Puurakenteiden käyttäytyminen palotilanteessa

On tärkeä olla tietoinen puurakenteiden käyttäytymisestä palotilanteessa palomitoitusta tehdessä. Tämän tiedon perusteella voidaan päätellä, tarvitaanko erillistä stabiliteettituentaa, millaista palonsuojamenettelyä tulisi käyttää sekä millaista lämpöeristetyyppejä voidaan kohteessa käyttää. Puurakenteissa rakenneosissa käytettävän villan tyyppi on oleellinen, palonsuojausta varten. Palonsuojauksen suunnittelussa tulee aina tarkistaa villatyyppin sulamislämpötila. Mineraalivillat ovat tavanomaisesti A2-s1, d0-luokkaa, mutta näiden sulamislämpötilat voivat vaihdella tuotteiden välillä. Tässä on lasivillan ja kivivillan välillä huomattavia eroavaisuuksia. (Tero Lahtela, 2021, s. 93).

Kuvassa 9 voidaan havainnollistaa erityyppisten eristemateriaalien palonkestävyyttä, eli sulamislämpötilaa suhteutettuna aikaan ja lämpötilaan:



Kuva 9. Eri eristemateriaalien palonkestävyyden suhteessa aikaan ja lämpötilaan.

(Rockwool, 2024).

6 Eurokoodien toinen sukupolvi

Eurokoodeja uudistetaan parhaimmillaan. Uusien eurokoodien käännökset tullaan julkaisemaan vuosien 2022-2027 välillä. Yhtenä tavoitteena, on ollut eurokoodien yksinkertaistus. Uudistusta viedään eteenpäin eurooppalaisten asiantuntijoiden toimesta. Suomen seurantaryhmät osallistuvat myös uudistukseen, ja kansallisten liitteiden valmistelu on aloitettu. Vaikka osa toisen sukupolven eurokoodeista on jo julkaistu, näiden käyttö korvaamaan nykyisen sukupolven eurokoodeja ei ole sallittu. Sillä kansallisia liitteitä ei ole vielä julkaistu, eurokoodeja ei tulisi käyttää ilman kansallisia liitteitä. Toisen sukupolven eurokoodeja pystyy kuitenkin hyödyntämään siltä osin, mitä nykyisessä sukupolvessa ei käsitellä. Tällaisissa tapaukset tulee kuitenkin huomioida, että nämä ovat ohjeita ja käytöstä tulee sopia erikseen hankkeen osapuolien kesken. (Eurokoodi help desk, 2023).

6.1 Yläpohjan palomitoitus

Toisen sukupolven Eurokoodin 5 luonnoksessa (prEN1995-1-2 FORMAL ENQUIRY) on yksinkertaistetut suunnittelumenetelmät, toisen sukupolven eurokoodi 5 luvun 7 lausekkeen 7.2.4 mukaisesti. Puurungon suunnittelu sisältää ohjeet tehollisen poikkileikkauksen laskemiseksi vaaditulla palonkestävyysajalla, mukaan lukien rakenteet, joilla on suojaustaso PL2 eristys (lasivilla) täysin eristetyissä onteloissa.

6.1.1 Vertailu Eurokoodien ensimmäiseen sukupolveen

Nykyisen sukupolven Eurokoodi 5:ssa on kaksi yksinkertaistettua suunnittelumenetelmää palonkestävyyden mitoitukseen, tehollisen poikkileikkauksen menetelmä sekä tehollisten ominaisuuksien menetelmä. Jälkimmäistä menetelmää ei kuitenkaan käytetä Suomessa, RIL 205-2-2009:n mukaan. Nykyinen Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu sekä Suomen kansallinen liite, ei tunnista lasivillaa palotilanteessa, tämä katsotaan eristämättömäksi rakenteeksi. Olennainen muuttuja toisen sukupolven eurokoodi 5:ssa on eristeille määritetty v_{rec} arvo, joka viittaa onteloeristeen kuroutumisnopeuteen. Esimerkiksi ontelon eristyksen PL2 kuroutumisnopeuden v_{rec} oletusarvo, eristeelle, joka on valmistettu 14 kg/m³ tiheästä mineraalivillasta on 30 mm/min. Muita arvoja voidaan määrittää standardisoidulla palotestauksella. (RIL 205-2-2019, 2019).

7 Suunnitteluohje

Suunnitteluohjeen tarkoituksena on ollut tuoda esille, miten toisen sukupolven Eurokoodi 5 ohjeita tulisi soveltaa, tehollisen poikkileikkauksen laskennassa vaaditulla palonkestävyyssajalla, kun kyseessä on rakenne, jolla on suojaustaso PL2 täysin eristetyissä onteloissa. Seuraavat ohjeet ja mitoitusmenettely perustuvat Eurofins Expert Servisec Oy:n analyysiraporttiin Report no EUFI29-23000413-T1.

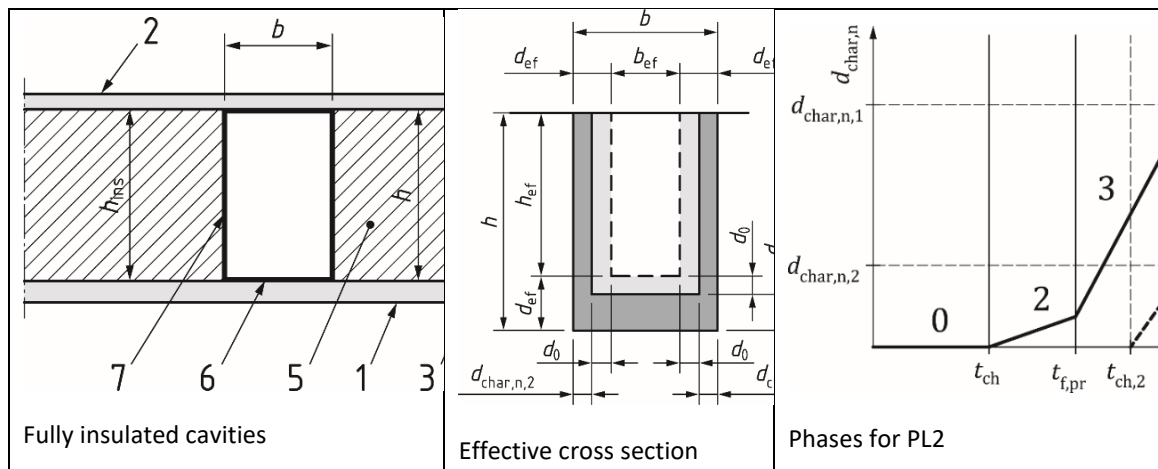
(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023)

7.1 Suunnitteluohje Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, ulkopuolisen palon tapauksessa.

Tämä suunnitteluohje käsittää puurakenteisen yläpohjarakenteen jäännöspoikkileikkauksen laskentamenetelmää, ulkopuolisen palon tapauksessa, sellaisessa tilanteessa, missä puurunko-osien sivut suojataan Isover Standard 36 lasivilla eristeellä.

Mitoituksessa lasketaan nimellinen jäännöspoikkileikkaus, joka saadaan vähentämällä palolle alttiina olevien sivujen nimellinen hiiltymä alkuperäisestä poikkileikkauksesta.

“prEN1995-1-2:20YY [2] The draft of the 2nd generation eurocode 5 has in chapter 7 Simplified design methods under the clause 7.2.4 Design of timber frame assemblies the instructions for the calculation of effective cross section at the required fire resistance time t_{req} including constructions which have a protection level PL2 insulation (glass wool) in fully insulated cavities. Below are the relevant parts of the clause for the tested structure to calculate effective cross sections of the beams although there is no panel at the fire exposed side and fire exposure is from above”. (prEN1995-1-2:20YY [2])



Kuva 10. Puurunko-osien suunnittelumalli.

(prEN1995-1-2:20YY [2], 2023, s.61-63).

Puuosan tehollisen poikkileikkauksen korkeus h_{ef} ja leveys b_{ef} lasketaan seuraavasti:

$$h_{ef} = h - k_{side} \cdot d_{ef} \quad \text{with} \quad d_{ef} = d_{char,n,1} + d_0 \quad (1), (2)$$

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} \quad \text{with} \quad d_{ef} = d_{char,n,2} + d_0 \quad (3), (4)$$

missä

h_{ef}	poikkileikkauksen korkeussuuntainen tehollinen jäännöspoikkileikkaus [h];
h	poikkileikkauksen alkuperäinen korkeus [h];
b_{ef}	poikkileikkauksen leveyssuuntainen tehollinen jäännöspoikkileikkaus [b];
b	poikkileikkauksen alkuperäinen leveys [b];
k_{side}	on palolle alttiina olevien vastakkaisten sivujen lukumäärä;
d_{ef}	tehollinen hiiltemissyvvyys;
$d_{char,n,1}$	on puurunko osan palolle alttiina olevan sivun nimellinen hiiltemissyvvyys;
$d_{char,n,2}$	on puurunko osan sivuttaispuolen nimellinen hiiltemissyvvyys;
d_0	on lujuuden ja jäykkyyden menettäneen kerroksen paksuus.

Hiiltemisen nimellissyvvyys $d_{char,n,1}$ palolle alttiina olevalle puolelle ja $d_{char,n,2}$ puutavaran sivupuolelle lasketaan seuraavasti:

$$d_{char,n,1} = \sum_{Phases} (\beta_n \cdot t) \quad (5)$$

$$d_{char,n,2} = \sum_{Phases} (\beta_n \cdot t) \quad (6)$$

missä

$d_{char,n,1}$	on puurunko-osalle palolle alttiina olevan puolen nimellinen hiiltemissyvvyys [mm];*
$d_{char,n,2}$	on puurunko-osan sivun nimellinen hiiltemissyvvyys [mm]; **
β_n	on oletettu hiiltemisnopeus yhden hiiltemisvaiheen aikana, [mm/min];
t	on hiiltemisvaiheen aika, [min].

*) = Huom! Suojaamaton yläpinta altistuu palolle heti, eli hiiltemisvaiheen aika (t) = palonkesto aika.

**) = Huom! Kun onteloiden eriste on luokkaa PL2, hiiltemisen alkamisaika puurunko-osan sivuttaispuolella on $t_{ch,2}$ (7.39). Eli hiiltemisvaiheen aika (t) = palonkesto aika - $t_{ch,2}$.

Puurunko-osien nimelliset hiiltymisasteet tulisi laskea seuraavasti:

$$\beta_n = k_{3,1} \cdot k_{s,n,1} \cdot \beta_0 \quad \text{tulipalolle alttiina olevalle puolelle} \quad (7)$$

$$\beta_n = k_{3,2} \cdot k_{s,n,2} \cdot \beta_0 \quad \text{sivusuunnassa} \quad (8)$$

missä

$d_{char,n,1}$ on puurunko-osalle palolle alttiina olevan puolen nimellinen hiiltymissyvyys [mm];

$d_{char,n,2}$ on puurunko-osalle sivuttaispuolen nimellinen hiiltymissyvyys [mm];

β_n on oletettu hiiltymisnopeus yhden hiiltymisvaiheen aikana, [mm/min];

t on hiiltymisvaiheen aika, [min]

missä

β_n on oletettu hiiltymisnopeus yhden hiiltymisvaiheen aikana, [mm/min];

$k_{s,n,1}$ on poikkileikkauksen palolle alttiina olevan puolen muuntokerroin

$k_{s,n,2}$ on poikkileikkauksen sivuttaispuolen muuntokerroin

$k_{3,1}$ on palosuojausjauksen jälkisuojauskerroin, kolmosvaiheelle, palolle alttiina olevalle puolelle

$k_{3,2}$ on palosuojausjauksen jälkisuojauskerroin, kolmosvaiheelle, sivusuunnassa

β_0 on perusrakenteen hiiltymisnopeus, [mm/min].

Poikkileikkauksen palopuolen muuntokerroin $k_{s,n,1}$ ja sivupuolen muuntokerroin $k_{s,n,2}$ lasketaan seuraavasti:

$$k_{s,n,1} = \begin{cases} \left(\frac{b}{65}\right)^2 - \frac{b}{21} + 3,62 & \text{jos } b \leq 90\text{mm} \\ 1,25 & \text{jos } b > 90\text{mm} \end{cases} \quad (9)$$

$$k_{s,n,2} = \begin{cases} \left(\frac{h}{65}\right)^2 - \frac{h}{21} + 3,62 & \text{jos } h \leq 90\text{mm} \\ 1,25 & \text{jos } h > 90\text{mm} \end{cases} \quad (10)$$

missä

b on puurunko-osan alkuperäinen poikkileikkauksen leveyssuunnassa [mm];

h on puurunko-osan alkuperäinen poikkileikkauksen korkeussuunnassa [mm];

Mineraalivillan PL2 onteloeristyksen jälkisuojauskerroin on:

$$k_{3,1} = 1 + \frac{t_{f,pr}}{58} \text{ tulipalolle alttiina olevalle puolelle} \quad (11)$$

$$k_{3,2} = 1 \leq \frac{t_{ch,2}}{20} \leq 2 \text{ sivusuunnassa} \quad (12)$$

missä

$t_{f,pr}$ on palonsuojauksen murtumishetki [min], rakenteen yläpuolisessa palossa ilman yläpuolista suojausta $t_{f,pr} = 0$.

$t_{ch,2}$ on sivuttaispuolen hiiltymisen alkamisaika [min].

Kun onteloiden eriste on luokkaa PL2, hiiltymisen alkamisaika puurunko-osan sivuttaispuolella $t_{ch,2}$

lasketaan seuraavasti:

$$t_{ch,2} = t_{f,pr} + \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{v_{rec}} \quad t_{ch,2} \leq \text{palonkesto aika} \quad (13)$$

missä

h on puurunko-osan alkuperäinen poikkileikkauksen korkeussuunnassa [mm];

$t_{ch,2}$ on sivuttaispuolen hiiltymisen alkamisaika [min];

$t_{f,pr}$ on palonsuojauksen murtumishetki [min];

v_{rec} on onteloeristeen kuroutumisnopeus, [mm/min].

Ontelon eristyksen PL2 kuroutumisnopeuden v_{rec} oletusarvo, eristeelle, joka on valmistettu 14 kg/m³ tiheästä mineraalivillasta on 30 mm/min. Muita arvoja voidaan määrittää testaamalla.

Jos on kyse taivutusrasitetusta rankarunkorakenteista, joiden onteloeristys on hyväksytty PL2 - luokkaan paloaltis puoli on puristuksessa, lujuuden ja jäykkyyden menettäneen kerroksen paksuus d_0 arvo on otettava kolmelta sivulta seuraavasti:

$$d_0 = 3 + \frac{b}{33} + \frac{h}{100} \quad (14)$$

missä

b on puurunko-osan alkuperäinen poikkileikkauksen leveysuunnassa [mm];

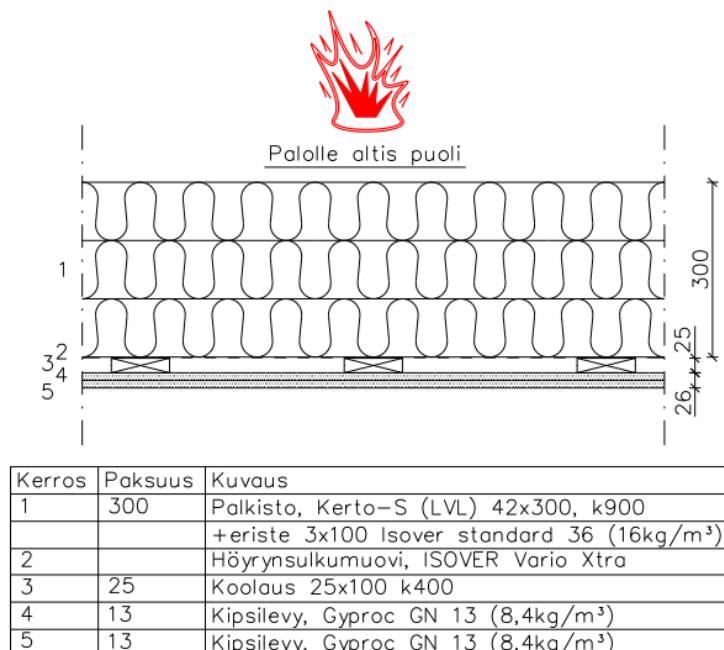
h on puurunko-osan alkuperäinen poikkileikkauksen korkeussuunnassa [mm];

7.2 Polttokoe

Saint-Gobain Finland Oy:n toimeksiannosta, Eurofins Expert Services Oy ovat suorittaneet seuraavan polttokokeen. Tavoitteena on ollut suorittaa ylhäältä tulevan palorasituksen simulointi, sekä selvittää toisen sukupolven eurokoodien mitoitusten vaikutus lasivillaeristeeseen, sekä selvittää käytetyn eristeen todellinen kuroutumisnopeus v_{rec} .

Ei-kantavan kattorakenteen palonkestävyys on testattu ylhäältä tulevaa paloa vastaan Eurofins Expert Oy:n palolaboratoriossa. Rakenteen arvioimiseksi kantavana rakenteena 30 minuutin palonkestoajalle on analysoitu, kantavien palkkien hiiltymisen testissä sekä 2. sukupolven Eurocode 5, prEN1995-1-2:20YY luonnosversiossa esitetyn yksinkertaistetun suunnittelumenetelmän soveltuvuus puiselle rankarunkorakenteelle, joissa on palkkien välissä suojaustason PL2 eriste. (Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023).

Koekappaleeksi valittiin tyypillinen yläpohjarakenne, Gyproc & Isover palorakenteista (YP4*/**), joka koostui ei kantavista Kerto-S LVL palkeista. Palkkien väliset ontelot täytettiin lasivillalla. Palkkien alapuolelle asennettiin puukoolaus sekä kaksi Gyproc N 13 mm kipsilevyä. Rakenteen koko oli 1940 mm x 4400 mm x 351 mm (leveys x pituus x korkeus), jänneväliksi muodostui 4000 mm. Koekappaleen rakenteelliset kerrokset esitetty kuvassa 10. (Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 11. Polttokoekappaleen rakennekerrokset.

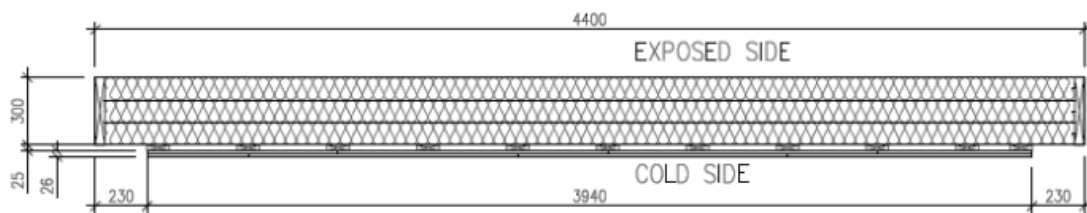
Testausmenetelmänä on käytetty standardisoitua testausmenetelmää, Standard EN 1364-2:2018 *“Fire resistance tests for non-loadbearing elements – Part 2: Ceilings”* and EN 1363-1:2020 *“Fire resistance tests – Part 1: General requirements”*.

Testaus on suoritettu yläpuolista paloa vastaan.

Testauskappale kiinnitettiin puurunkoon, (48 mm x 173 mm, C24) ja rakenne asennettiin kokonaisuudessaan 200 mm paksuisen Siporex-rungon päälle. Testauslaboratorion vaakasuoran uunin sisälle asennettiin myös 2400 mm leveä, 4400 mm pitkä ja 600 mm korkea Siporex-runko. Kappaleen molemmat pitkät sivut olivat vapaita taipumaan. Rakenne oli altis ylhäältäpäin tulevalle palolle. (Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Kuvasarjassa 11-15 esitetään koekappaleen mitat ja yhteenpano.

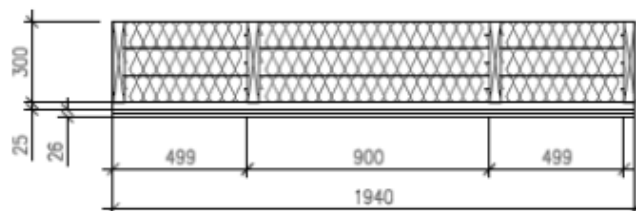
LONG SIDE



Kuva 12. Rakenteen pitkän sivun leikkaus.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

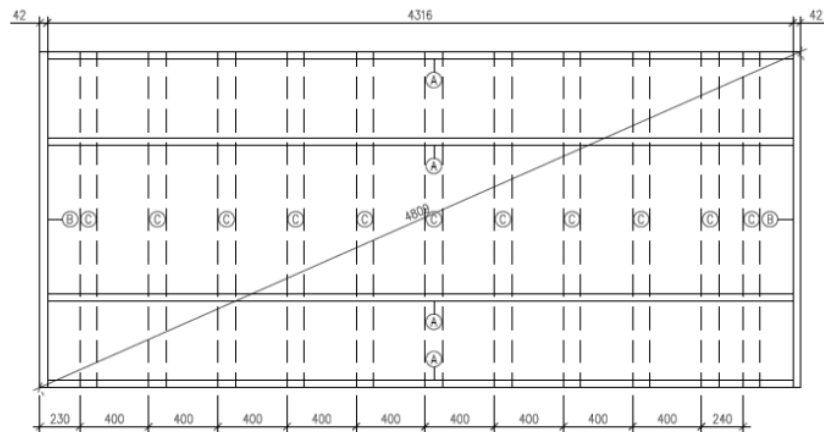
SHORT SIDE



Kuva 13. Rakenteen poikkileikkaus.

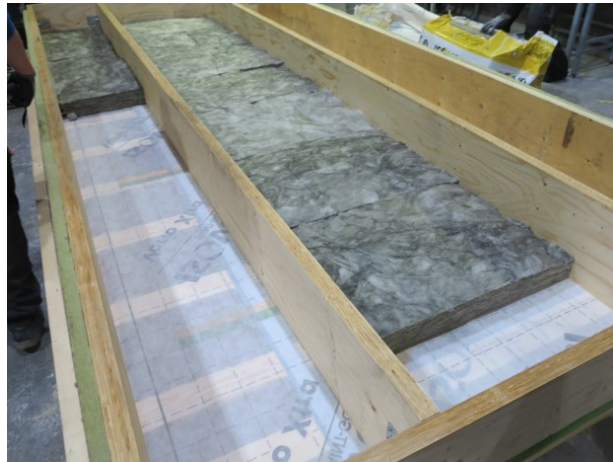
(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

UPSIDE



Kuva 14. Rakenne ylhäältä päin.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 15. Rakenteen onteloiden täyttö.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 16. Rakenteen alapuolinen levysuojaus.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Kuvasarjassa 16-20 esitetään paloaltistuksen aikaisia eri vaiheita.



Kuva 17. Rakenne asennettu uuniin.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 18. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 2 min 52 sek.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 19. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 9 min 30 sek.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 20. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 68 min 30 sek.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

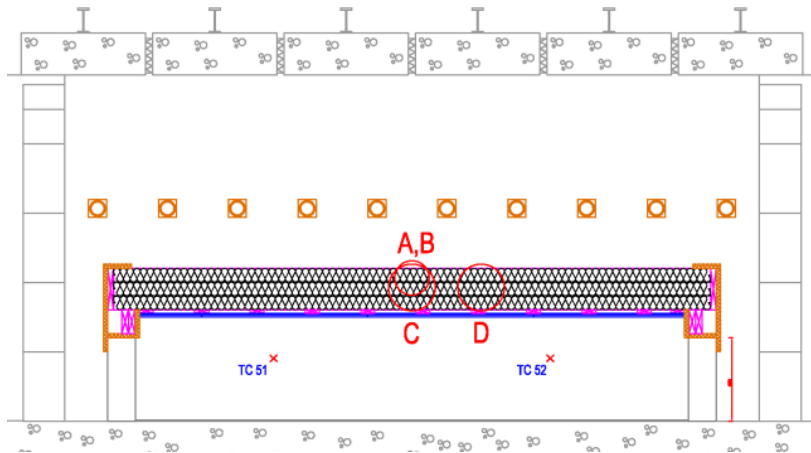


Kuva 21. Rakenne palotestauksen lopetuksen jälkeen.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Mittauspisteiden sijainti uunin sekä koekappaleen lämpötilojen mittaukseen, sekä koekappaleen taipumista varten asetettiin seuraavasti.

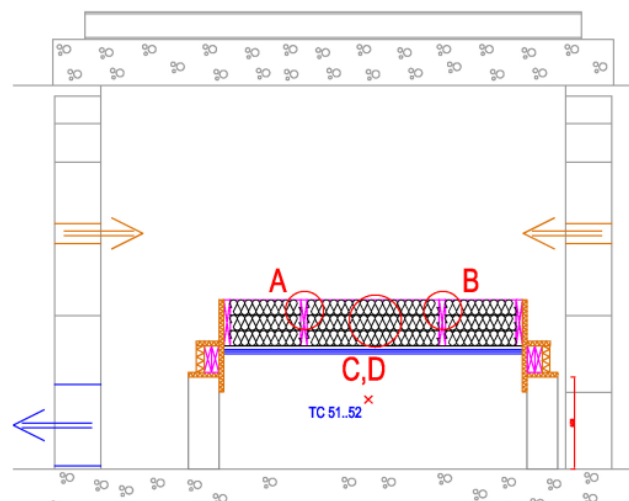
Sivusuunnasta A, B ja C pisteiden sijainti, on rakenteen keskellä, piste D sijaitsee epäkeskeisesti lähempänä kuvan 21 katsottuna oikeanpuolista tukea.



Kuva 22. Mittauspisteiden sijainti, pitkän sivun leikkaus.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

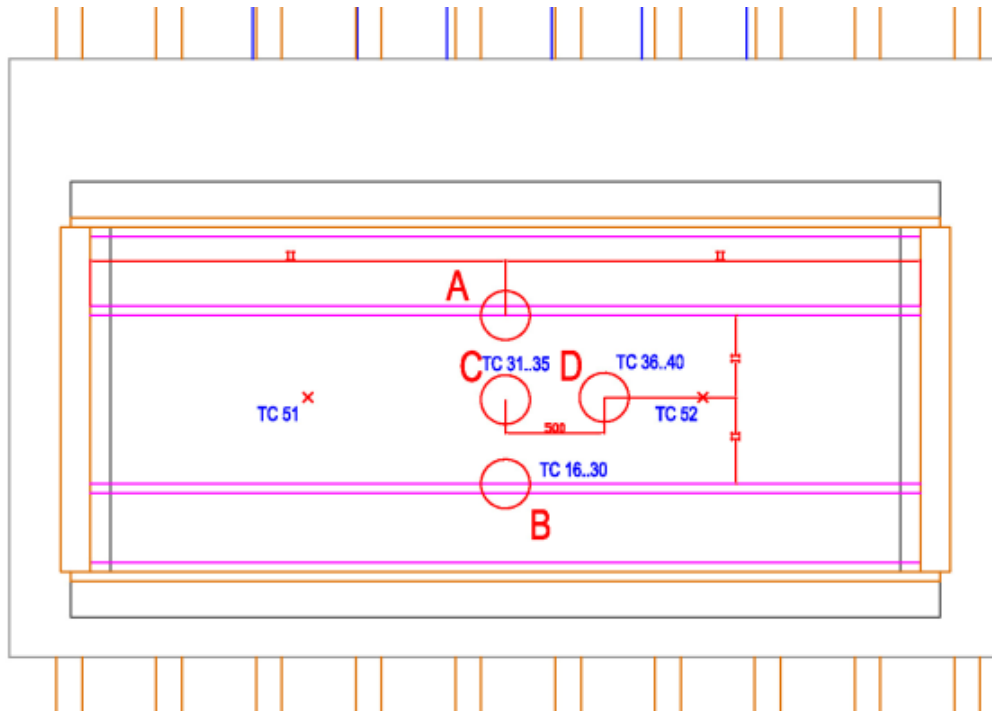
Poikittaissuunnassa mittauspisteet A ja B sijaitsevat LVL palkeissa. Kun vuorostaan pisteet C ja D sijaitsevat keskipisteessä, eristetyn ontelon sisällä. Keltaiset nuolet kuvaavat palosuuttimia, joilla rakenne altistetaan tulella. Sininen nuoli kuvaa poistoilman tuuletusreittiä.



Kuva 23. Mittauspisteiden sijainti, poikkileikkaus.

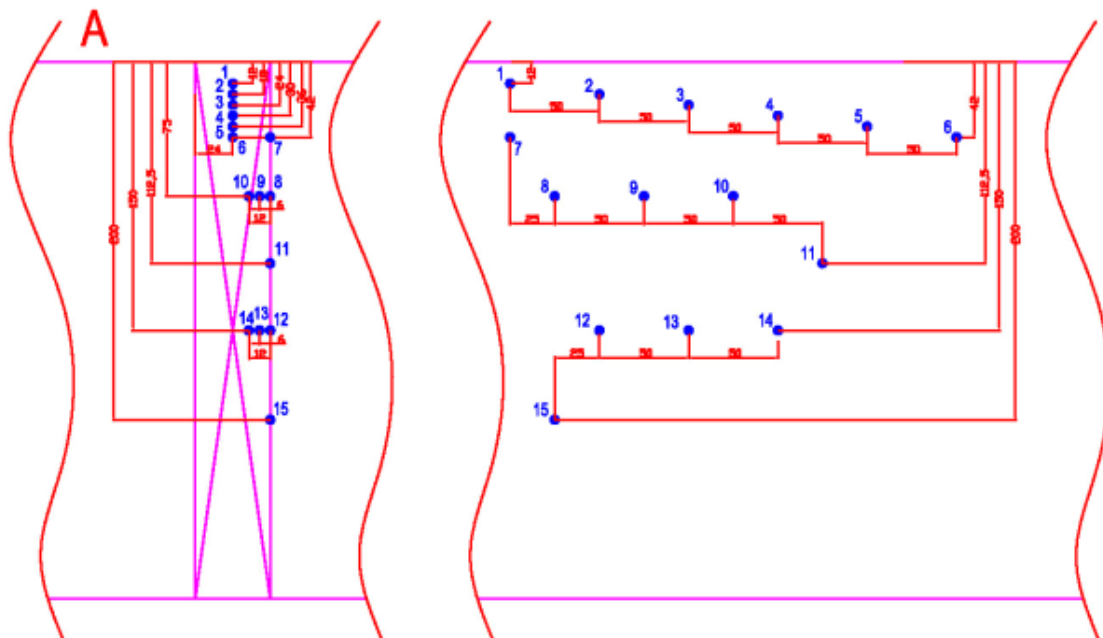
(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Mittauspisteiden näkymä, ylhäältäpäin katsottuna. Mittauspisteet A ja B sijaitsevat LVL palkeissa, kun vuorostaan pisteet C ja D sijaitsevat keskipisteessä, eristetyn ontelon sisällä.



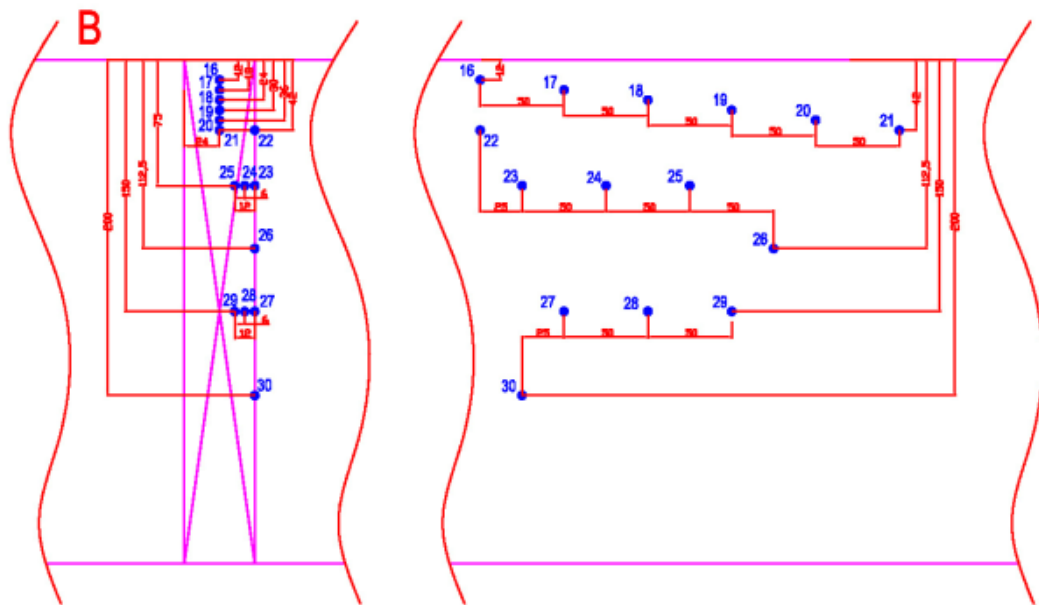
Kuva 24. Mittauspisteiden sijainti, ylhäältä päin.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



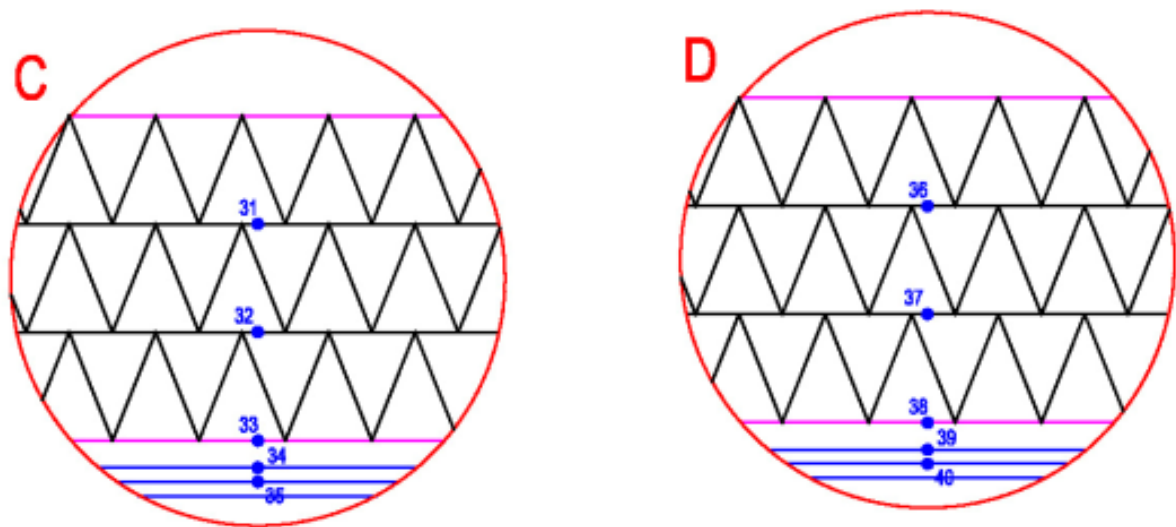
Kuva 25. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu korkeus ja sivusuunnassa mittauspisteessä A.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



Kuva 26. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu korkeus ja sivusuunnassa mittauspisteessä B.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



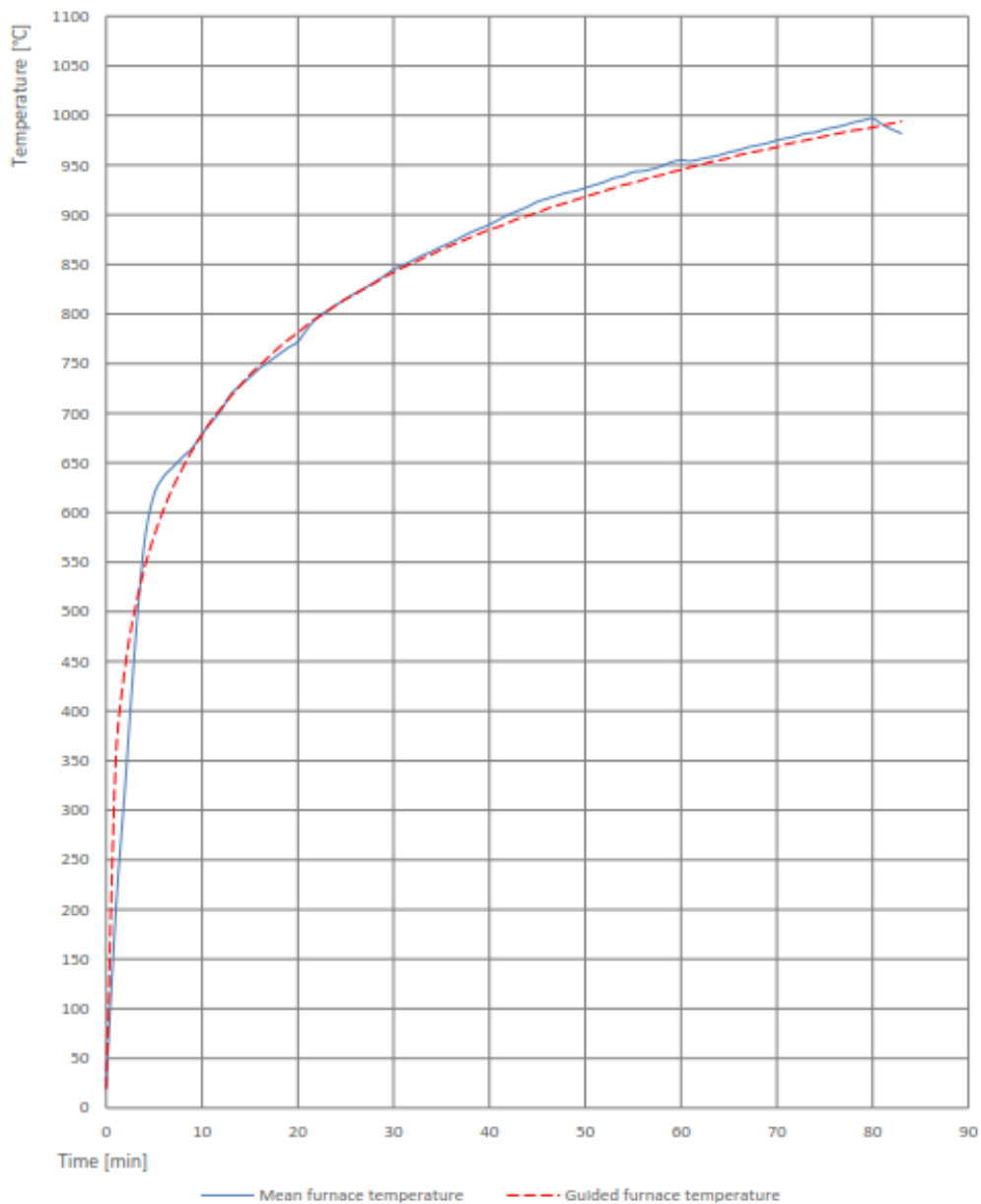
Kuva 27. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu mittauspisteessä C & D.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

7.2.1 Polttokokeen tulokset

Testauksen aikana dokumentoidaan myös ympäristön olosuhteet testauksen aikana. Testihallissa palonkestävyydestin aikana hallin ympäristön lämpötila oli testin alkaessa 19 °C. Palotesti keskeytettiin 83 min 30 s testin alkamisen jälkeen asiakkaan pyynnöstä. Alla olevassa taulukossa esitetään polttouunin lämpötilat eri ajankohdissa.

Taulukko 7. Uunin lämpötila.



(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Testikappaleena toimi ei kantava kattorakennelma, joka altistettiin palolle ylhäältä päin. Rakenteeseen kuului ei kantavia LVL-palkkeja (Kerto-S), lasivillaa palkkien välissä ja palkkien alapuolella puukoolaus, sekä kaksinkertainen kerros kipsilevyjä. Rakenteen mitat olivat 1940 mm x 4400 mm x 351 mm (leveys x pituus x korkeus) ja jänneväli oli 4000 mm. Kattorakenne täytti palonkestävyytestissä standardien EN 13501-2:2016, täydennettynä EN 1364-2:2018 ja EN 1363-1:2020, määrittelemät suorituskykymääritelmät seuraavasti:

Tiiveys E

Mikäli testausmenetelmässä ei toisin määritetä, erottavien elementtien eheyttä on seurattava koko testin ajan käyttäen vanulappuja, rakomittareita ja tarkkailemalla testikappaletta mahdollisen jatkuvan palamisen varalta.

Palamattoman pinnan liekin esiintyminen ja kesto sekä liekin sijainti on dokumentoitava.

- jatkuva liekehtiminen 79 minuuttia

Vanulappua asetetaan kehyksen avulla testikappaleen pinnalle enintään 30 sekunniksi tai kunnes se syttyy (määritetty hehkuvaksi tai liekehtiväksi). Vanulappu on levitettävä kaikkiin pintoihin, mukaan lukien alueet, joilla esiintyy liekkejä tai kuumia kaasuja epäjatkuvuuden, halkeaman tai rakojen kohdalla.

- vanulappu 79 minuuttia

Aukkomittareita käytettäessä testattavan kappaleen pinnan aukon koko on arvioitava väliajoin. Arviot määräytyvät näytteen näennäisen heikkenemisnopeuden perusteella. Kahta aukkomittaria on käytettävä vuorotellen ja ilman tarpeetonta voimaa sen määrittämiseksi:

a) Voidaanko 6 mm:n aukkomittari kuljettaa testinäytteen läpi siten, että mittari työntyy uuniin ja sitä voidaan siirtää 150 mm:n etäisyydelle aukkoa pitkin; tai

b) Voidaanko 25 mm:n aukkomittari ohittaa.

- rakotesti 79 minuuttia

Eristävyys I

Tämä on mitattu ajanjakso suoritetuissa minuuteista, jolloin testikappale säilyttää erotteluominaisuutensa testin aikana, ilman että lämpötila kohoaa sen altistamattomalle pinnalle, jotka:

a) Nostavat keskilämpötilan alkuperäisen keskilämpötilan yli 140 K, tai

b) Nostavat missä tahansa sijainnissa (mukaan lukien liikkuva termopari) lähtölämpötilan yli 180 K.

Lähtökohdan lämpötilan keskiarvo on keskimääräinen suojaamaton pintalämpötila testin alkamishetkellä.

- keskilämpötilan nousu 79 minuuttia

- maksimilämpötilan nousu 79 minuuttia

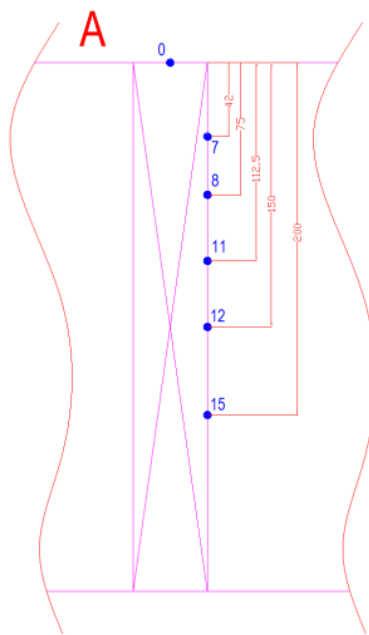
Testi lopetettiin 83 minuuttia ja 30 sekuntia alkamisen ajankohdasta.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

(SFS-EN 1363-1:2020, s. 25–26)

7.2.2 Hiiltyamisen mitattu alkamisaika

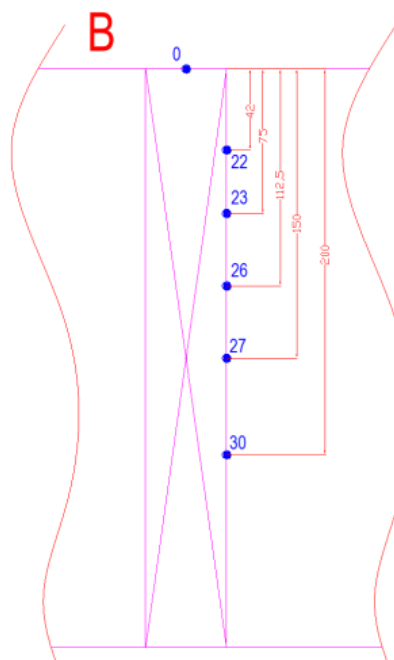
Polttokokeen mittausten tuloksissa voidaan lukea LVL palkkien hiiltyamisen aloitusajankohdat, mittauspisteistä A & B. Osittain mittaustasoista ei saatu tuloksia koska anturat menetettiin palon aikaisemmassa vaiheessa.



Thermocouple numbers and start of charring t_{ch} :

<u>0:</u>	t_{ch} : 1,83 min
<u>tc 7:</u>	t_{ch} : 8,83 min
<u>tc 8:</u>	t_{ch} : 12,5 min
<u>tc 11:</u>	t_{ch} : 13,83 min
<u>tc 12:</u>	t_{ch} : 20 min
<u>tc 15:</u>	t_{ch} : - min (malfunction in TC 15)

Kuva 28. Termoparien numerot ja hiiltymisen aloitusaika mittauspisteessä A.
(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).



<u>0:</u>	t_{ch} : 1,83 min
<u>tc 22:</u>	t_{ch} : 10,17 min
<u>tc 23:</u>	t_{ch} : 12,83 min
<u>tc 26:</u>	t_{ch} : - min (malfunction in TC 26)
<u>tc 27:</u>	t_{ch} : 18,83 min
<u>tc 30:</u>	t_{ch} : - min (malfunction in TC 30)

Kuva 29. Termoparien numerot ja hiiltymisen aloitusaika mittauspisteessä B.
(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-22004108-T1, 2023).

Testituloksista voidaan arvioida, että käytetyn PL2 luokan lasivillatyyppin (Isover Standard 36, tiheys 16 kg/m^3) kuroutumisnopeus v_{rec} olisi $8,8 \text{ mm/min}$. Tähän lisättiin varmistuksena $1,2 \text{ mm/min}$ turvamarginaali. Lopputuloksella että turvallisesti käytettäväksi arvoksi todettiin testatulle eristeelle $v_{rec} = 10 \text{ mm/min}$. Tämä arvo soveltuu yksinkertaistetun

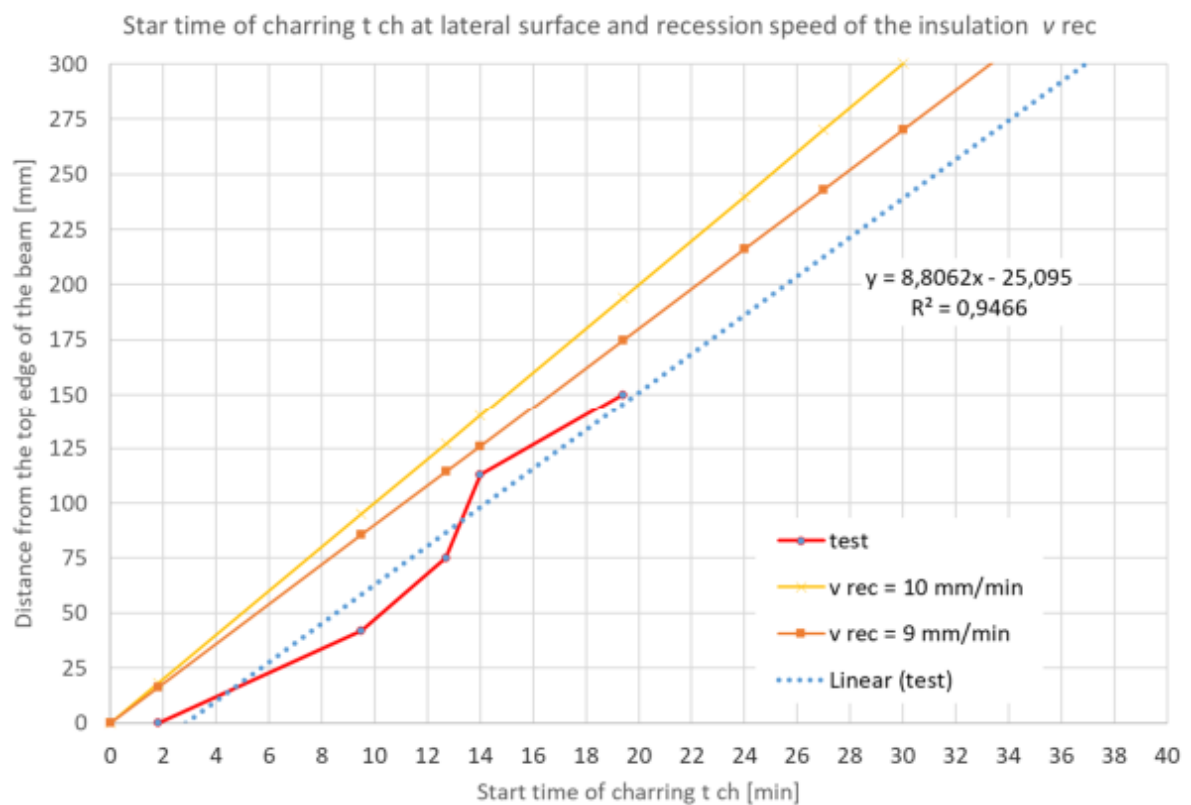
laskentamenetelmän käyttöön, puurakenteisten kokoonpanojen osalta, kun paloaltistus on rakenteen yläpuolella.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023).

The recession speed v_{rec} of the PL2 mineral wool insulation at the test was evaluated with linear regression analysis from the test results of the start of charring times t_{ch} measured at the lateral surface of the beam at 0 – 150mm distance from the top edge of the beam, see Figure 6. Based on the analysis at the minimum a recession speed $v_{rec} = 8,8 \text{ mm/min}$ could be assessed for the tested insulation, but to have some safety margin for it, $v_{rec} = 10 \text{ mm/min}$ is chosen to be used for the simplified calculation method for the timber frame assemblies. That is significantly more favourable than the given as a default value for the design method.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023).

Taulukko 8. Hiiltymisen alkamisajat t_{ch} palkin sivusuuntaisella pinnalla funktiona palkin yläreunan etäisyydestä, testattu ja laskettu t_{ch} eristyksen kuroutumisnopeuksille 9 mm/min ja 10 mm/min.



(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023).

7.3 Esimerkkilaskelma

Suunnitteluohjeen käyttö ja tämän esimerkkilaskelmien soveltaminen edellyttää riittävää rakennetekniikan ja alaan liittyvien normien tuntemusta. Lisäksi ohjeiden käyttö ja hyödyntäminen edellyttää myös rakennuspaikkakohtaisen hyväksynnän, hankkeen eri osapuolten välillä.

Esimerkkilaskelman tehollisen hiiltymän laskenta, perustuu Eurofins Expert Servicen tekemään analyysiraporttiin, jonka laskelmat vuorossaan perustuu toisen sukupolven eurokoodi 5:n luonnokseen luvussa seitsemän (7) esitettyyn yksinkertaistetun suunnittelumenetelmän kohdan 7.2.4. Puurakenteiden kokoonpanojen suunnittelu ohjeet tehollisen poikkileikkauksen laskemiseksi, tarvittavalle palonkestoajalle t_{req} , mukaan lukien rakenteet, joissa on suojaustaso PL2 eriste (lasivilla) täysin eristetyissä onteloissa.

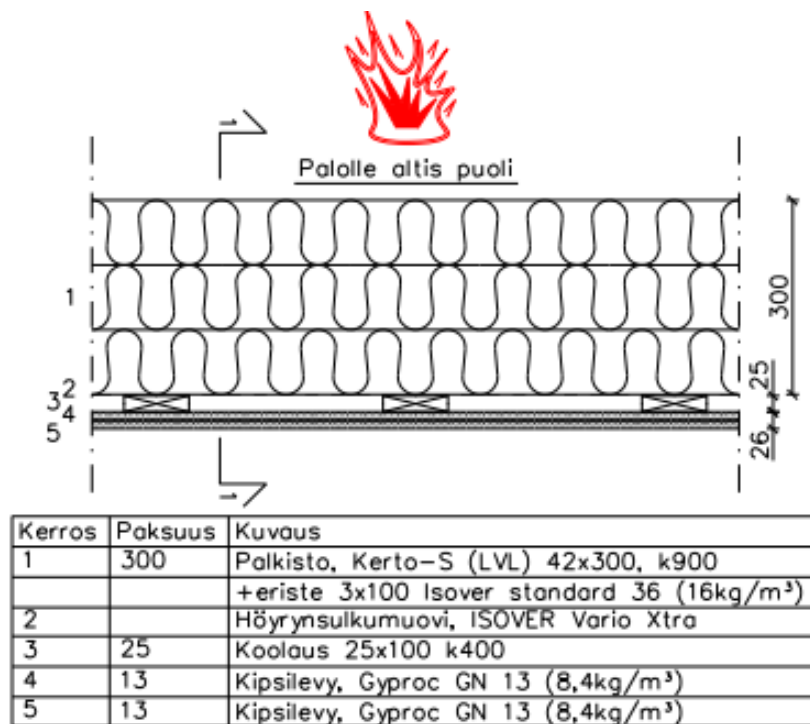
Palkin kestävyystarkastelussa käytetään ensimmäisen sukupolven eurokoodi 5, ja tähän pohjautuviin suunnitteluohjeisiin ja esimerkkilaskelmiin. Kuten RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohje sekä Puuinfon vaativien puurakenteiden koulutukseen liittyvät esimerkkilaskelmat.

(Eurofins Expert Services Oy, analysis report no EUFI29-23000413-T1, 2023).

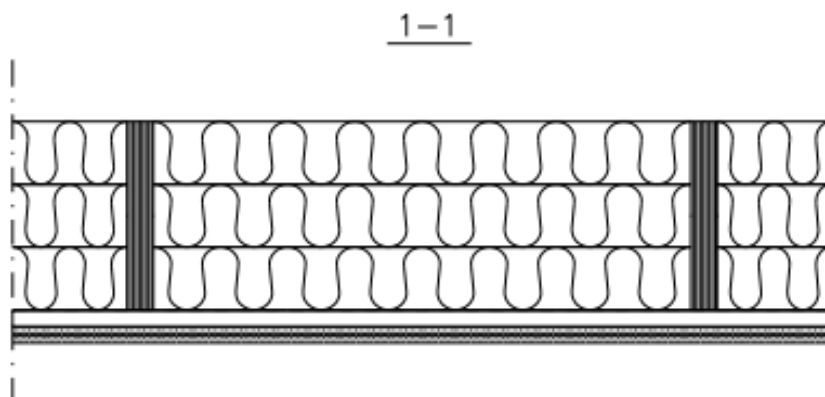
(Puuinfo, 2023). (RIL 205-2-2019, 2019). (RIL 205-1-2017, 2017).

Kun kuroutumisnopeutta $v_{rec} = 10 \text{ mm/min}$ käytetään laskennassa prEN1995 1 2:20YY: luvun 7.2.4 menetelmän mukaisesti, testatun rakenteen alun perin 42x300 mm: palkkien tehollinen poikkileikkaus vaaditulla 30 minuutin palonkestävyytajalla lasketaan seuraavasti:

Rakenne:



Kuva 30. Rakennetyyppi, kerrokset paksuudet ja kuvaus taulukoitu.



Kuva 31. Poikkileikkaus 1-1.

Esimerkkilaskelma 1 (lumikuormalla $S_k \geq 2.75 \text{ kN/m}^2$)**Lähtötiedot:**

$R(EI)=[t]= 30 \text{ min}$ (paloluokka/aika)

Kerto LVL S-beam

$b=$	42 mm	(palkin leveys)
$h=$	300 mm	(palkin korkeus)
$L=$	8 m	(jännevälän pituus)
k/k	0,9 m	(palkkijako)
$f_{m,k}=$	44 N/mm ²	(taivutuslujuus)
$E_{0.05}=$	11600 N/mm ²	(kimmomoduulin ominaisarvo, RIL 205-1-2009, s.50)
$E_{\text{mean}}=$	13800 N/mm ²	(kimmomoduuli)
$\gamma_{M,fi}=$	1	(materiaalien osavarmuusluku palotilanteessa)
$k_{\text{mod},fi}=$	1	(aika- ja kosteusluokan muunnoskerroin, tilannekohtainen)
$k_{fi}=$	1,1	(kerroin lujuusominaisuuden 20% fraktiilin määrittämiseen, RIL 205-2-2009, s.17)

Kuormat

$\psi_{1.1}=$	0,5	(Kuormien yhdistelykerroin, RIL 201-1-2017 s.38)
$p_{g,k}=$	0,286 kN/m	(pysyvä kuorma, omapaino)
$p_{q,k}=$	2,0 kN/m	(muuttuva kuorma)
$p_{fi}=p_{g,k}+\psi_{1.1}*p_{q,k}=$	1,286 kN/m	(mitoitettava kuorma)

Tehollisen hiiltemissyvyyden mitoitussarvo (ullakkopalo):

$$d_0 = 3 + \frac{b}{33} + \frac{h}{100} \quad (14)$$

$$d_0 = 3 + 42/33 + 300/100 = \mathbf{7,27 \text{ mm}} \quad (\text{pyrolyysivyöhykkeen paksuus})$$

$$v_{rec} = \mathbf{10 \text{ mm/min}} \quad (\text{palotestin analyysin mukainen arvo})$$

$$t_{f,pr} = \mathbf{0 \text{ min}} \quad (\text{yläpuolista suojausta ei ole =0min})$$

$$t_{ch,2} = t_{f,pr} + \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{v_{rec}} \quad (13)$$

$$t_{ch,2} = 0 + 2/3 \cdot 300/10 = \mathbf{20 \text{ min}}$$

$$k_{3,1} = 1$$

$$k_{3,2} = 1 \leq 1 \leq 2 \Rightarrow \frac{k_{3,2}}{1}$$

			b < 90m	
$k_{s,n,1} =$	2,04		m	2,04
	1,25		b > 90m	
			m	
			h < 90m	
$k_{s,n,2} =$	10,64		m	1,25
	1,25		h > 90m	
			m	

$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min} \quad (\text{nimellinen hiiltemisnopeus, RIL 205-2-2019 s})$$

$$\beta_n = k_{3,1} \cdot k_{s,n,1} \cdot \beta_0 \quad \text{tulipalolle alttiina olevalle puolelle} \quad (7)$$

$$\beta_{n,h} = 1 \cdot 2,04 \cdot 0,65 = \mathbf{1,324 \text{ mm/min}}$$

$$\beta_n = k_{3,2} \cdot k_{s,n,2} \cdot \beta_0 \quad \text{sivusuunnassa} \quad (8)$$

$$\beta_{n,b} = 1 \cdot 1,25 \cdot 0,65 = \mathbf{0,813 \text{ mm/min}}$$

$$d_{char,n,1} = \sum_{Phases} (\beta_n \cdot t) \quad (5)$$

$$d_{char,n,1,h} = 1 \cdot (1,324 \cdot 30) = \mathbf{39,72 \text{ mm}}$$

$$d_{char,n,2} = \sum_{Phases} (\beta_n \cdot t) \quad (6)$$

$$d_{char,n,2,b} = 1 \cdot (0,813 \cdot (30-20)) = \mathbf{8,13 \text{ mm}}$$

$$d_{ef} = d_{char,n,1} + d_0 \quad (1), (2)$$

$$d_{ef,h} = 39,72 + 7,27 = \mathbf{47,00 \text{ mm}} \quad (\text{tehollisen hiiltymisen mitoitusarvo})$$

$$d_{ef} = d_{char,n,2} + d_0 \quad (3), (4)$$

$$d_{ef,b} = 8,13 + 7,27 = \mathbf{15,40 \text{ mm}} \quad (\text{tehollisen hiiltymisen mitoitusarvo})$$

Poikkileikkauksen jäännöspoikkileikkaus:

$$h_{ef} = h - k_{side} \cdot d_{ef} \quad (1), (2)$$

$$h_{ef} = 300 - 1 \cdot 47 = \mathbf{253,00 \text{ mm}} \quad (\text{Tehollisen jäännöspoikkileikkauksen korkeus})$$

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} \quad (3), (4)$$

$$b_{ef} = 42 - 2 \cdot 15,4 = \mathbf{11,20 \text{ mm}} \quad (\text{Tehollisen jäännöspoikkileikkauksen leveys})$$

Yhteenveto:

Kerto LVL palkin jäännöspoikkileikkaukseksi saadaan $h=253 \text{ mm}$ ja $b=11,2 \text{ mm}$. Tämän poikkileikkauksen perusteella suoritetaan palkin kestävyystarkastelu.

Alkuperäisestä korkeudesta erotus on $300 \text{ mm} - 253 \text{ mm} = 47 \text{ mm}$. Alkuperäisestä leveydestä erotus on $42 \text{ mm} - 11,2 \text{ mm} = 30,8 \text{ mm}$.

Seuraavassa taulukossa on lueteltu erilaisten Kerto-S LVL palkkien poikkileikkaukset sekä jäännöspoikkileikkaukset, laskettu samoilla lähtötiedoilla:

Taulukko 9. Kerto-S LVL palkkien poikkileikkaukset sekä jäännöspoikkileikkaukset.

Alkuperäinen poikkileikkaus bxh [mm]	Jäännöspoikkileikkaus bxh [mm]
42x300	11,2x253
42x350	13,8x302,5
42x400	18,2x352
42x450	24,5x401,5
42x500	23,5x451
51x300	19,7x257,2
51x350	22,3x306,7
51x400	26,7x356,2
51x450	32,9x405,7
51x500	31,9x455,2
57x300	25,3x259,6
57x350	27,9x309,1
57x400	32,3x358,6
57x450	38,5x408,1
57x500	37,5x457,6

Lasketun jäännöspoikkileikkauksen perusteella, voidaan suorittaa palkin tarvittavat laskennalliset kestävyystarkastelut, kuten:

- Taivutuskestävyys
- Kiepahduskestävyys
- Tukipintojen riittävyys vaaditun palonkestävyyssajan jälkeen (*Eurocode 5, prEN1995-1-2*)
- Leikkauskestävyys (*tarvittaessa*)
- Taipuma (*tarvittaessa*)

Palkin kestävyystarkastelu:

Kun syrjällä taivutetun LVL-palkin korkeus on yli 300 mm, taivutuslujuuden ominaisarvoa $f_{m,k}$ pienennetään kertoimella k_h :

$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^s \leq 1,2 \quad (15)$$

missä

h =palkin korkeus [mm]

s = kokovaikutuseksponentti

$$k_h = \left(\frac{300}{h_f} \right)^{0,12} \quad (15)$$

$$K_h = (300/253)^{0,12} = 1,02 \leq 1,2$$

$$K_h = \mathbf{1,02}$$

$$f_{m,20} = K_{fi} \cdot k_h \cdot f_{m,k} \quad (16)$$

$$f_{m,20} = 1,1 \cdot 1,02 \cdot 44 = \mathbf{49,4 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{taivutuslujuuden mitoitusarvo})$$

$$f_{m,d,fi} = \frac{k_{mod,fi}}{\gamma_{M,fi}} \cdot f_{m,20} \quad (17)$$

$$f_{m,d,fi} = 1/1 \cdot 49,4 = \mathbf{49,4 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{taivutuslujuuden mitoittava arvo palotilanteessa})$$

Taivutuskestävyys:

$$M_{fi,max} = \frac{p_{fi} \cdot L^2}{8} \quad (18)$$

$$M_{fi,max} = 1,286 \cdot 8^2 / 8 = \mathbf{10,29 \text{ kNm}} \quad (\text{staattinen momentti})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot M_{fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} \quad (19)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = 6 \cdot 10,29 \cdot 10^6 / 11,2 \cdot 253^2 = \mathbf{86,1 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{taivutusjännitys})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \quad (20)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \mathbf{86,1 \text{ N/mm}^2} \leq f_{m,d,fi} = \mathbf{49,4 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{käyttöaste 174\%, EI kestä})$$

Kiepahduskestävyys:

Alapaarrepalkki tuetaan palkkien väliin asennetuilla kiepahdustuilla, kiepahdustuet oletetaan hiiltyvän samalla tavalla, kuin muut palkit.

Tukien k-jako on

a= **1000 mm**

$$\ell_{ef,fi} = a + 2 \cdot h_{fi} \quad (21)$$

$$\ell_{ef,fi} = 1000 + 2 \cdot 253 = \mathbf{1506 \text{ mm}} \quad (\text{tehollinen kiepahduspituus})$$

c= **0,58** (RIL 205-1 kirjasta, kriittinen taivutusjännitys, tuotekohtainen kerroin)

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot \ell_{ef,fi}} \cdot E_{0,05} \quad (22)$$

$$\sigma_{m,crit,fi} = (0,58 \cdot 11,2^2 / 253 \cdot 1506) \cdot 11600 = \mathbf{2,21 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{kriittinen taivutusjännitys})$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}} \quad (23)$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{1,02 \cdot 44}{2,21}} = \mathbf{4,50} \quad (\text{suhteellinen hoikkuus})$$

$$k_{crit,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} \quad (24)$$

$$k_{crit,fi} = 1 / 4,50^2 = \mathbf{0,049} \quad (\text{kiepahduskerroin})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi} \quad (25)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \mathbf{86,1 \text{ N/mm}^2} \leq \mathbf{0,049 \cdot 49,4 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{2,44 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{käyttöaste 3530\%, EI kestä})$$

Tukipintojen riittävyys vaaditun palonkestävyyssajan jälkeen (Eurocode 5, prEN1995-1-2)

Rakenne on suojattu alapuolelta, joten tukipituuteen ei tapahdu muutosta eikä tämä tarkastelu ole tässä tapauksessa olennainen.

Taipuma:

Taipumaa ei yleensä tarkisteta palotilanteessa, poikkeuksellisesti jos taipumasta on vaara rakenteiden osastoivuudelle ja palosuojauksille.

$$I_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} \quad (26)$$

$$I_{y,fi} = (11,2 \cdot 253^3) / 12 = \mathbf{15114658,5 \text{ mm}^4} \quad (\text{poikkileikkauksen jäyhyysmomentti})$$

$$\omega_{fi} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{fi} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{y,fi}} \quad (27)$$

$$\omega_{fi} = 5/384 \cdot (1,286 \cdot 8000^4 / 13800 \cdot 15114658,5) = \mathbf{328,8 \text{ mm}} \quad (\text{palkin taipuma})$$

Yhteenveto:

Tulokset osoittavat, että palotestin mukaiset rakenteet, eivät täytä asetettuja kestävyysvaatimuksia, valittujen lähtötietojen olosuhteiden tarkastelun mukaan.

Seuraavat tarkastelut ylittävät sallitun käyttöasteen 100 %:

Taivutuskestävyys: 174 %

Kiepahduskestävyys: 3530 %

Taipuma: 323,8 mm

Tuloksista voidaan päätellä, että kantavan palkiston kokoluokka on liian pieni. Joten kokeillaan samoilla lähtötiedoilla, mutta uudella palkkikoolla (57x450), ja suoritetaan samat laskelmat:

Esimerkkilaskelma 2 (lumikuormalla $Sk \geq 2.75 \text{ kN/m}^2$)**Lähtötiedot:**

$$R(EI)=[t]= 30 \text{ min} \quad (\text{paloluokka/aika})$$

Kerto LVL S-beam

b=	57 mm	(palkin leveys)
h=	450 mm	(palkin korkeus)
L=	8 m	(jännevälän pituus)
k/k	0,9 m	(palkkijako)
$f_{m,k}$ =	44 N/mm ²	(taivutuslujuus)
$E_{0.05}$ =	11600 N/mm ²	(kimmomoduulin ominaisarvo, RIL 205-1-2009, s.50)
E_{mean} =	13800 N/mm ²	(kimmomoduuli)
$\gamma_{M,fi}$ =	1	(materiaalien osavarmuusluku palotilanteessa)
$k_{mod,fi}$ =	1	(aika- ja kosteusluokan muunnoskerroin, tlannekohtainen)
k_{fi} =	1,1	(kerroin lujuusominaisuuden 20% fraktiilin määrittämiseen, RIL 205-2-2009, s.17)

Kuormat

$\psi_{1.1}$ =	0,5	(Kuormien yhdistelykerroin, RIL 201-1-2017 s.38)
$p_{g,k}$ =	0,286 kN/m	(pysyvä kuorma, omapaino)
$p_{q,k}$ =	2,0 kN/m	(lumikuorma)
$p_{fi}=p_{g,k}+\psi_{1.1}*p_{q,k}$ =	1,286 kN/m	(mitoitettava kuorma)

$$h_{ef}= 408,1 \text{ mm}$$

$$b_{ef}= 38,5 \text{ mm}$$

$$K_h= 0,96$$

$$f_{m,20}= 46,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,fi}= 46,6 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuskestävyys:

$$M_{fi,max}= 10,29 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi}= 9,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi}= 9,6 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d,fi}= 46,6 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{käyttöaste 21\%, OK kestä})$$

Kiepahduskestävyys:

$$a = 1000 \text{ mm}$$

$$l_{ef.fi} = 1816,2 \text{ mm}$$

$$c = 0,58$$

$$\sigma_{m.crit.fi} = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel.m.fi} = 1,77$$

$$k_{crit.fi} = 0,318$$

$$\sigma_{m.y.d.fi} = 9,6 \text{ N/mm}^2 \leq 0,318 * 48,4 \text{ N/mm}^2 = 14,83 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{käyttöaste } 65\%, \text{ OK kestää})$$

Taipuma:

$$I_{y.fi} = 2,18345 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\omega_{fi} = 22,8 \text{ mm}$$

Yhteenveto:

Tulokset osoittavat, että valittu suuremman kokoluokan palkkiprofiili ei ylitä suoritettujen kestävyystarkasteluiden sallittua käyttöastetta 100 %

Taivutuskestävyys: 21 %

Kiepahduskestävyys: 65 %

Taipuma: 22,8 mm

7.3.1 Esimerkkilaskennan tulokset

Ensimmäisen lasketun palkkiprofiilin (42x300) tulokset osoittavat, että jäännöspoikkileikkauksen tulokset eivät täytä asetettuja kestävyysvaatimuksia. Tämän takia laskelmat suoritettiin uudestaan, suuremmalla palkkiprofiililla (57x450).

Tuloksista voidaan päätellä, että suuremman profiilikoon jäännöspoikkileikkauksen laskelmat, eivät ylitä kestävyystarkastelujen sallittua käyttöastetta 100 %. Toisin sanoen voidaan todeta, että valittu palkkikoko Kerto-S 57x450 kestää kyseisessä rakenteessa.

7.3.2 Esimerkkilaskelma nykyisen menetelmään mukaan

Seuraavaksi tehdään vertailupohjaksi vastaavat laskelmat, samoilla lähtötiedoilla tämänhetkisen mitoitusmenetelmän mukaan. Nykyinen Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu sekä Suomen kansallinen liite, ei tunnista lasivillaa palotilanteessa, tämä katsotaan eristämättömäksi rakenteeksi. Tämä tarkoittaa, että lasivillaa ei huomioida laskennassa ollenkaan. Rakenteen ontelo oletetaan täten olevan kokonaan tyhjä, jolloin palkin hiiltymisen tapahtuu kolmelta sivulta.

Esimerkkilaskelma (lumikuormalla $S_k \geq 2.75 \text{ kN/m}^2$)

Lähtötiedot:

$R(EI)=[t]= 30 \text{ min}$ (paloluokka/aika)

Kerto LVL S-beam

$b=$	57 mm	(palkin leveys)
$h=$	450 mm	(palkin korkeus)
$L=$	8 m	(jännevälin pituus)
k/k	0,9 m	(palkkijako)
$f_{m,k}=$	44 N/mm ²	(taivutuslujuus)
$E_{0.05}=$	11600 N/mm ²	(kimmomoduulin ominaisarvo, RIL 205-1-2009, s.50)
$E_{mean}=$	13800 N/mm ²	(kimmomoduuli)
$\gamma_{M,fi}=$	1	(materiaalien osavarmuusluku palotilanteessa)
$k_{mod,fi}=$	1	(aika- ja kosteusluokan muunnoskerroin, tlannekohtainen)
$k_{fi}=$	1,1	(kerroin lujuusominaisuuden 20% fraktiilin määrittämiseen, RIL 205-2-2009, s.17)

Kuormat

$\psi_{1.1}=$	0,5	(Kuormien yhdistelykerroin, RIL 201-1-2017 s.38)
$p_{g,k}=$	0,286 kN/m	(pysyvä kuorma, omapaino)
$p_{q,k}=$	2,0 kN/m	(lumikuorma)
$p_{fi}=p_{g,k}+\psi_{1.1}*p_{q,k}=$	1,286 kN/m	(mitoitettava kuorma)

Tehollisen hiiltemissyvyyden mitoitusarvo:

$\beta n = 0,7 \text{ mm/min}$ (nimellinen hiiltemissinopeus)

$t = 30 \text{ min}$ (paloluokka/aika)

$d_{\text{char},n} = \beta n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$ (nimellinen hiiltemissyvyys)

$t \geq 20 \text{ min} \Rightarrow k_0 = 1$ (pyrolyysivyöhykkeen paksuuteen vaikuttava kerroin)

$d_0 = 7 \text{ mm}$ (vakio, pyrolyysivyöhykkeen paksuus)

$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 21 + 1 \cdot 7 = 28 \text{ mm}$ (tehollinen hiiltemissyvyys)

Tehollinen poikkileikkaus:

$b_{\text{fi}} = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 1 \text{ mm}$ (tehollinen jäännöspoikkileikkaus, b)

$h_{\text{fi}} = h - d_{\text{ef}} = 450 - 28 = 422 \text{ mm}$ (tehollinen jäännöspoikkileikkaus, h)

$$K_n = \left(\frac{300}{h_{\text{fi}}} \right)^{0,12} \quad (15)$$

$K_h = (300/422)^{0,12} = 0,96 \leq 1,2$

$K_h = \mathbf{0,96}$

$$f_{m,20} = K_n \cdot K_h \cdot f_{m,k} \quad (16)$$

$f_{m,20} = 1,1 \cdot 0,96 \cdot 44 = \mathbf{46,5 \text{ N/mm}^2}$ (taivutuslujuuden mitoitusarvo)

$$f_{m,d,fi} = \frac{k_{\text{mod},fi}}{\gamma_{M,fi}} \cdot f_{m,20} \quad (17)$$

$f_{m,d,fi} = 1/1 \cdot 46,5 = \mathbf{46,5 \text{ N/mm}^2}$ (taivutuslujuuden mitoittava arvo palotilanteessa)

Taivutuskestävyys:

$$M_{fi,max} = \frac{p_{fi} \cdot L^2}{8} \quad (18)$$

$$M_{fi,max} = 1,286 \cdot 8^2 / 8 = \mathbf{10,29 \text{ kNm}} \quad (\text{staattinen momentti})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot M_{fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} \quad (19)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = 6 \cdot 10,29 \cdot 10^6 / 1 \cdot 422^2 = \mathbf{349,7 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{taivutusjännitys})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \quad (20)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \mathbf{349,7 \text{ N/mm}^2} \leq f_{m,d,fi} = \mathbf{46,5 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{käyttöaste 745\%, EI kestä})$$

Kiepahduskestävyys:

Alapaarrepalkki tuetaan palkkien väliin asennetuilla kiepahdustuilla, jolloin kiepahdustuet toimivat koko palonkestoajan (hiltyvät vain yläreunasta).

Tukien k-jako on

$$a = \mathbf{1000 \text{ mm}}$$

$$\ell_{ef,fi} = a + 2 \cdot h_{fi} \quad (21)$$

$$\ell_{ef,fi} = 1000 + 2 \cdot 422 = \mathbf{1844 \text{ mm}} \quad (\text{tehollinen kiepahduspituus})$$

$$c = 0,58 \quad (\text{RIL 205-1 kirjasta, kriittinen taivutusjännitys, tuotekohtainen kerroin})$$

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot \ell_{ef,fi}} \cdot E_{0,05} \quad (22)$$

$$\sigma_{m,crit,fi} = (0,58 \cdot 1^2 / 422 \cdot 1844) \cdot 11600 = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{kriittinen taivutusjännitys})$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{k_{h,fi} \cdot f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}} \quad (23)$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{0,96 \cdot 44}{0,01}} = \mathbf{65} \quad (\text{suhteellinen hoikkuus})$$

$$k_{crit,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} \quad (24)$$

$$k_{crit,fi} = 1 / 65^2 = \mathbf{0,0002} \quad (\text{kiepahduskerroin})$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} \leq k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi} \quad (25)$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \mathbf{349,7 \text{ N/mm}} \leq \mathbf{0,0002 * 46,5 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,0093 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{käyttöaste 37602\%, Ei kestä})$$

Leikkauskestävyys:

Ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa, koska palkin poikkileikkaus on suorakaide.

Tukipainekestävyys:

Ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa.

Taipuma:

Taipumaa ei yleensä tarvitse tarkastaa palotilanteessa, ellei taipumasta ole vaaraa rakenteiden osastoivuudelle ja palosuojauksille. Tarkastetaan kuitenkin alapaarrepalkin taipuma tässä tapauksessa.

$$I_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} \quad (26)$$

$$I_{y,fi} = (1 * 422^3) / 12 = \mathbf{6,26 * 10^6 \text{ mm}^4} \quad (\text{poikkileikkauksen jäyhyysmomentti})$$

$$\omega_{fi} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{fi} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{y,fi}} \quad (27)$$

$$\omega_{fi} = 5/384 * (1,286 * 8000^4 / 13800 * 6,26 * 10^6) = \mathbf{793,9 \text{ mm}} \quad (\text{palkin taipuma})$$

Yhteenveto:

Tulokset osoittavat, että valittu palkkiprofiili ylittää suoritettujen kestävyystarkasteluiden sallittua käyttöastetta 100 %

Taivutuskestävyys: 745 %

Kiepahduskestävyys: 37602 %

Taipuma: 793,9 mm

7.3.3 Uuden ja nykyisen menetelmän vertailu

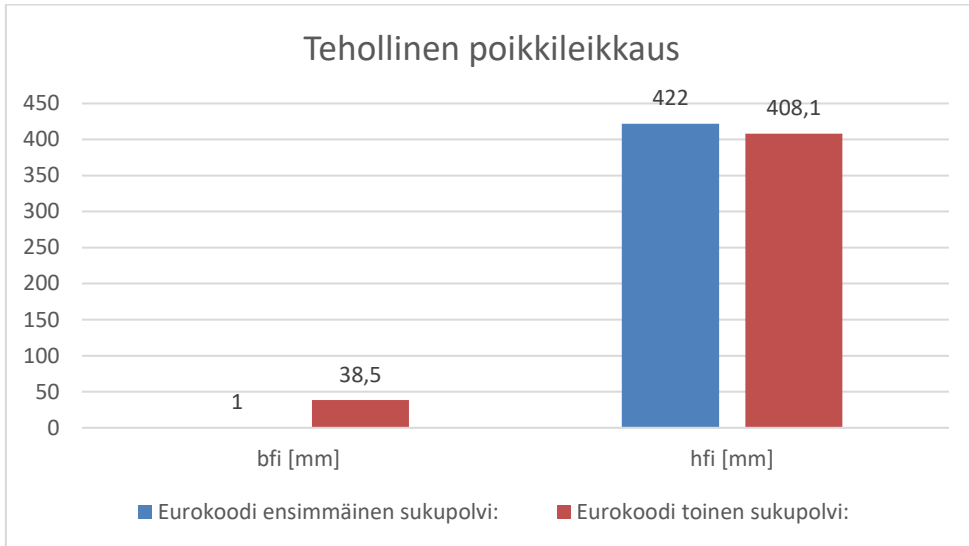
Seuraavaksi vertaillaan molempien laskentamenettelyjen tuloksia. Tuloksien tulkinnassa pitää muistaa, että kyseessä on kaksi eri menetelmää, joista toisessa ei huomioida eristeen palosuojausta ollenkaan. Tämä antaa toisen sukupolven laskentamenetelmälle huomattavan edun, sillä tässä menetelmässä voidaan huomioida eristeen antama hetkellinen suojaus.

Tehollinen poikkileikkaus:

Eurokoodi ensimmäinen sukupolvi: $b_{fi} = 1 \text{ mm}$, $h_{fi} = 422 \text{ mm}$

Eurokoodi toinen sukupolvi: $b_{fi} = 38,5 \text{ mm}$, $h_{fi} = 408,1 \text{ mm}$

Taulukko 10. Tehollinen poikkileikkaus



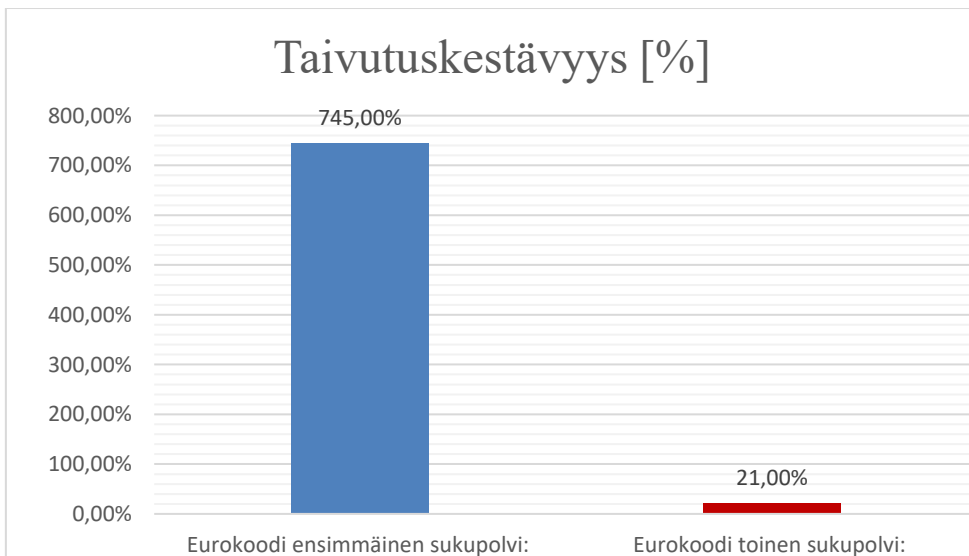
(Engström, 2024)

Taivutuskestävyys:

Eurokoodi ensimmäinen sukupolvi: käyttöaste = 745 %

Eurokoodi toinen sukupolvi: käyttöaste = 21 %

Taulukko 11. Taivutuskestävyys



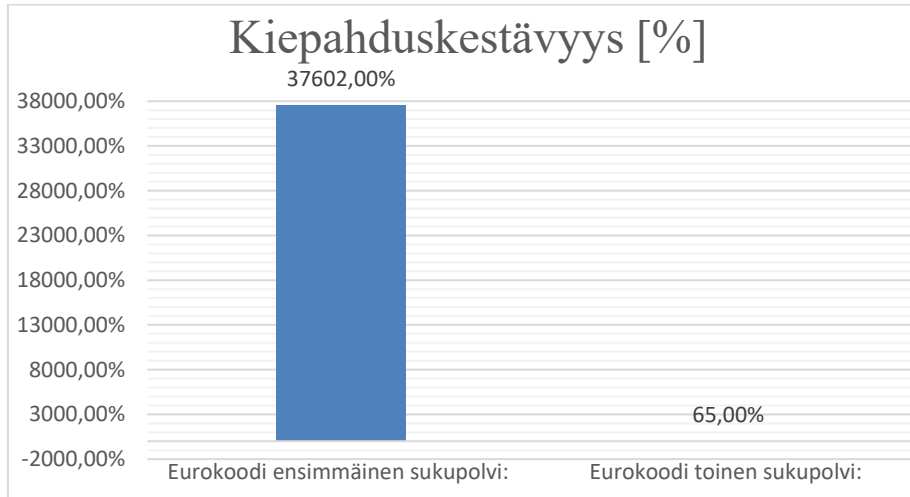
(Engström, 2024)

Kiepahduskestävyys:

Eurokoodi ensimmäinen sukupolvi: käyttöaste = 37602 %

Eurokoodi toinen sukupolvi: käyttöaste = 65 %

Taulukko 12. Kiepahduskestävyys



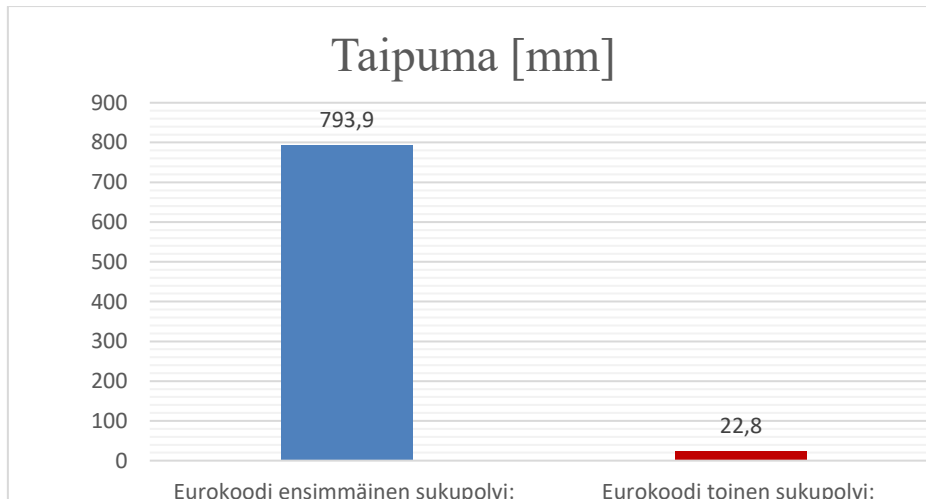
(Engström, 2024)

Taipuma:

Eurokoodi ensimmäinen sukupolvi: 793,9 mm

Eurokoodi toinen sukupolvi: 22,8 mm

Taulukko 13. Taipuma



(Engström, 2024)

Tulosten vertailusta huomataan, että eurokoodin ensimmäisen sukupolven laskentamenetelmällä saadaan odotetusti huonompia kestävyys sekä taipumistuloksia. Samalla voidaan päätellä, että toisen sukupolven laskentamenetelmän suurin heikkous on kiepahduskestävyys. Saavutettu lopputulos kuitenkin näyttää, että kyseisessä rakenteessa REI30 palonkestovaatimuksella, pystytään toisen sukupolven laskentamenetelmän mukaan käyttämään eristeenä lasivillaa (Isover standard 36 (16 kg/m³)). Edellytyksenä että käytetään rakenteen eristeen tuotekohtaisia ominaisuuksia, jotka on haettu palotestauksen kautta yläpuoliselle palolle, jolloin voidaan käyttää kuroutumisnopeutta $v_{rec} = 10$ mm/min. Kun taas toisen sukupolven eurokoodi 5 antaa PL2 kuroutumisnopeuden v_{rec} oletusarvoksi, eristeelle, joka on valmistettu 14 kg/m³ tiheästä mineraalivillasta 30 mm/min.

8 Pohdinta

Eurokoodi uudistuksien mukaan pystytään jatkossa huomioimaan palomitoituksessa myös muita eristetyyppejä, kun pelkkää kivivillaa. Oleellista tämän uudistetun laskentamenetelmän soveltamisessa, on oikeiden materiaaliarvojen käyttäminen. Merkittävin tieto on kuitenkin valitun eristetyypin kuroutumisnopeus v_{rec} [mm/min]. Tämä arvo saadaan selvitettyä ainoastaan tuotekohtaisella standardisoidulla palotestauksella. Tämä vuorossaan ohjaa tuotevalmistajia suorittamaan palotestauksen omille eristetuotteille, jos haluavat mahdollistaa näiden käytön myös palomitoitusta vaativissa rakenteissa. Vielä ei ole selvää, mistä nämä lähtötiedot tullaan tulevaisuudessa löytämään, ja tuleeko tähän vielä tuotekohtaisia reunaehtoja. Tämä lisää tietystä määrin rakennesuunnittelijan tehtävää selvitystyötä. Kokonaisuvaltaisesti uudistus lisää monipuolisuutta, mitä tulee palomitoitukseen, kun voidaan jatkossa huomioida myös muita eristetyyppejä.

Erilaisten palkkikokojen tarkastelussa ilmeni jäännöspoikkileikkauksen laskentakaavoissa hieman epäloogista käyttäytymistä. Tämä voidaan havaita taulukosta 10, jos vertailee esimerkiksi palkkikokoja 57x450 ja 57x500. Laskentakaavat käyttäytyvät epäloogisesti juuri siinä kohtaa, kun palkkikoko kasvaa 450 mm korkeammaksi. Tässä saadaan 57x450 mm palkin jäännöspoikkileikkaukseksi 38,5x408,1 mm, kun taas 57x500 mm palkin

jäännöspoikkileikkaus jää leveydeltään tätä pienemmäksi 37,5x457,6 mm. Tämä johtuu epäsuhteisesta lujuuden ja jäykkyyden menettäneen kerroksen paksuuden d_0 laskentakaavasta. Sillä jos palkin leveys ei kasva suhteessa korkeuteen, niin d_0 kuitenkin suurenee korkeuslisäyksen myötä. Lisäksi palkin korkeus vaikuttaa myös sivuttaispuolen hiiltymisen alkamisaikaan, eli $t_{ch,2}$ arvoon. Toisin sanoen, mitä korkeampi palkki, sitä kauemmin kestää ennen, kun palkin hiiltymisen alkaa. Jos palkin korkeus ja leveys eivät ole tässä suhteessa toisiinsa, tämä tarkoittaa, että palorasitus vähentää palkin leveyssuunnassa suhteessa enemmän, ennen varsinaisen hiiltymishetken alkamista. Tämä kannattaa pitää mielessä, kun joudutaan kasvattamaan palkin korkeutta yli 450 mm. Asiasta on ilmoitettu eurokoodi 5 standardin palo-osan seuraavaa sukupolvea laativalle ryhmälle.

Jäännöspoikkileikkauksen laskentaprosessi seuraavan sukupolven kaavoilla on pidempi verrattuna nykyiseen menetelmään. Luonnollisesti kun poikkileikkauksen hiiltymää lasketaan useammasta suunnasta, niin laskenta myös pitenee.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena, oli laatia suunnitteluohje palonkestävyyden laskennallisesta tarkastelusta Isover lasivillan käytöstä P2 paloluokan puurakenteisessa yläpohjassa, ulkopuolisen palon tapauksessa, palonkestovaatimuksella REI 30. Suunnitteluohje perustuu eurokoodin 5 toisen sukupolven palo-osaan, sekä tämän perusteella Eurofins Expert Services Oy:n laatimaan analyysiraporttiin. Työssä käsitellään puurakenteiden paloturvallisuutta, sekä niihin liittyviä asetuksia ja näiden määräytyksiä.

Suunnitteluohjeessa käsitellään puurakenteisen yläpohjarakenteen jäännöspoikkileikkauksen laskentamenetelmää, ulkopuolisen palon tapauksessa. Sellaisessa tilanteessa, missä puurunko-osien sivut suojataan Isover Standard 36 lasivilla eristeellä. Tämä suunnitteluohje tullaan sisällyttämään Gyproc-Isover palotekniseen suunnitteluohjeeseen.

Saint-Gobain Finland Oy:n toimeksiannosta, Eurofins Expert Services Oy ovat suorittaneet polttokokeen, jossa ei-kantavan kattorakenteen palonkestävyys on testattu ylhäältä

tulevaa paloa vastaan. Tavoitteena on ollut suorittaa ylhäältäpäin tulevan palorasituksen simulointi, sekä selvittää toisen sukupolven eurokoodien mitoitusten vaikutus lasivilla eristeeseen, sekä selvittää käytetyn eristeen todellinen kuroutumisnopeus v_{rec} .

Ohje sisältää esimerkkilaskelman, tehollisen hiililymähän laskentaan, joka perustuu Eurofins Expert Servicen tekemään polttokokeen analyysiraporttiin, jonka laskelmat vuorossaan perustuu toisen sukupolven eurokoodi 5:n luonnokseen.

Palkin kestävyystarkastelussa käytetään ensimmäisen sukupolven eurokoodi 5, ja tähän pohjautuviin suunnitteluohjeisiin ja esimerkkilaskelmiin. Kuten RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohje sekä Puuinfon vaativien puurakenteiden koulutukseen liittyvät esimerkkilaskelmat. Suunnitteluohjeen käyttö ja tämän esimerkkilaskelmien soveltaminen edellyttää riittävää rakennetekniikan ja alaan liittyvien normien tuntemusta. Lisäksi ohjeiden käyttö ja hyödyntäminen edellyttää myös rakennuspaikkakohtaisen hyväksynnän, hankkeen eri osapuolten välillä.

Vertailuna vastaavat laskelmat suoritettiin myös nykyisellä, eurokoodin ensimmäisen sukupolven menetelmällä. Nykyinen Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu sekä Suomen kansallinen liite, ei tunnista lasivillaa palotilanteessa, tämä katsotaan eristämättömäksi rakenteeksi. Tämä tarkoittaa, että lasivillaa ei huomioida laskennassa ollenkaan. Rakenteen ontelo oletetaan täten olevan kokonaan tyhjä, jolloin palkki hiiltyminen tapahtuu kolmelta sivulta.

Vertailun tuloksesta voi päätellä, että laskelmissa käytetty palkkikoko Kerto-S LVL 57x450, voidaan turvallisesti käyttää esimerkin mukaiselle rakenteelle, jolle on asetettu palonkestovaatimus REI 30 ja on eristetty Isover Standard 36 lasivillalla. Merkittävin laskennallinen tarkastus on kuitenkin kiepahduskestävyys, kun palo pääsee vaikuttamaan palkkiin useammalta sivulta, tämä vaikuttaa huomattavasti palkin kiepahduskestävyyteen. Tästä syystä kiepahdustukien oikeaoppiseen toteutukseen on kiinnitettävä erikoishuomiota, sekä varmistaa että kiepahdustuet paloeristetään vastaavasti, kun muu yläpohjapalkisto. Laadittu suunnitteluohje antaa tämänhetkisten tietojen mukaan tarvittavat työkalut laskelmien suorittamiseen, ja vertailupohjien luomiseen käyttäen Isover Standard 36 lasivillaa.

Kannattava tapaus käyttää lasivillaa, on jos rakenteen jännevälit sekä kuormat ovat maltilliset, ja rakenne joka tapauksessa vaatii lämmöneristyksen kannalta korkeamman

palkkiprofiilin. Esimerkitapaus, lasivillan käyttö ei ole kannattavaa, on jos yläpohjarakenne koostuu naulauslevyristikoista, koska lasivilla vaatisi huomattavasi korkeamman alapaarre ratkaisun.

Lopuksi voisi vielä tutkia muiden lasivillatyypien kuroutumisnopeutta, käyttäen esimerkiksi tiheämpää lasivillatyyppeä kuten Isover Extreme 31, Extreme 32 tai Isover PREMIUM 33. Näille lasivillatyypeille voisi tehdä vastaavat laskelmat, missä selvitetään miten nämä vertautuvat eurokoodin ensimmäisen sukupolven menetelmään.

10 Referenssiluettelo

Eurofins Expert Services Oy. 2023. Analysis report no EUFI29-22004108-T1

Eurofins Expert Services Oy. 2023. Analysis report no EUFI29-23000413-T1.

Eurokoodi help desk. (2023). *Tilanne*. <https://www.eurocodes.fi/eurokoodien-tilanne-nyt/>
Tuotu 10.9.2023.

ISOVER. *Palvelut*. (2023). <https://www.isover.fi/isover-osana-saint-gobain-finland-oyta>
Tuotu 9.9.2023.

Matti Salo, Marja-Leena Mäkelä & Matti Kaasalainen (2015). *Lasivillan historia suomessa*.
Saint-Gobain Rakennustuotteet.

prEN1995-1-2:20YY [2] (2023). *The draft of the 2nd generation eurocode 5*.

Puuinfo. *Puurakenteiden paloturvallisuus*. (2023).
<https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/paloturvallisuus/> Tuotu 9.9.2023.

Puuinfo. *Vaapu-esimerkkilaskelmat*. (2020) <https://puuinfo.fi/koulutus/vaativien-puurakenteiden-suunnittelu-taydennyskoulutus-vaapu/vaapu-esimerkkilaskelmat/> Tuotu
11.3.2024.

RIL 205-1-2017 (2017). *Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi SFS-EN 1995-1-1*.
Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-2-2019 (2019). *Puurakenteiden palomitoitus Eurokoodi EN 1995-1-2*. Suomen
rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 255-1-2014 (2014). *Rakennusfysiikka I*. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

ROCKWOOL. *Tietopankki*. (2024)
<https://www.rockwool.com/fi/tietopankki/paloturvallisuus/eristemateriaalit-ja-tulipalo/>
Tuotu 9.3.2024.

Saint-Gobain Finland Oy. *Palvelut*. (2023). <https://www.saint-gobain.fi/> Tuotu 9.9.2023.

Saint-Gobain. *Saint-gobain-worldwide*. (2023) <https://www.saint-gobain.com/en/group/saint-gobain-worldwide> Tuotu 25.11.2023.

SFS-EN 1363-1:2020 Fire resistance tests. Part 1: General requirements. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tero Lahtela (2021). *Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen*. Puuinfo Oy.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848> Tuotu 10.9.2023.

Kuvaluettelo

Kuva 1. Esimerkkejä yksiaineisista rakennustarvikkeista.	7
Kuva 2. Esimerkkejä asennustavan vaikutuksesta pintamateriaalilta ja alustalta vaadittaviin ominaisuuksiin.	7
Kuva 3. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset.	8
Kuva 4. Toiminnallisessa palomitoituksessa todennäköiset palotapahtumat simuloidaan tietokoneohjelmilla.	12
Kuva 5. Lämmöneristeen tyyppi vaikuttaa rangan hiiltymiseen ja tätä kautta sen kestävyteen myös osastoivassa rakennusosassa.	13
Kuva 6. P1- ja P2-paloluokan rakennuksessa ullakko kerrososastoidaan.	15
Kuva 7. Kiepahdustuet estävät palkkien kiepahtamisen ala- tai yläpuolisessa palossa.	16
Kuva 8. Riittävän järeät palkit voidaan suunnitella toimimaan ilman kiepahdustuenta ala- tai yläpuolisessa palossa.	16
Kuva 9. Eri eristemateriaalien palonkestävyyden suhteessa aikaan ja lämpötilaan.	17
Kuva 10. Puurunko-osien suunnittelumalli.	19
Kuva 11. Polttokoekappaleen rakennekerrokset.	24
Kuva 12. Rakenteen pitkän sivun leikkaus.	25
Kuva 13. Rakenteen poikkileikkaus.	25
Kuva 14. Rakenne ylhäältä päin.	26
Kuva 15. Rakenteen onteloiden täyttö.	26
Kuva 16. Rakenteen alapuolinen levysuojaus.	26
Kuva 17. Rakenne asennettu uuniin.	27
Kuva 18. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 2 min 52 sek.	27
Kuva 19. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 9 min 30 sek.	28
Kuva 20. Kuvattu uunin sisäpuolelta, palotestin aikana 68 min 30 sek.	28
Kuva 21. Rakenne palotestauksen lopetuksen jälkeen.	28
Kuva 22. Mittauspisteiden sijainti, pitkän sivun leikkaus.	29

Kuva 23. Mittauspisteiden sijainti, poikkileikkaus.....	29
Kuva 24. Mittauspisteiden sijainti, ylhäältä päin.....	30
Kuva 25. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu korkeus ja sivusuunnassa mittauspisteessä A.....	30
Kuva 26. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu korkeus ja sivusuunnassa mittauspisteessä B.....	31
Kuva 27. Mittauspisteiden antureiden tarkempi sijoittelu mittauspisteessä C & D.	31
Kuva 28. Termoparien numerot ja hiiltymisen aloitusaika mittauspisteessä A.	35
Kuva 29. Termoparien numerot ja hiiltymisen aloitusaika mittauspisteessä B.	35
Kuva 30. Rakennetyyppi, kerrokset paksuudet ja kuvaus taulukoitu.	38
Kuva 31. Poikkileikkaus 1-1.	38

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Paloluokat.	5
Taulukko 2. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen yleisesti.....	6
Taulukko 3. Seinä- ja kattomateriaalien jakautuminen luokkiin.....	6
Taulukko 4. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P3-paloluokassa.	9
Taulukko 5. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P2-paloluokassa.	10
Taulukko 6. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P1-paloluokassa.	11
Taulukko 7. Uunin lämpötila.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
Taulukko 8. Hiiltymisen alkamisajat tch palkin sivusuuntaisella pinnalla funktiona palkin yläreunan etäisyydestä, testattu ja laskettu tch eristyksen kuroutumisnopeuksille 9 mm/min ja 10 mm/min.	36
Taulukko 9. Kerto-S LVL palkkien poikkileikkaukset sekä jäännöspoikkileikkaukset.	42
Taulukko 10. Tehollinen poikkileikkaus.....	53
Taulukko 11. Taivutuskestävyys	53
Taulukko 12. Kiepahduskestävyys	54
Taulukko 13. Taipuma	54