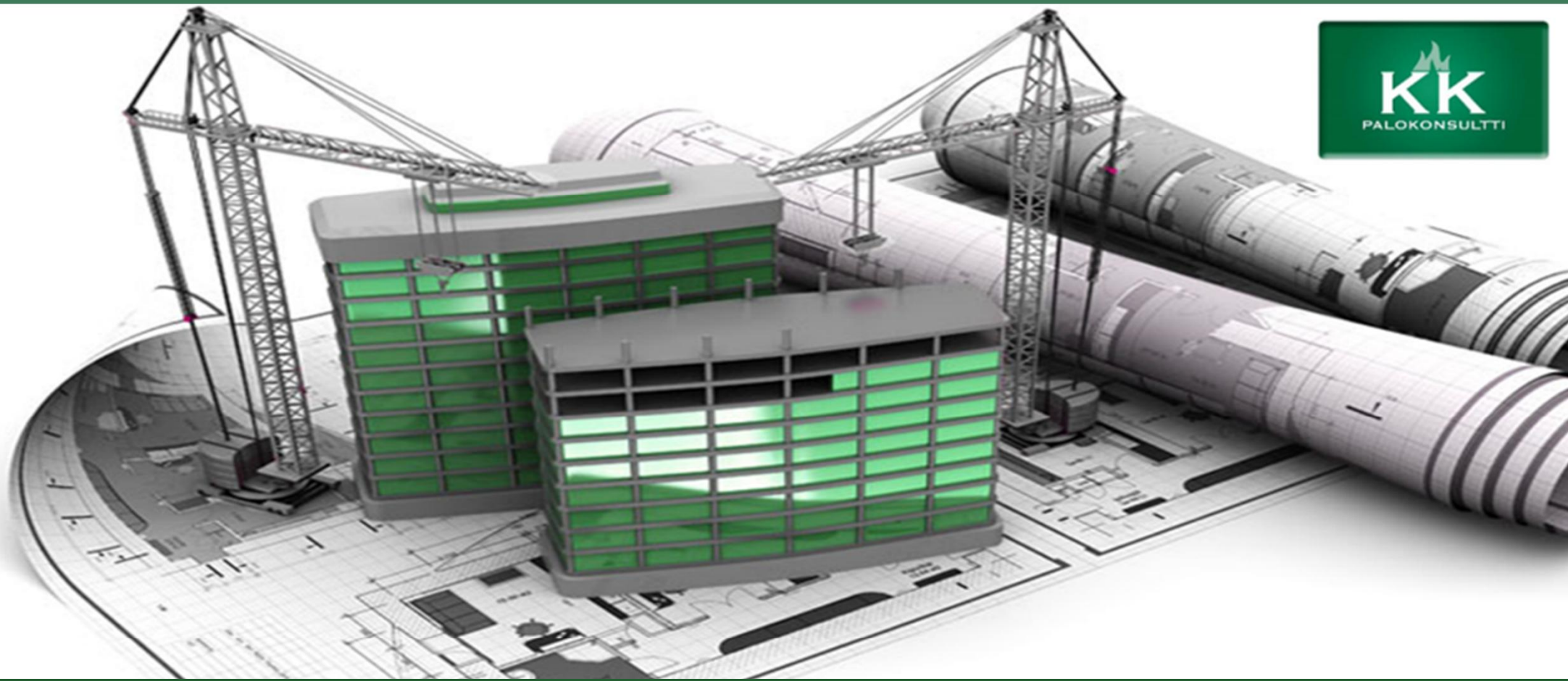




Puukerrostalojen suunnittelu, toiminnallinen palomitoitus ja eurooppalainen viitekehys

Esko Mikkola
KK-Palokonsultti Oy

Sisältö



- Palomääräysten kehityksestä - puurakentaminen
- Paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset
- Puun käyttöalueista ja rajoitteista
- Toiminnallinen palomitoitus
 - Vaatimukset, eri toimijoiden roolit, viranomaishyväksynät
- Milloin toiminnallista palomitoitusta käytetään
- Puurakentamiseen liittyviä näkökulmia
- Esimerkkejä kohteista
 - Puukuokka, Wood City, Seinäjoen Mäihä
- Palorasitukset kun puupintoja näkyvissä
- Hiiltymisnopeudet – standardipalo ja HC käyrä
- Vertailuja Euroopan maiden välillä
- Paloturvallisen puurakentamisen eurooppalainen käsikirja

Palomääräysten (E1) kehityksestä



1997

- Toiminnallinen palomitoitus mahdolliseksi taulukkoarvojen rinnalla
- Taulukkomitoitus: Puukerrostalot 4 kerrokseen asti mahdollisiksi

2002

- Eurooppalaiset pintakerrosluokat mukaan määräyksiin

2011

- Taulukkomitoitus: Erityisesti puun käyttöä koskevia muutoksia
 - Kantavien puurakenteiden käyttö 8 kerrokseen asti
 - Puun käyttö sisäpinnoissa ja julkisivuissa
 - Lisäkerroksen rakentaminen

2017/2018

- Taulukkomitoitus: Puun käytön laajennuksia
- Toiminnallinen mitoitus: Mitoituksen perusteita, mitoituspalokuorman tiheyksien ehtoja

Paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset



1. Rakennuksen kantavien rakenteiden tulee palon sattuessa kestää niille asetetun vähimmäisajan
 - Mikäli henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen (rakennuksen on riittävän luotettavasti kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen)
 - Haasteellinen puurakentamisessa (suojaverhous + automaattisen sammutuksen hyödyntäminen)
2. Palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua
 - D-s2, d2 luokka (puutuotteet) yleensä alarajana, mutta usein korkeampi vaatimustaso (jolloin toiminnallisen mitoituksen keinoin voi perustella puun käyttöä)
3. Palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin tulee rajoittaa
 - Kuten edellä kohta 2
4. Rakennuksessa olevien henkilöiden on voitava palon sattuessa päästä poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava pelastaa muulla tavoin
 - Irtaimen palokuorman laatu yleensä määräävämpi kuin puupinnat ja -rakenteet
5. Pelastushenkilöstön turvallisuus on rakentamisessa otettava huomioon
 - Ks. kohdat 1 - 4

Puun käyttöalueista ja rajoitteista kerrostaloissa

- Taulukkomitoitus: Puukerrostaloja (3-8 kerrosta) koskevia käyttötaparyhmiä ovat asuinrakennukset ja työpaikkarakennukset
 - Näin toistaiseksi; muut käyttötavat ja korkeammat rakennukset tehdään toiminnallisella mitoituksella
 - Käyttötapoihin tulossa laajennuksia uuden asetuksen myötä

Toiminnallinen palomitoitus

Vaatimukset, ohjeet ja dokumentointi



- Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan täyttyvän, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet
- Vaatimuksen täyttyminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö
 - Suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisten koe- ja laskentamenetelmien voidaan olettaa täyttävän kelpoisuusvaatimukset, mikäli sovellus on ko. menetelmän pätevyysalueella.
- Suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset on esitettävä rakennuslupamenettelyn yhteydessä

Eri toimijoiden roolit



Paloteknisen suunnittelun yhteistyökumppanit ja tehtävät

- Rakennuttaja ja pääsuunnittelija
 - Päälinjat ja päätökset
- Arkkitehti, rakennesuunnittelija, paloinsinööri, muut suunnittelijat
 - Käytännön ratkaisut yhteistyönä
- Viranomaiset – rakennusvalvonta (hyväksynnät), pelastuslaitos (kannanotot/lausunnot) + 3. osapuolen tarkastus
 - Paloinsinööri esittelee yhdessä pääsuunnittelijan kanssa toiminnallisen palosuunnittelun lähtöoletukset, hyväksymiskriteerit, analyysit ja niiden johtopäätökset
- Toiminnallisen palosuunnittelun dokumentointia tarvitaan
 - Rakennuslupakäsittelyä varten
 - Muiden suunnittelijoiden käyttöön
 - Rakennuttajan käyttöön
 - Urakoitsijan käyttöön
 - Rakennuksen omistajan/hallitsijan käyttöön

Viranomaishyväksynät



Vaatimuksen täyttymisen osoittaminen

- Vertailuperiaate
 - INSTA TS 950: Fire Safety Engineering — Comparative method to verify fire safety design in buildings (2014)
 - Verrataan vastaavan käyttötavan rakennukseen – esim. puurunkoista 8 kerroksista hotellia verrataan P1 luokan vastaavaan rakennukseen
- Absoluuttiset kriteerit
 - Syytä varmistaa viranomaishyväksyntä jo aiesuunnittelun alussa
 - Ongelmana voi olla hyväksymiskriteerien määrittely

Milloin toiminnallista palomitoitusta käytetään



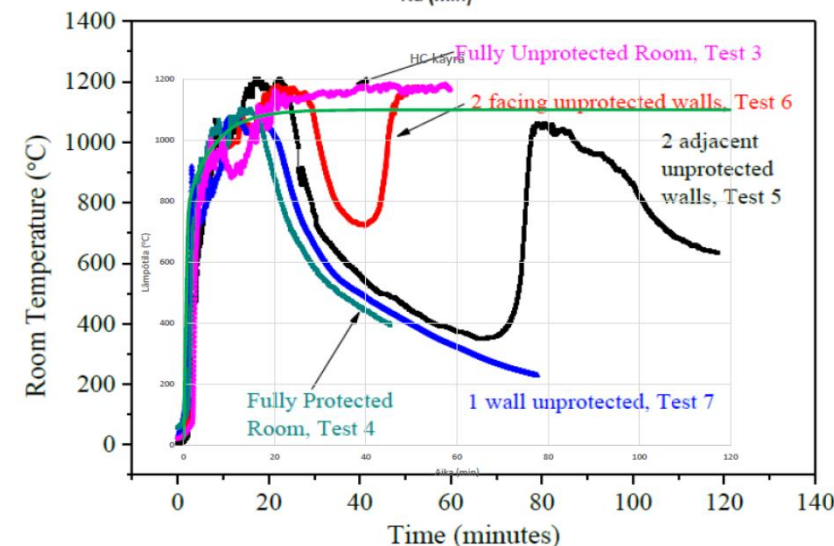
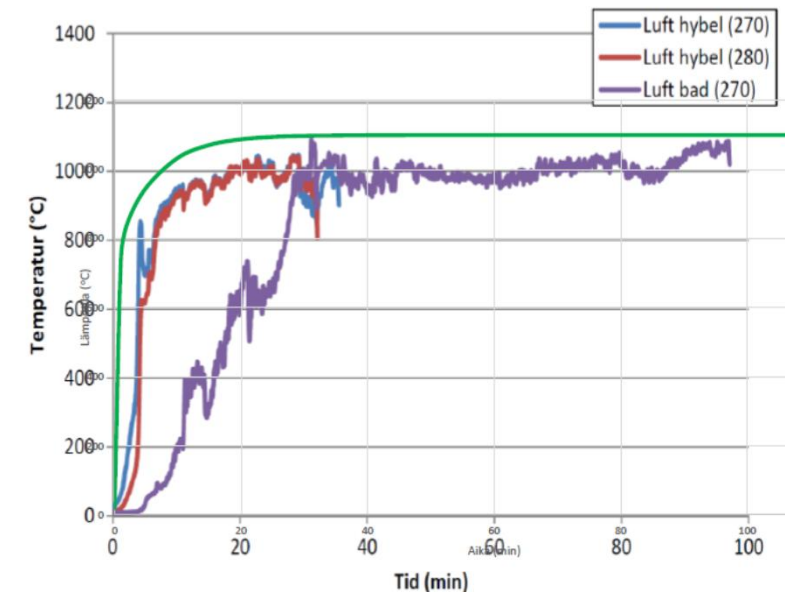
- Tyypillisiä puurakentamisen rakennuskohteita
 - Korkeat puurakennukset (yli 8 kerrosta)
 - Suuret hallimaiset rakennukset
 - Käyttötavat, joita ei ole sallittu taulukkomitoituksessa
 - Kokoonmistilat, hotellit, hoitolaitokset, jne.
- Tyypillisiä rakennekokonaisuuksia – osaratkaisuja toiminnallisin menetelmin
 - Puujulkisivut – laajempi käyttö – myös eri käyttötapoja (esím. sairaalat)
 - Puupintoja ja/tai palosuojattuja puupintoja
 - Massiivisten puurakenteiden pintoja näkyviin ilman suojaverhousta
 - Rakennusten välinen etäisyys alle 8 m
 - Jne.

Puurakentamiseen liittyviä näkökulmia

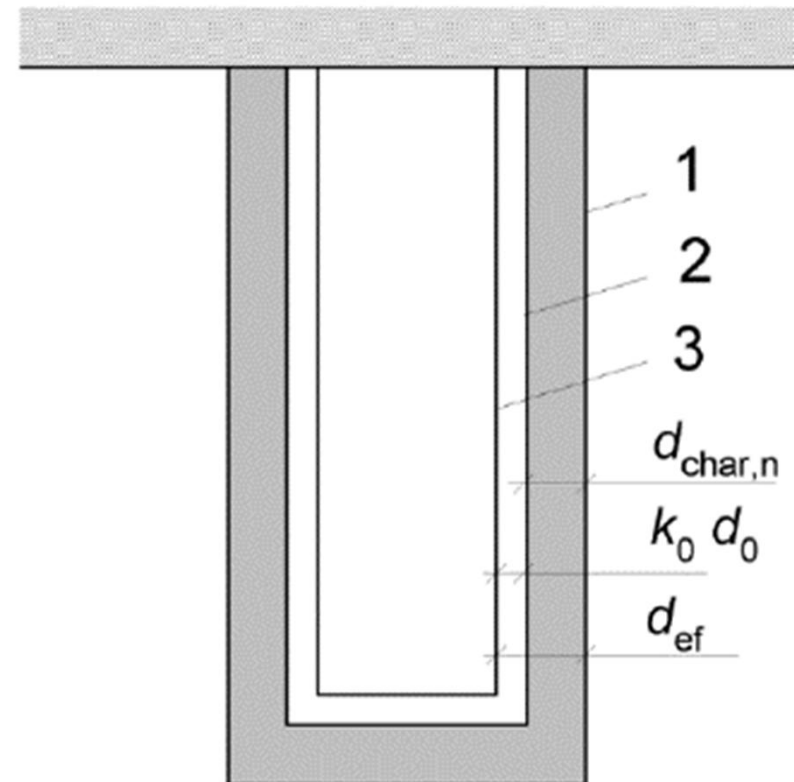


Puurakenteet ilman suojaverhousta

- Automaattisen sammutuksen luotettavuus oleellinen tekijä
- Tapauksessa, jossa automaattinen sammutus ei toimi, mitoittava palo on oleellisesti standardipalorasitusta ankarampi, jos paljon näkyvää puuta
- Tästä kohonneesta palorasituksesta johtuva hiiltymisnopeus rakenteiden mitoituksessa voidaan ottaa huomioon R vaatimusta nostamalla



- Kun käytetään kohonneesta palorasituksesta johtuvaa korkeampaa R vaatimusta, voidaan puurakenteen hiiltymissyvyyden laskennassa käyttää Eurokoodi 5:n mukaisia standardipalorasitukseen perustuvia hiiltymisnopeuden perusarvoja sekä mahdollisten liimasaumojen delaminoitumisesta johtuvia tuotekohtaisia laskentaohjeita.



Puurakenteiden suojaaminen



Suojaverhous

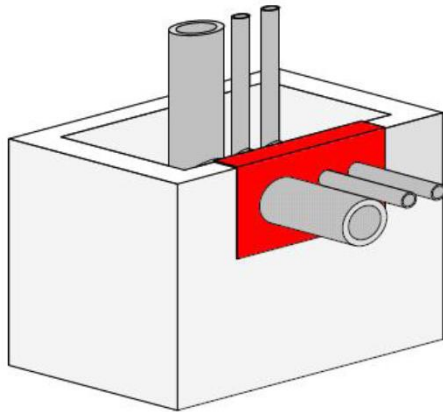
- Pinnan muodostava verhous, joka määrätyn ajan suojaa sen takana olevan rakenteen syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta
- Yleensä suojaverhouksen (tai ainakin osan siitä) oltava palamaton (A2-s1, d0), mutta toiminnallisin perustein suojaverhouksia voidaan toteuttaa myös puutuotteilla

Osastoiva rakennusosa

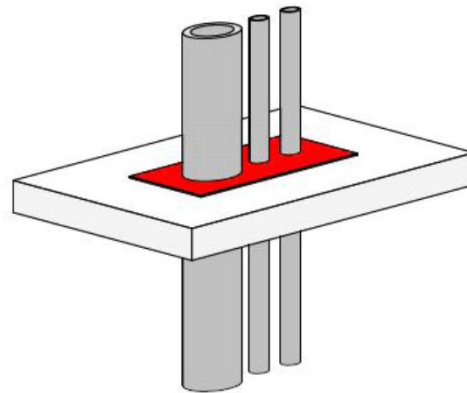
- Osastoivia rakenteita käytetään määräyksissä vaihtoehtoisena tapana toteuttaa suojaverhouksen vaatimukset

Detaljratkaisut oleellisia

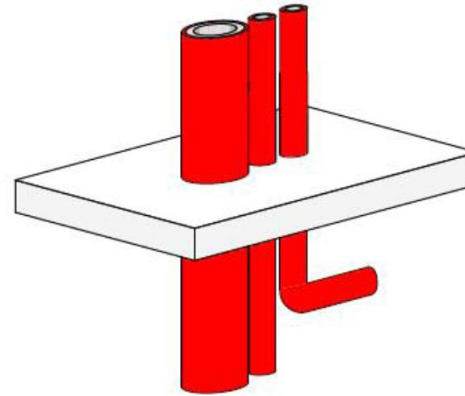
- Osastoivan rakennusosan läpi saa johtaa tarpeelliset putket, roilot, kanavat, johdot ja hormit sekä kuljetinlaitteistojen edellyttämät läpiviennit edellyttäen, ettei olennaisesti heikennetä rakennusosan osastoivuutta.
- Tämä on toiminnallinen vaatimus!



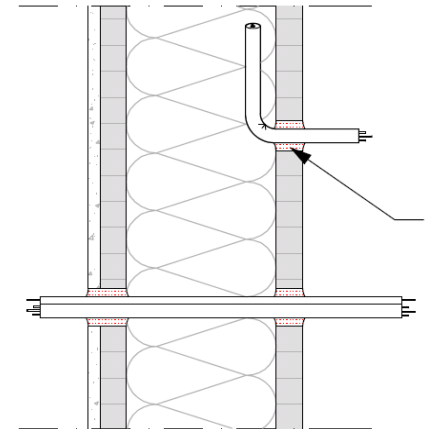
Asennuskanava,
johon läpivienti



Läpivienti osastoivassa
rakennusosassa



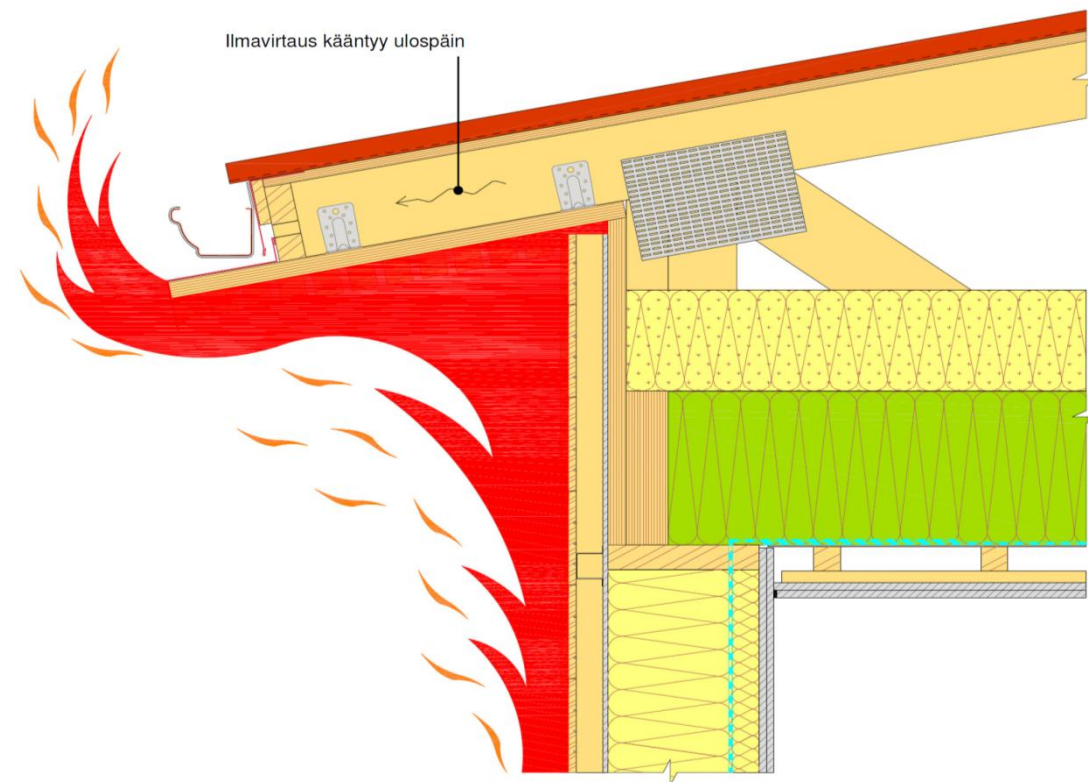
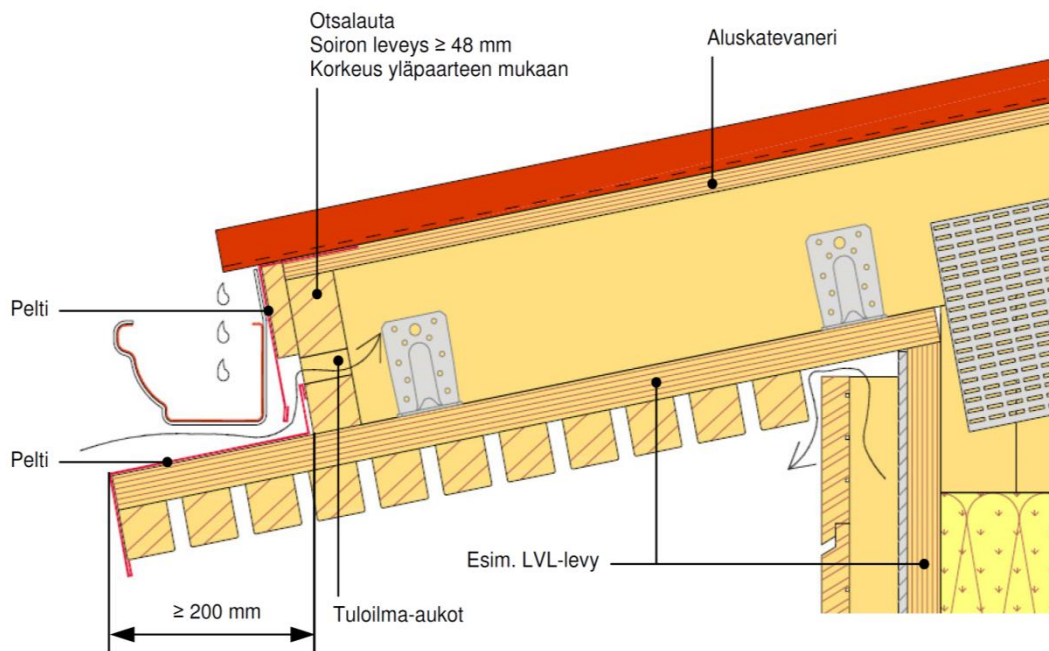
Kunkin läpimenevän
putken koteloointi



Kuvat: Fire safety in
timber buildings 2010

Onteloita rakenteissa tulee välttää tai katkaista ne tarpeen mukaan

- Esimerkkinä julkisivun ja räystään ontelon katkaisu siten, ettei palo pääse helposti ullakolle



Esimerkkejä kohteista

Puukuokka, Jyväskylä

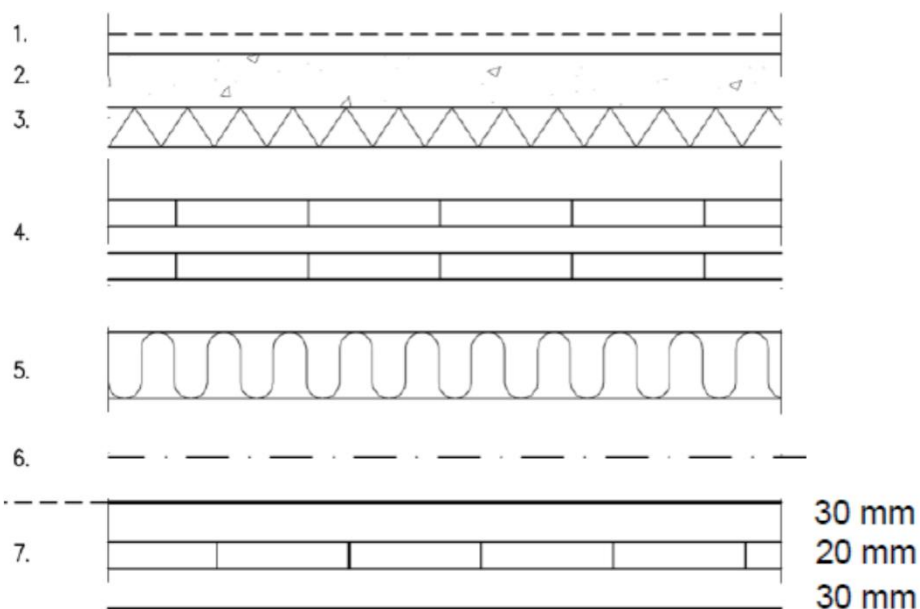
- Kohde koostuu kolmesta asuinrakennuksesta ja se on korkeimmillaan kahdeksankerroksinen (ensimmäisenä rakennettu osa)
- Kellari ja ensimmäisen kerroksen varastotilat ovat betonirakenteisia
- Kerroksen 1 asuinhuoneistot ja kerrokset 2...8 ovat puurakenteisia (CLT)



Kuvat Mikko Auerniitty

- Kellari (osittain maanpinnan tasossa) on betonirakenteinen
- Kellarissa autohalli
- Julkisivulla käytetään puuverhoilua alinta kerrosta lukuun ottamatta

- Rakennuksen sisäpuoliset pinnat on varustettu palo-osaston kantamattomia sisäisiä väliseiniä lukuun ottamatta A2-s1, d0 luokan tarvikkeista tehdyllä K₂30 luokan suojaverhouksella.
- Poikkeamana tähän on huoneiston katon suojaverhous, joka on toteutettu käyttäen alakattona CLT levyä.



Itsekantavan alakaton (CLT 80 mm) käyttö suojaverhouksena.



Kuvat Mikko Auerniitty

Wood City, Helsinki

- Toimisto & hotelli, puusisustuksen käyttö



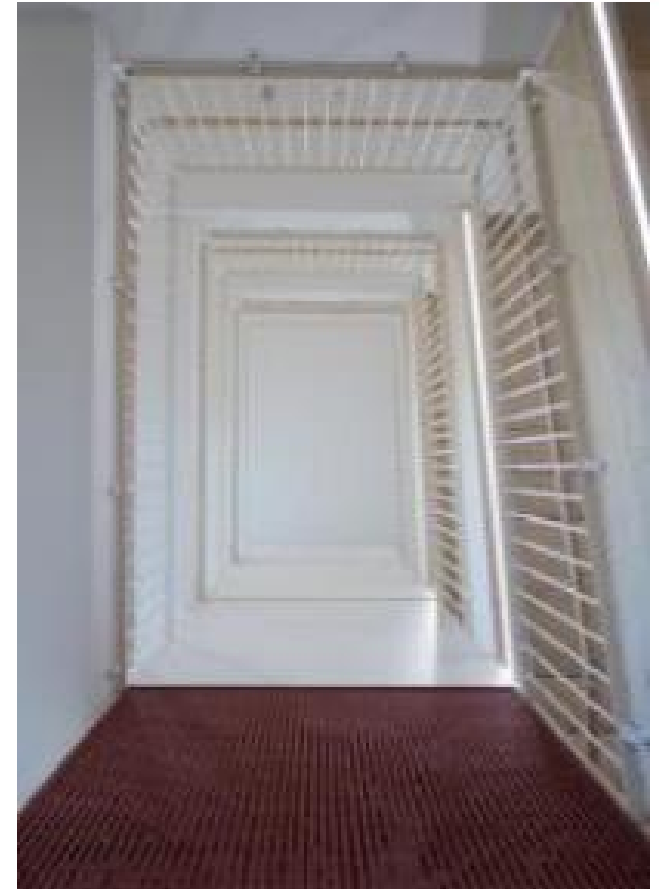
Wood City, asunnot rakenteilla



Huhtikuu 2017

Seinäjoen Mäihä

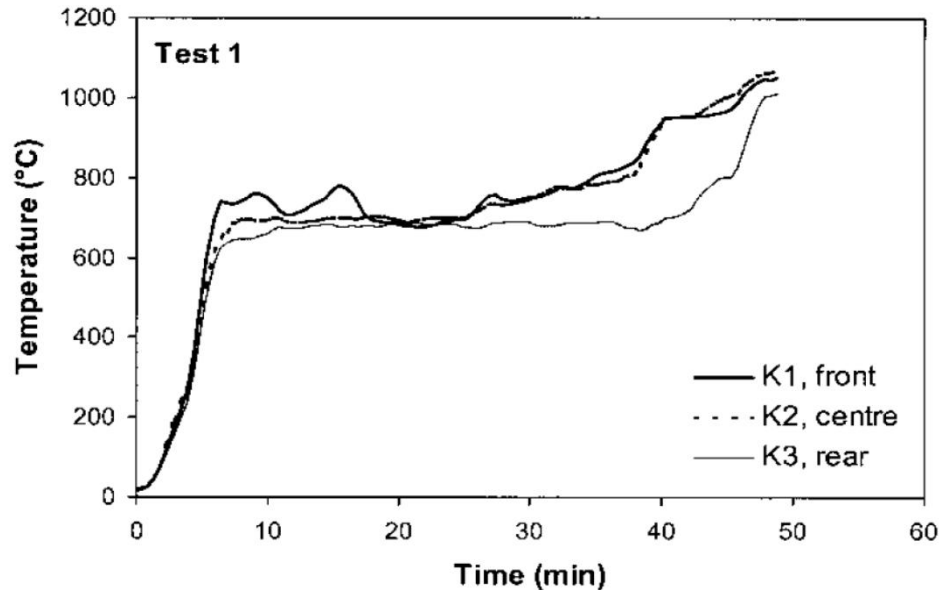
- Kohteen rakennuksessa on viisi puurunkoista (CLT) asuntokerrosta
- Rakennuksen sisäpuoliset pinnat on varustettu palo-osaston kantamattomia sisäisiä väliseiniä lukuun ottamatta A2-s1, d0 luokan tarvikkeista tehdyllä K₂30 luokan suojaverhouksella
 - Poikkeamana on huoneiston katon suojaverhous, joka on toteutettu käyttäen alakattona CLT levyä



Kuvat: Mikko Auerniitty

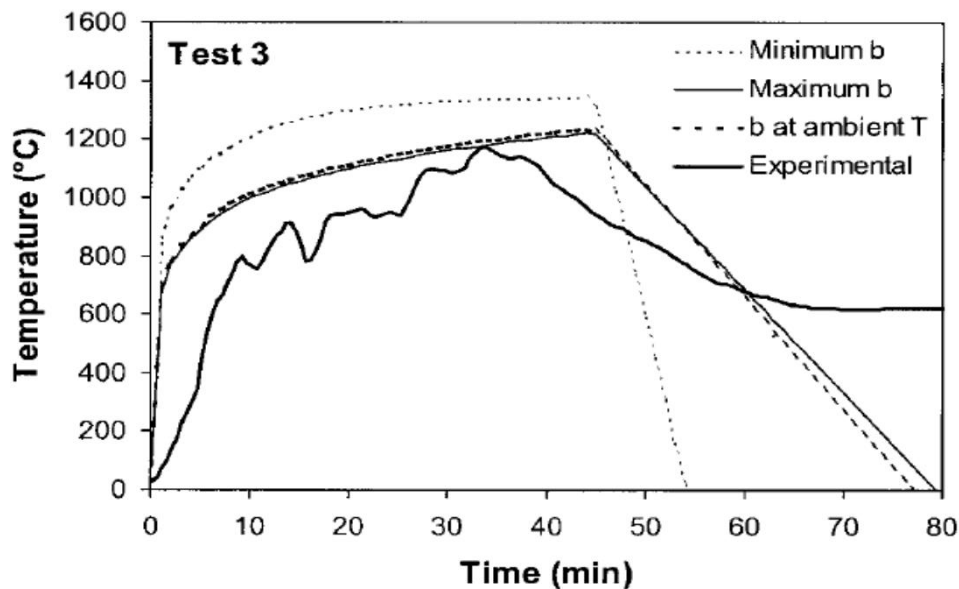
- Porrassyöksyt ja -tasanteet (portaisen yläpintaa lukuun ottamatta) on tehty B-s1, d0 luokkaan palosuojatusta CLT:stä

Palorasitukset kun puupintoja näkyvissä

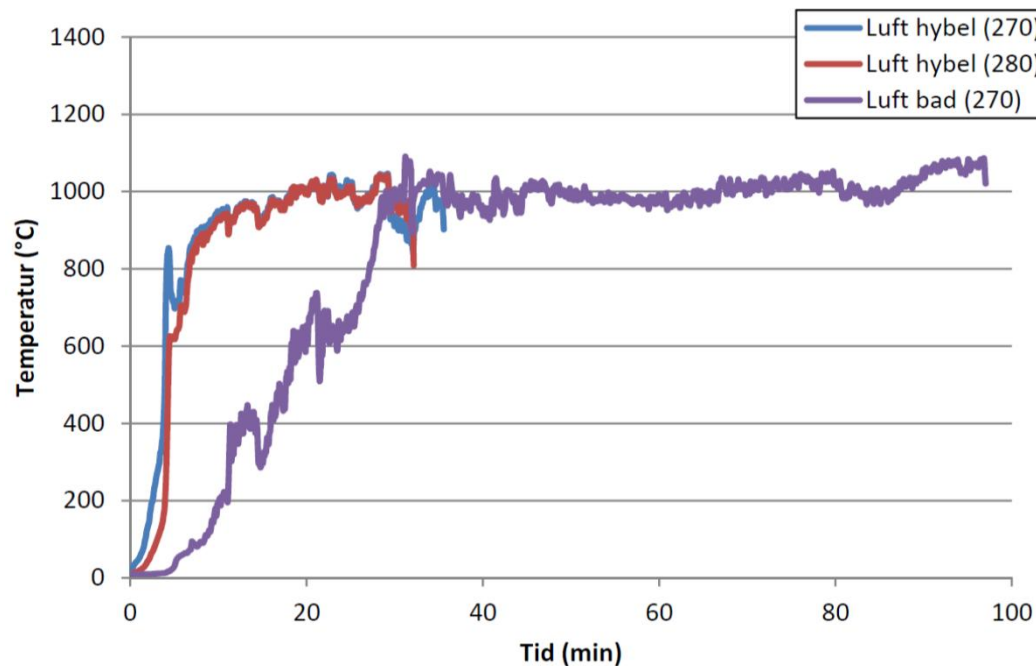


- Massive structure – no gypsum board protection.
- Room area about 16 m², window opening 2,3 m x 1,2 m, opening factor 0,042 m^{1/2}.
- Movable fire load 690 MJ/m².

Hakkarainen, Tuula. Post-Flashover Fires in Light and Heavy Timber Construction. Journal of Fire Sciences 2002. Vol. 20. Pp. 133 – 175.



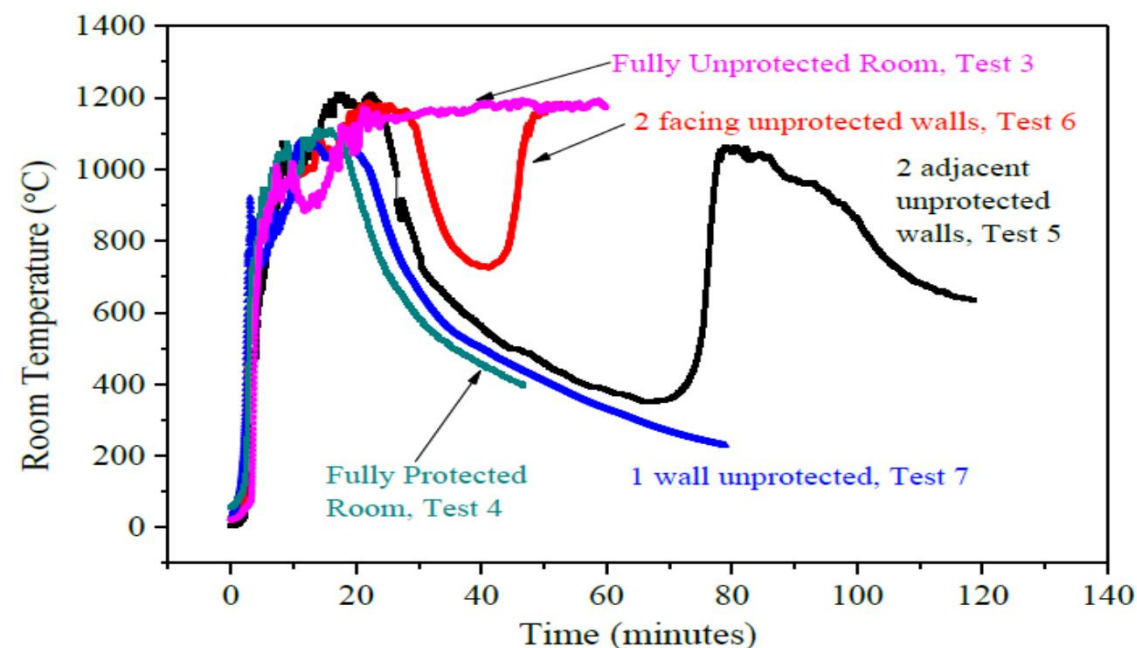
- Massive structure – 12 mm + 15 mm (F) gypsum board protection on walls and ceiling.
- Room area about 16 m², window opening 2,3 m x 1,2 m, opening factor 0,042 m^{1/2}.
- Movable fire load 690 MJ/m².



Norwegian test

- About half of CLT walls and ceilings visible
- Room area about 13 m². Window 1,2 m x 1,6 m and door 0,9 m x 2,0 m), opening factor about 0,08 m^{1/2}.
- Movable fire load 660 MJ/m².

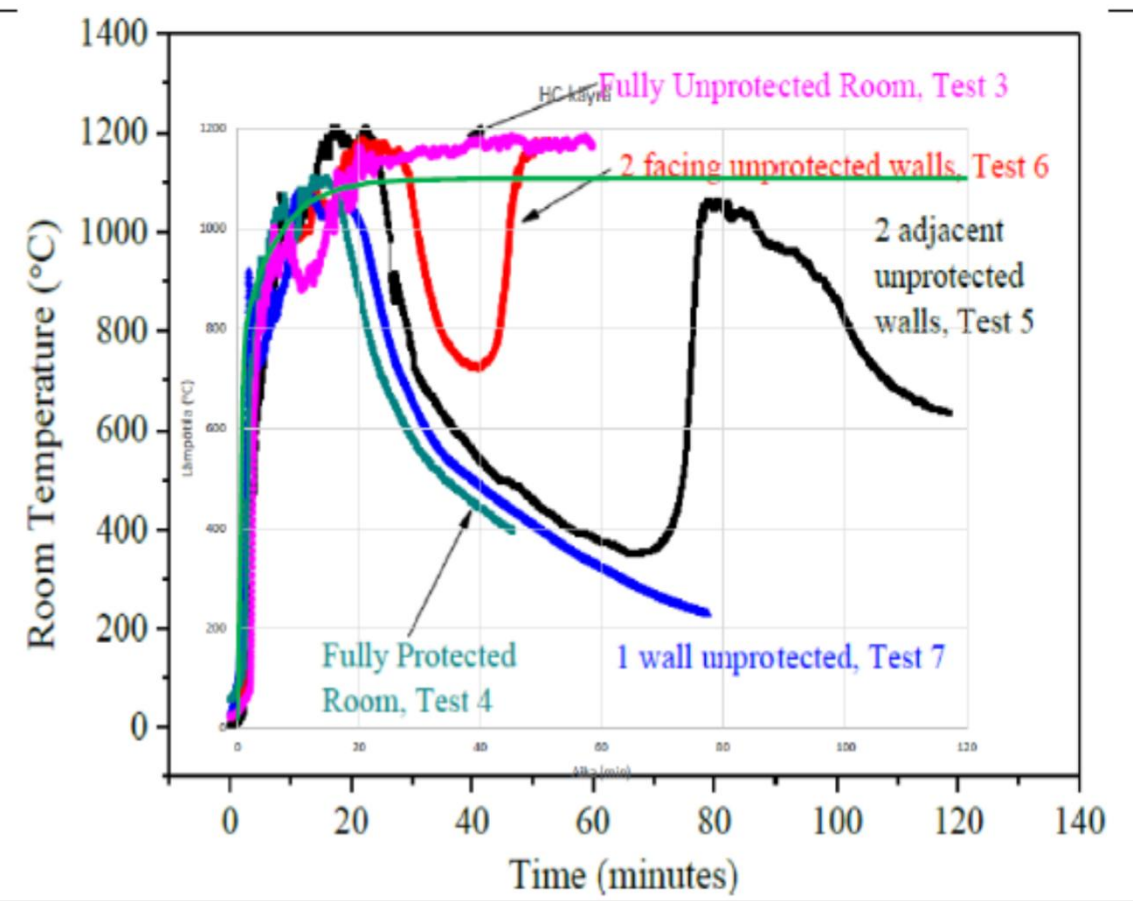
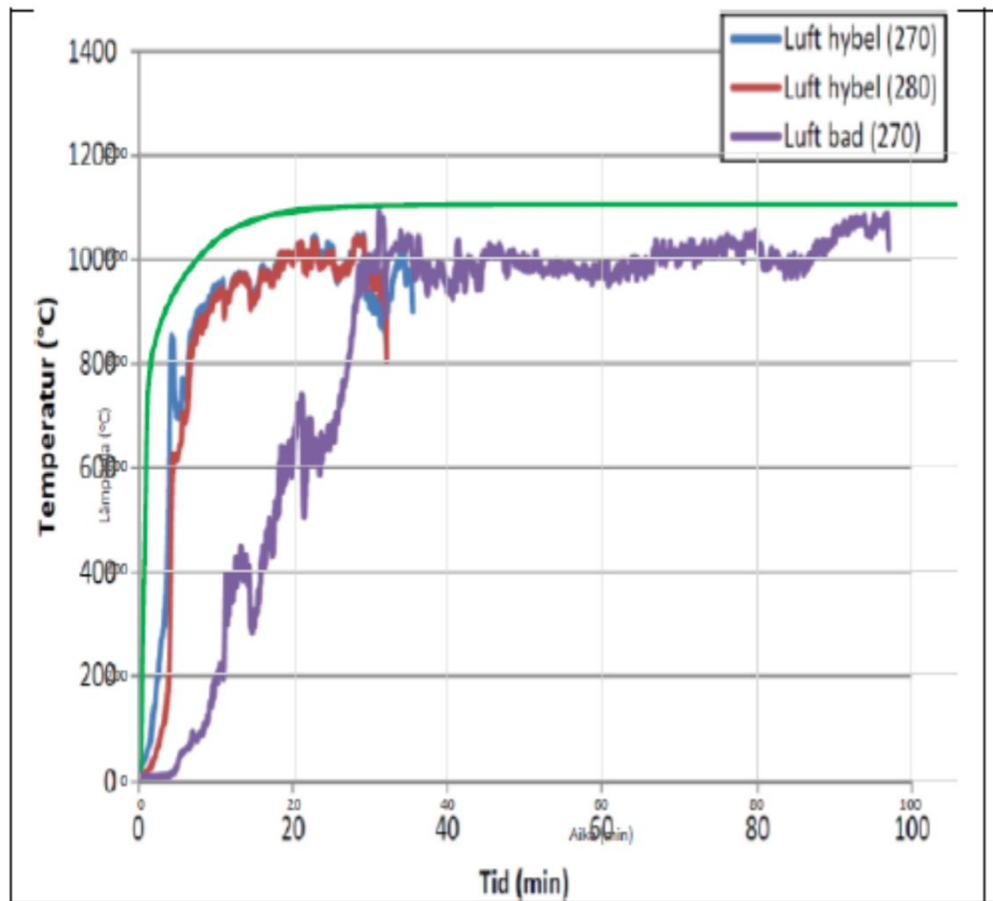
Kristian Hox, Branntest av massivtre. SP Fire Research AS. SPFR-rapport SPFR A15101. 2015-03-18.



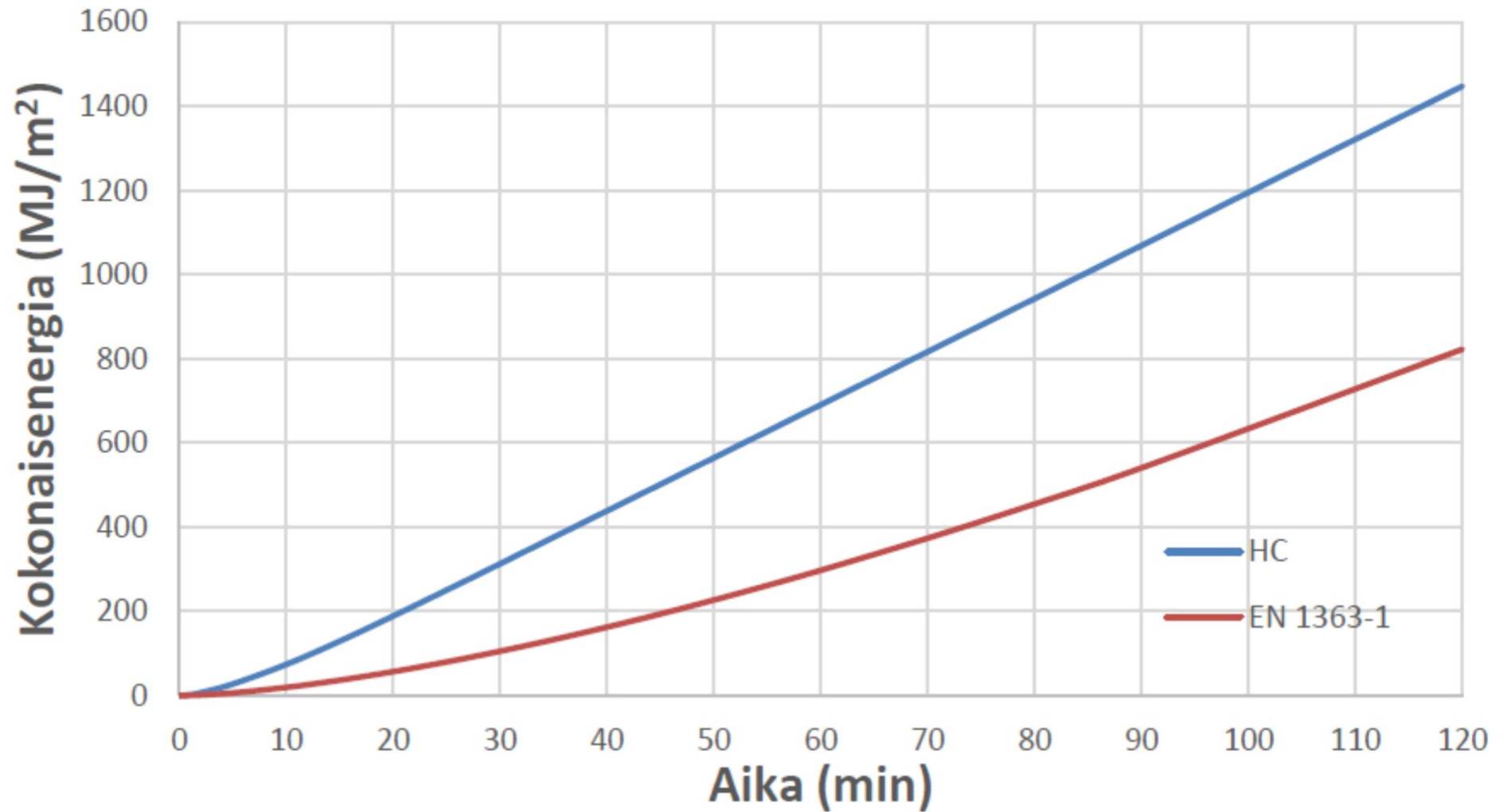
- Room area nearly 16 m² and door 1,1 m x 2,0 m).
- Movable fire load less than 350 MJ/m².

Xiao Li, Cameron McGregor, Alejandro Medina, Xiaoqian Sun, David Barber, George Hadjisophocleous. Real-scale fire tests on timber constructions. WCTE 2016, Vienna, Austria.

Vertailu HC käyrään



Palokäyrät kokonaisenergiana



Hiiltymisnopeudet – standardipalo ja HC käyrä



Table 1. One-dimensional charring rates (standard fire exposure).

Time from start	Charring rate (mm/min)					
	LVL ↑	LVL →	CLT ↑ 40 mm lamella	CLT → 40 mm lamella	Sawn timber	Glulam
30 min	0.62	0.60	0.70	0.73	0.65	0.68
60 min	0.66	0.62	0.66	0.71	0.62	0.61
90 min	0.64	0.63	0.73	0.70	0.61	0.59
120 min	0.62*	0.63*			0.61*	0.59*

*Estimate

Table 2. One-dimensional charring rates (HC fire curve).

Time from start	Charring rate (mm/min) HC					
	LVL ↑	LVL →	CLT ↑ 40 mm lamella	CLT → 40 mm lamella	Sawn timber	Glulam
30 min	1.24	1.27	1.16	1.24	1.12	1.15
60 min	1.07	1.08	1.15	1.01	0.92	0.95
90 min	1.03	0.97	1.09	0.85	0.82	0.84
120 min	1.08*	0.95*		0.75	0.79*	0.76*

*Estimate

Vertailuja Euroopan maiden välillä

Mikkola E. 2017. Comparison of national fire safety requirements within COST Action FP1404. International Wood Products Journal.



Max number of storeys (or height of building in metres) allowed for D class products

Country	Prescriptive rules	Load-bearing structures		External cladding	
		Performance based (PB)	Protection required	No sprinklers	With sprinklers
Austria	6	No limit	No	6	6
Belgium	See PB	No limit	No	3 (10 m)	3 (10 m)
Czech Republic	3–4 (12 m)			3–4 (12 m)	3–4 (12 m)
Denmark	3–4	No limit		3–4	3–4
Estonia	4	No limit	No	8	8
Finland	2/8 ^c	No limit	K ₂ 10/K ₂ 30	2/4	8
France	No limit	No limit	No	4 or 50 m ^d	
Germany	4–5	>5	K ₂ 60	3 (7 m)	3 (7 m)
Greece	No limit	No limit	No	No limit	No limit
Ireland	3 (10 m)	No limit		≥5	≥5
Italy	See PB	No limit	No	(12 m)	(12 m)
Latvia	4	Not used	B-s1, d0	4	4
Macedonia	2			2	
Netherlands	13 m	No limit		3–4	≥5
Norway	4	No limit	EI30/EI60, K ₂ 10	4	4
Poland	3–4 (12 m)		B-s1, d0	(25 m)	(25 m)
Portugal	(9 m/single family)			(28 m)	(28 m)
Slovakia	2–4	Not permitted	EI	(12 m)	(12 m)
Slovenia	3.5 ^c	No limit	EI30/EI60	3 (10 m)	3 (10 m)
Spain	See PB	No limit	EI30-EI120	6 (18 m)	6 (18 m)
Sweden	See PB	No limit	No	2	≥5
Switzerland	(30 m)	No limit	No	(30 m)	(30 m)
Turkey	3	No limit	F30B2/F60AB	3	3
United Kingdom	See PB	No limit		≥5	≥5

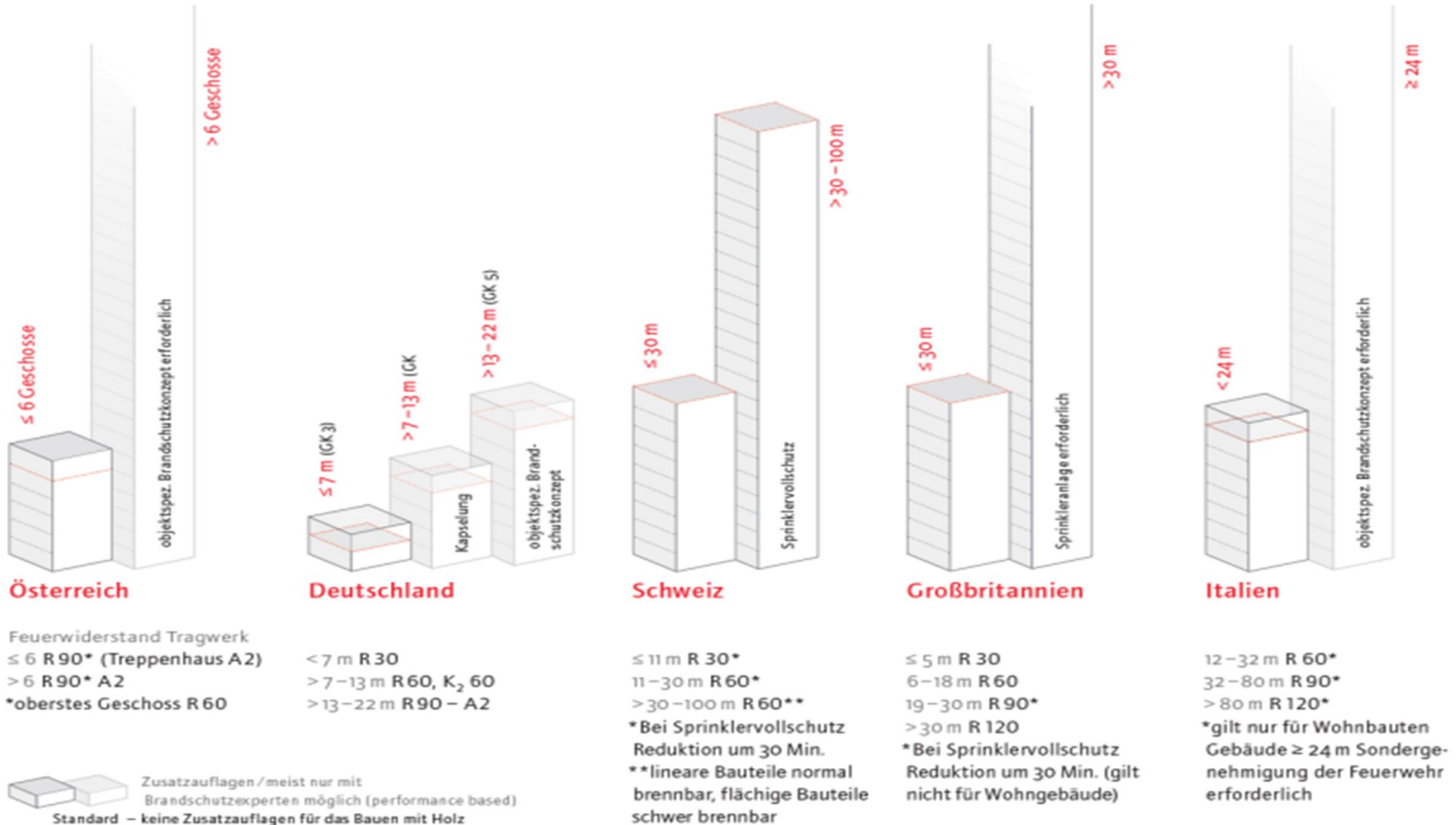
^cWith sprinklers

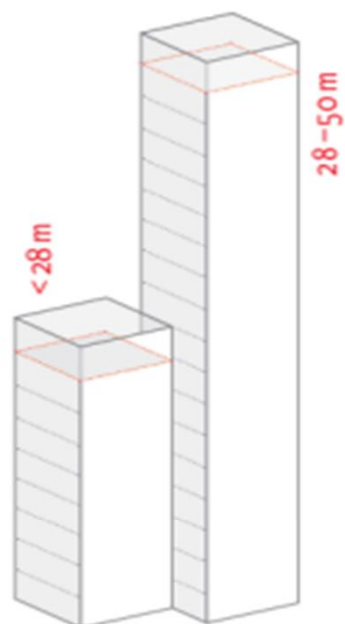
Huhtikuu 2017 ^dApplicable for dwellings; more than four storeys requires compliance with French façade test.

Country	D/D _{FL} class products allowed in buildings with three or more storeys ^a					
	Internal walls/ceilings				Floorings	
	Escape routes sprinklers		Within apartments sprinklers		Escape routes	Within apartments
	No	Yes	No	Yes		
Austria	—	—	+	+	—	+
Belgium	—	+ ^b	+	+	—	+
Czech Republic	—	—	+	+	—	+
Denmark	—	—	—	—	+	+
Estonia	—	+	—	+	+	+
Finland	—	—	+	+	+	+
France	—	—	+	+	+	+
Germany	—	—	+	+	+	+
Greece	—	—	+	+	+	+
Ireland	—	—	+	+	+	+
Italy	—	—	—	—	+	+
Latvia	—	—	+	+		
Macedonia						
Netherlands	—	—	+	+	+	+
Norway	—	—	+	+	+	+
Poland	—	—	+	+	—	+
Portugal	—		+		—	+
Slovakia	—	—	+	+	+	+
Slovenia	—	—	—	+	+	+
Spain	—	—	+	+	—	+
Sweden	—	—	—	+	+	+
Switzerland	—	+	+	+	+	+
Turkey	—	—	—	—		
United Kingdom	—	—	—	+	—	+

^aNotations: Allowed (+) and not allowed (—).

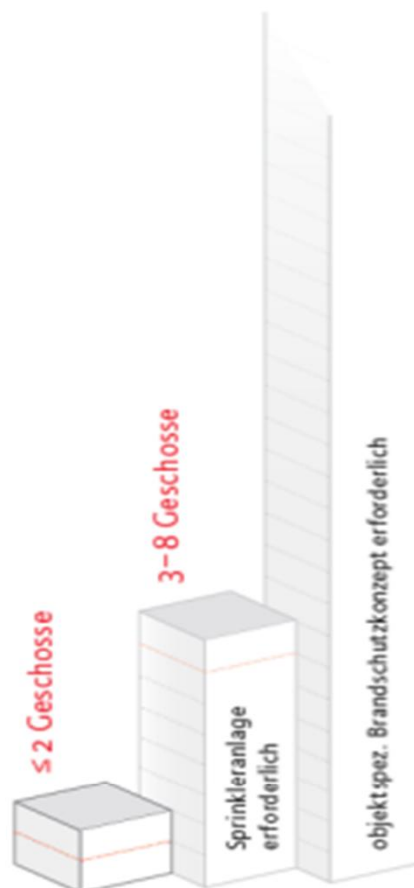
^bInstead of sprinklers fire detection is required.





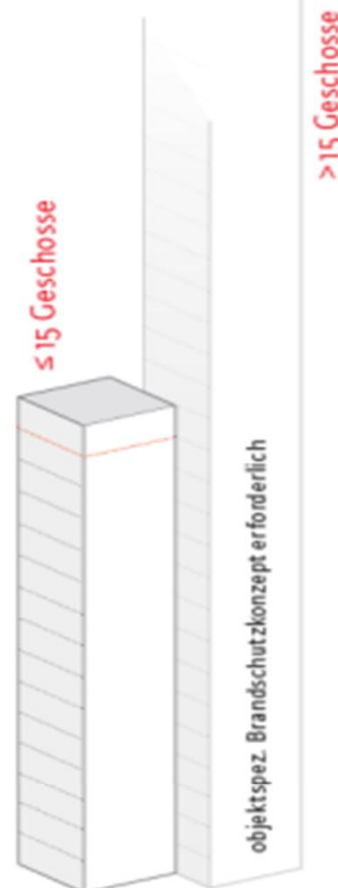
Frankreich

< 28 m R 60
28-50 m R 90



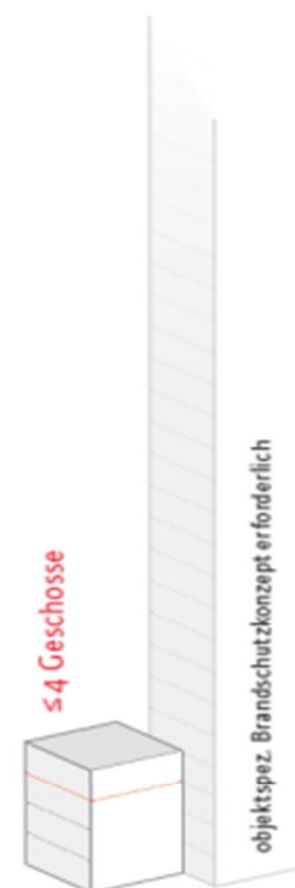
Finnland

1-2 R 30
3-8 R 60
> 8 R 120



Schweden

≤ 4 R 60
5-15 R 90



Norwegen

1-2 R 30
3-4 R 60
> 4 R 90 A2

Paloturvallisen puurakentamisen käsikirja

- *Fire resistance of Innovative Timber structures (FireInTimber)*
Hankkeen toteuttajina oli 14 tutkimustahoa yhdeksästä maasta: Ruotsi, Suomi, Saksa, Ranska, Norja, Iso-Britannia, Itävalta, Sveitsi ja Viro
 - Hanke osa puuteollisuuden Building With Wood (BWW) ohjelmaa
- Sisältönä eurooppalaisessa kirjassa mm.:
- Eurooppalaiset rakennustuotteiden vaatimukset (palon kannalta)
- Paloturvallisuuden tavoitteiden saavuttamisen keinot
- Puutuotteiden paloturvallisuus pintamateriaalina
- Kantavat puurakenteet
- Osastoivat puurakenteet
- Puurakenteiden liitokset
- Läpiviennit puurakenteissa
- Aktiivisen palontorjunnan keinot
- Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun mahdollisuudet
- Uusien puutuotteiden käyttöönotto

Fire safety in timber buildings



Technical guideline for Europe

