



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

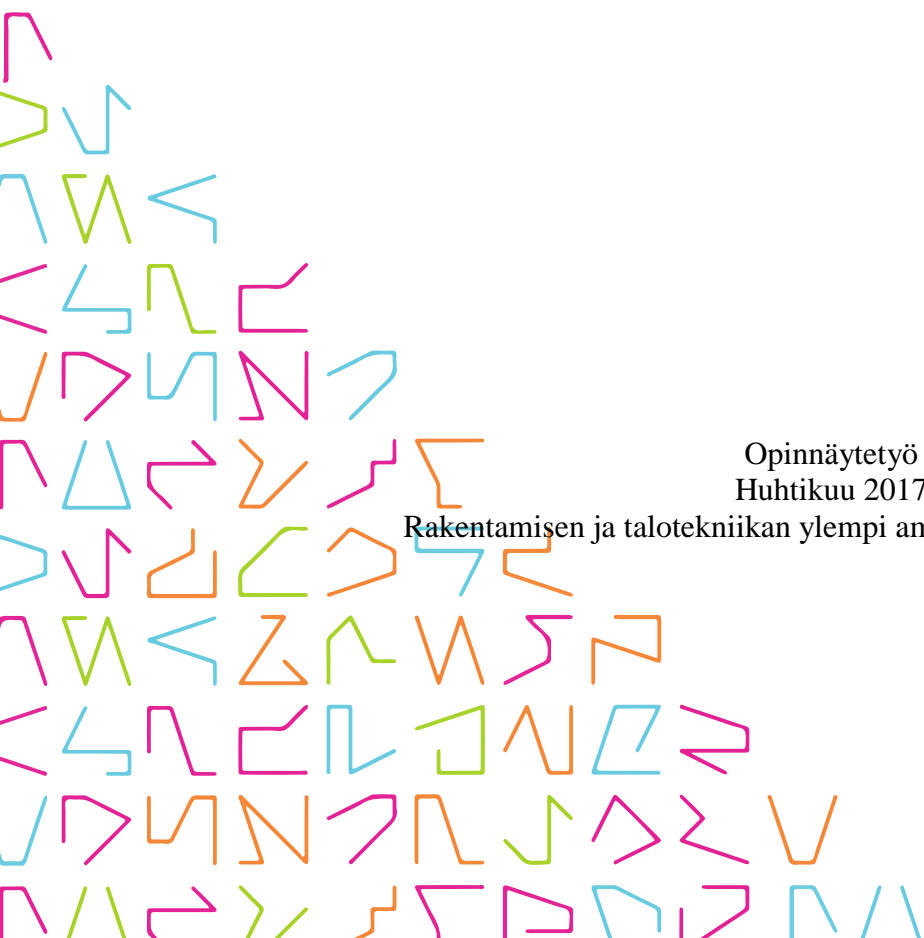
1900-LUVULLA RAKENNETTUIJEN BETONI- RAKENTEISTEN VÄLIPOHJIEN KORJAAMI- NEN NYKYTASOON KEVYTRAKENNETEK- NIKALLA

Palo-, ääni-, esteettömyys- ja energianäkökulmasta

Arto Hyttinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017

Rakentamisen ja talotekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakentamisen ja talotekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto

HYTTINEN, ARTO

1900-LUVULLA RAKENNETTUIJEN BETONIRAKENTEISTEN VÄLIPOHJIEN KORJAAMINEN NYKYTASOON KEVYTRAKENNETEKNIIKALLA

Palo-, ääni-, esteettömyys- ja energianäkökulmasta

Opinnäytetyö sivua 105
Huhtikuu 2017

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli selvittää 1900–1980-luvuilla rakennettujen betonivälipohjien korjaaminen kevytrakennetekniikalla huomioiden nykyiset palo-, ääni-, esteettömyys- ja energiavaatimukset. Pyrkimyksenä oli etsiä mahdollisemman kustannustehokkaita ratkaisuja, jolloin päädyttiin käyttämään Saint-Gobainin tuotevalikoimaa. Päädyin kevytrakenneteknisiin ratkaisuihin, joissa suojataan vanhat rakenteet. Tällöin huoneistopalon jälkeen korjataan vain kevytrakenneosat eikä jouduta välipohjien purkuun ja uusimiseen. Esimerkiksi paloluokassa EI 60 vanhan alalaattavälipohjan lisäkustannus on noin 120–160 €/m² (alv. 0%). Tämä kustannus on vain murto-osa siihen nähden, että kantavat rakenteet pitäisi uusida. Opinnäytetyössä tutkimani vanhat rakenteet eivät täytäneet nykytason teknisiä vaatimuksia ilman kevytrakenneteknisiä laajennuksia.

Lopputyön näkökulma oli selvittää vanhat ja nykyiset palomääräykset sekä äänitekniset vaatimukset. Tein huomioita vanhojen rakenteiden käyttäytymisestä ja oivalluksia, joiden perusteella lähdin parantamaan vanhojen betonivälipohjien rakennevaatimuksia.

Tulevaisuudessa ikääntyvät väestönryhmät muuttavat kasvukeskuksiin ja asuvat omissa kodeissaan. Pelastushenkilökunnan tehtävät muuttuvat tulevaisuudessa, koska ihmiset eivät enää pääse itse huoneistoista tulipalossa. Esteettömyys vaikuttaa kodin tapaturmiin, se tulee huomioida suunnittelussa sekä toteutuksessa.

Tässä opinnäytetyössäni esitetyt rakenneratkaisut kannattaa tuotteistaa käytäntöön sekä validoida ko. ratkaisut asiantuntijalausunnon avulla. Tämä opinnäytetyö antaa pohjan myös muiden rakenneratkaisujen kehitystyölle.

Avainsanat: korjausrakentaminen, palo, ääni, esteettömyys, alalaattapalkisto, energian tehokkuus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Construction and building technology, Master of Engineering

Mr. ARTO HYTTINEN

1900 CENTURY BUILDINGS OF CONCRETE INTERMEDIATE FLOORS CORRECTING CURRENT LEVEL OF LIGHTWEIGHT STRUCTURES

Fire, sound, accessibility and energy point of view

Thesis 105 pages

March 2017

Purpose of the thesis was to study the correction of 1900-1980 built concrete intermediate floors lightweight construction technique, take into account the current fire, sound, accessibility and energy requirements. The aim was to find the most cost-effective solutions, so I ended up using Saint-Gobain's product range. I ended up lightweight construction technology solutions, which protected the old structures. In this case, after the apartment fire, corrected only lightweight structural parts, and not touching demolition and replacement of the intermediate floors. For example, renovation to fire class EI 60 of the old intermediate floors is an additional cost of about 120-160 € / m² (VAT 0%). This cost is only a fraction of the fact that load-bearing structures and should be renewed. Old structures, which are examined in this thesis work, did not meet the requirements of the current level without the lightweight technical structure extensions.

The final approach of this thesis was to find out the old and current, as well as sound requirements. I made remarks on the old behavior and insight, the basis of which I left to improve the standards of old concrete intermediate floor structures.

In the future, the aging of the population groups move to growth centers and live in their own homes. Tasks of rescue personnel change in the future, because people can no longer get the apartments themselves by the fire. Accessibility also affects domestic accidents and should be taken into account in the design and implementation.

Thesis presented in this work supports the structure of the solutions into products as well as to validate the practice in question. Solutions by means of an expert opinion. This study provides a foundation for other structural solutions for development.

Key words: renovation, fire, sound, accessibility, inverted beam, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1.	Työn tausta.....	6
1.2	Rajaus, tavoitteet, tutkimusmenetelmät ja tuotokset.....	6
1.3	Rakennuskanta Suomessa ja välipohjatyyppien kehitys.....	7
1.4	Tilastotietoa eri välipohjien määrästä.....	10
1.5	Maankäyttö- ja rakennuslain velvoitteet korjausrakentamisessa.....	12
1.6	Rakennuspalojen-, palokuolemien määrät ja palojen syttymisen syyt.....	13
1.7	Huonekorkeus, tasoerot sekä kaatumisen riskit ja seuraukset.....	15
1.8	Terveydensuojelu melussa ja melun aiheuttamat terveydelliset ongelmat.....	16
1.9	Energiatehokkuus.....	19
2	1900–1950 ja 1970-LUVUN VÄLIPOHJATYYPIT.....	20
2.1.	Välipohjien liittymät ulkoseiniin, sydänmuuriin ja huoneistojenvälisiin seiniin 1910-luvulla.....	24
2.2.	Välipohjien liittymät ulkoseiniin, sydänmuuriin ja huoneistojenvälisiin seiniin 1920-luvulla.....	27
2.3.	1930-luvun rakenteet tiilirunkoisessa asuinkerrostalossa.....	30
2.4.	1940-luvun lopun rakenteet betonipilarirunkoisia asuinkerrostalossa.....	33
2.5.	1970-luvun BES-runkojärjestelmän rakenteet asuinkerrostalossa.....	35
2.6.	Ontelolaatan taipuma palossa.....	39
3	VANHOJEN VÄLIPOHJARATKAISUJEN OMINAISUUDET.....	41
3.1.	Välipohjarakenteiden rakennusfysikaaliset seikat 1900–1980.....	41
3.1.1	Betonirakenteiden kehitys ja lujuusarvot.....	41
3.1.2	Teräksen kehitys ja lujuusarvot.....	43
3.1.3	Ääniarvojen vaatimukset ja rakenteet 1900-luvulla.....	49
4	BETONIVÄLIPOHJIEN PALOFYSIKAALLISET SEIKAT.....	54
4.1.	Palomääräysten kehitys 1900-luvulta nykypäivään.....	54
4.2.	Betonirakenteiden palotestaus ja huoneistopalo.....	56
4.3.	Betonimateriaalin käyttäytyminen palossa.....	59
4.3.1	Betonin peitepaksuuden tutkiminen ja määrittäminen.....	62
4.3.2	Betonirakenteen paksuuden määrittäminen ja betonipeitteen antama suojaus paloa vastaan.....	63
4.3.3	Betonirakenteiden taipumat sekä lohkeilut palossa.....	68
4.4.	Välipohjien palomitoitus lattiapinnan rakenteesta alaspäin.....	69
4.4.1	Palokuorman lisäys alalaattapalkistojen kohdalla.....	72
4.4.2	Palon kehitys lattiassa alaspäin palaviin täytteisiin sekä muita riskejä.....	73
4.5.	Palon todennäköisyys ja palokunnan valmiusnopeus eri paikkakunnilla.....	77

5	VÄLIPOHJIEN KORJAUKSIEN PERUSTEET	82
5.1.	Paloasiat ja ääniasiat rakenteissa	82
5.2.	Esimerkkikohteita vanhojen välipohjien esteettömyys- ja ääniratkaisujen osalta	85
5.3.	Debel asennuslattiajärjestelmän käyttö alalaattapalkistovälipohjissa.....	88
5.4.	Palon siirtyminen alaspäin välipohjissa	89
5.5.	EI 30 ja K ₂ 30 rakennevaihtoehdot	91
5.6.	EI 60 rakennevaihtoehdot	92
5.7.	EI 90 rakennevaihtoehdot	92
5.8.	.EI 120 rakennevaihtoehdot	93
6	VÄLIPOHJIEN KORJAUKSIEN RAKENNERATKAISUT	94
6.1.	Elementtirakenne ja muut vaihtoehdot	94
6.2.	Kustannusvertailut vaihtoehtojen välillä.....	95
6.3.	Korjausratkaisu 1900–1915 välipohjaan.....	100
6.4.	Korjausratkaisu 1920–1940 välipohjaan.....	101
6.5.	Korjausratkaisu 1940–1950 välipohjaan.....	102
6.6.	Korjausratkaisu 1970–1980 välipohjaan.....	103
6.7.	Korjausratkaisu 1970–1980 välipohjaan.....	104
7	POHDINTA.....	105
	LÄHTEET.....	106

1 JOHDANTO

1.1. Työn tausta

Lähtökohtana lopputyössäni on esittää korjausrakennerratkaisuja, jotka ovat toteutettavissa kevytrakennetekniikalla eri vuosikymmenten betonivälipohjiin. Työn tausta on nykyinen toimenkuvani kehittää eteenpäin rakennerratkaisuja, joissa yhdistyy kaupallisen näkökulman lisäksi yhteiskuntaa hyödyntävät arvot.

1.2 Rajaus, tavoitteet, tutkimusmenetelmät ja tuotokset

Tämä lopputyö pyrkii esittämään 1900-luvulla rakennetuille korjausrakennerratkaisut alalaattapalkistoille, esijännitetyille U-laatoille (tuotenimi Nilcon) ja ontelolaatoille. Rajauksena työlleni on se, ettei esitettyjä rakennerratkaisuja polteta akkreditoitussa testauspaikoissa, vaan esitetään muiden polttokokeiden ja mitoitusmenetelmien perusteella rakenteiden toimivuus. Lopputyöni hyödyntää koko rakennusalaan, materiaaliteollisuutta sekä loppukäyttäjien esim. asumisviihtyvyyden ja -turvallisuuden parantumisella. Tämä lopputyö luo myös tarpeita lisäselvityksille liittyen testaukseen ja rakenteiden kokonaisuusien tutkimuksiin mm. palotilanteissa.

Vanhojen välipohjaratkaisujen korjauksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon betonirakenteiden paloluokitus- ja mitoitus, ääniasiat, rakennusfysikaaliset haasteet, esteettömyys (korkotasoerot huoneistoissa ja porraskäytävillä), rakenteiden stabiilius ja kustannus- sekä aikatauluvaihtoehdot. Paikallisella rakennusviranomaisella on myös merkittävä rooli vaadittaessa korjauskohteelle turvallisuutta esimerkiksi ääneneristävydestä. Pääallekkäin olevien huoneistojen väliseen ääneneristykseen ja palonkestoon vaikuttavat muutkin rakenteet kuin pelkät välipohjat. Rakennekokoisuuteen vaikuttaa kantavat pystyrakenteet (seinät, pilarit yms.), ulkoseinät, huoneistojen väliset seinät, ovet sekä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät (esim. Nilcon elementin sisällä ilmanottoaukot). Rakenteiden toimivuuteen vaikuttaa myös kaikkien liitoksien tiiveys niin palossa kuin äänessäkin. Edellä mainittuja asioita on selvitty/esitetty erilaisista kirjallisuudesta, tutkimuksista ja testauksista saaduissa tiedossa.

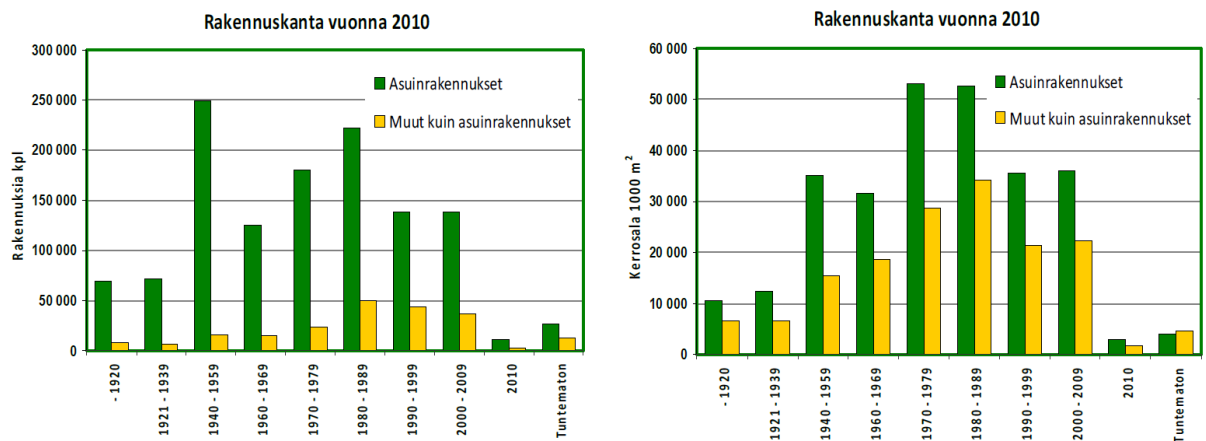
Betonin palomitoituksessa on hyödynnetty SFS-EN 13381-3 testausstandardia, jota käytetään betonin rakenteellisessa palonkestossa laatoille ja palkeille. Tämä standardi yhtenäistetään vielä Eurokoodin kanssa, josta itselläni on viimeisin tieto paloseminaarista 17, vuodelta 2015. Tämän lisäksi on hyödynnetty kevytrakentamisen osalta testausstandardien EN 1364-2:1999-Part 2: Ceilings – Kantamattomat katot ja EN 1365-2:2014 kantavat väli- ja yläpohjat mukaisia testaustuloksia lämpötilojen osalta. Betonin käyttäytymisestä palossa on selvitetty tutkimuksilla, testeillä sekä väitöskirjatutkimuksilla.

Tässä lopputyössä esitetään myös käytännössä tehtyjä korjaussuunnitelmia ja niistä saatuja tuloksia esim. äänieristyvyyden osalta. Esitän myös tutkimusmenetelmiä betonisuojakerroksen paksuuden määrittämiseen ja korroosioasteen selvitykseen raudoituksesta.

Tämän lisäksi tulevat intressit rakennuttajalta ja yhteiskunnalta. Ne pitää ottaa myös kokonaisuuden takia huomioon, ja näitä asioita on sivuttu sekä otettu huomioon siinä laajuudessa kuin on ollut mahdollista.

Lopputyöni tuloksina esitän rakennetyypit välipohjista, jotka täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain tekniset vaatimukset 117§ mukaan nykytasolle tai olemassa olevien rakenteiden osalta. Tämän lopputyön käyttäjälle jää vastuu aina selvittää, soveltuuko esitetty ratkaisu rakennuskohteeseen sekä huomioida esim. seinien liittymät, jotka ovat rajattu tämän lopputyön ulkopuolelle.

1.3 Rakennuskanta Suomessa ja välipohjatyypien kehitys



Kaavio 1. Rakennuskannan kehitys Suomessa /1/.

Rakennekannan kehitys muodostuu olosuhteista, jotka syntyvät yhteiskunnan kehityksestä, muutoksista ja vaikutteista. Kehitykseen on myös vaikuttanut kulttuuriset virtaukset ja rakentamisen kehitys eri vuosikymmenillä sekä teknologian hyväksi käyttäminen esim. työmaatekniikassa, rakennusmateriaaleissa ja rakennustekniikassa. Rakentamista säätelevät määräykset ja niiden muuttuminen kaupunkien rakennusjärjestyksestä asemakaavalakiin, rakennussäännöstöön ja rakennusnormeihin ovat olleet pohjana palo-, ääni- ja rakenteiden tekniikan kehitykseen. Rakennusmateriaalien jakelulogistiikan kehityksellä on ollut myös vaikutus kaupunkien kehitykseen siten, että rannikkoalueilla kehitys on ollut nopeampaa kuin sisämaassa. Logistiikan kehitykseen on vaikuttanut rautatieverkon ja maanteiden rakentaminen, vesiliikenteen muuttuminen sekä eri logistiikkavälineiden kehitys vuosikymmenten aikana.

Yhteiskunnan kehitys liittyy myös opetuksen järjestämiseen. Ensimmäinen järjestelmällinen rakennusmestarikoulutus alkoi 1881 Helsingissä. Opetus laajeni, ja valtio perusti teollisuuskouluja: Helsinki (1886), Tampere (1886), Kuopio (1886), Turku (1887), Vaasa (1887), Viipuri (1898) ja Oulu (1899) /10/. Rakennusmestarikoulutus loi perustan työmaajohdolle, suunnittelulle ja gryndaukselle sekä rakennusliikkeiden syntymiselle Suuriruhtinaskunnassa ja itsenäisessä Suomessa. /10./

Suomen suuriruhtinaskunnassa kaupunkilaistuminen alkoi hitaasti 1800 -luvulta lukien, jolloin teollinen vallankumous alkoi kehittyä. Tämän takia yhteiskunta alkoi muuttua agraarista moderniin yhteiskuntaan ja samalla luomaan työpaikkoja teollisuuden eri aloille ja palveluihin. 1860-luvulla olevat nälkävuodet pakottivat ihmiset maaviljelyn parista myös muihin ammatteihin. Kaupunkityöväen määrä kasvoi nopeasti, vuonna 1870 kaupunkityöväestöä perheineen oli 150 000 henkeä ja vuonna 1910 henkilömäärä oli 608 000 /3/. Ensimmäiset kerrostalot tulivat Helsinkiin vuonna 1870 ja hieman myöhemmin Tampereelle sekä Turkuun noin 1880 -luvulla. Vuonna 1895 tuli voimaan Helsingin rakennusjärjestys, joka rajasi kerrosluvut 4–5 kerrokseen rakennuksissa. Tällöin välipohjarakenteet olivat puukannatuksella tai I-palkeilla sekä rataakiskoilla noin vuoteen 1920 asti /2,4/.

Alalaattapalkistoa alettiin käyttää 1910-luvun alussa ja se vakiintui välipohjatyypinä 1920-luvun alussa yleisimmäksi ratkaisuksi kerrostalorakentamisessa. Tämä välipohjatyypin oli käytössä jopa 1950-luvun alkuun asti. /10./

Rakennusmestari Jalo N. Syvähuokon rautabetoniliike oli erikoistunut välipohjien urakointiin Helsingissä 1910–1932. Vuoteen 1930 mennessä hänen yrityksensä oli tehnyt välipohjaurakointia 1,5 milj. m² ja samalla kehittänyt pitkälle työmenetelmiä, joissa välipohjapalkkien muotit sekä raudoitus oli varastolla tehty valmiiksi. Tämä esivalmistusaste lyhensi työmaalla käytettyä rakennusaikaa ja loi nopeamman prosessin välipohjien tekoon. /10./

Kaksoislaattapalkkisto oli käytössä asuinkerrostaloissa vuosina 1920–1930. Se yleistyi myös toimistoihin, liikerakennuksiin ja virastoihin. Taloudellisen kehityksen katkaisi 1930–1935 välinen lamakausi, joka vaikutti jopa 6 %:iin väestöstä siten, että heitä piti avustaa toimeentulossa. Vuonna 1932 työttömyyshieman periaateohjelmalla työllistettiin työttömät yleisiin töihin. /5./

Massiivista rautabetonilaattaa käytettiin 1935–40 ja 1950-luvulta eteenpäin. Esimerkki tuli aluksi Ruotsista 1930 -luvulla ja toinen maailmansota aiheutti materiaalipulan, joka kesti Suomessa 1950 luvulle asti. Materiaalipula yhdistettynä väestön kasvuun nousuun loi paineita pitää asunto- ja rakenneratkaisut yksinkertaisina. Rakenneratkaisut olivat työpainotteisia, terästä sekä betonia säästettiin. Materiaalipula-aika vaikutti myös alalaatta välipohjan kehitykseen, haettiin halvempia rakenteita myös ulkoseinissä. Materiaalipula-ajasta johtuen kaksoislaattapalkkistoa käytettiin pääsääntöisesti ainoastaan ensimmäisen asuinkerroksen ja liiketilän välipohjaratkaisuna. Kun materiaalipula hellitti, massiivisen rautabetonilaatan eduksi tuli muottilaudoituksen pienempi määrä ja sekä ohuempi kokonaiskorkeus alalaattapalkkistoon verrattuna. /4./

1950-luvun massiivilaatta ei toiminut niin hyvin askeläännessä kuin alalaattapalkkisto. Tämän takia asiaa pyrittiin korjaamaan uivalla laattalla, jossa kahden betonilaatan välissä oli eristekerros. Ääneneristekerroksen materiaalina käytettiin lastuvillalevyä, seulotua ”ruukinporoa”, lasivillaa, kovalevykorkkia, sahanpurubetonia tai hehkutettua hiekkaa. Ääneneristeen päälle tehtiin erikseen vielä valueriste seuraavista materiaaleista: tervapaperi, tervahuopa, bitumihuopa, voimapaperi, oksamassapahvi tai pinkopahvi. /4./

1960-luvun loppuun asti paikalla valettu massiivinen teräsbetonilaatta oli yleisin asuin- ja kerrostaloissa. Työsaavutuksen säästöä haettaessa välipohjan paksuus oli jopa 190 mm teräsbetonia, jonka pinnassa oli vain ohut tasoitekerros. Uivista lattiarakenteista luovuttiin kustannussyistä sekä pintalaatan käyristymisen takia, kun betonimassa kuivui

laatan pinnasta eritavoin kuin alapinnastaan. Jossakin määrin 1960–70 luvulla myös käytettiin massiivisia välipohjaelementtejä. /4, 11./

BES-järjestelmä 1970-luvulla toi mukanaan markkinoille esijännitetyt välipohjaratkaisut. Näitä oli U-laatta ja ontelolaatta. Raudoituksen muodostivat betonilaatan alapinnassa esijännitysvaijerit. Ontelolaatan valmistus alkoi 1970-luvun alussa ja U-laatan (Nilcon) vuonna 1971. Ontelolaatta syrjäytti markkinoita Nilconin vuoteen 1983 mennessä. Nilcon oli Polarin ja Puolimatka rakennusliiketoimittajien käyttämä sekä valmistama välipohjatyyppejä. /4./

1.4 Tilastotietoa eri välipohjien määristä

Rakennuksen Käyttötarkoitus	Kerros- ala 1000 m ²	Rakentamivuosisuokan kerrosalan osuus koko kerrosalasta %									
		- 1920	1921 - 1939	1940 - 1959	1960 - 1969	1970 - 1979	1980 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010	Tunte- maton
Kaikki rakennukset	434 280	4,0	4,4	11,7	11,6	18,8	20,0	13,1	13,4	1,1	2,0
Asuinrakennukset	274 024	3,9	4,5	12,8	11,6	19,4	19,2	13,0	13,2	1,1	1,4
A1 Erilliset pientalot	151 859	5,2	4,9	17,0	9,3	14,5	19,2	12,5	14,3	1,2	1,9
A2 Rivi- ja keijutalot	32 454	0,9	0,5	1,5	5,8	23,3	35,3	17,6	13,2	0,7	1,0
A3 Asuinkeijutalot	89 711	2,7	5,4	9,8	17,6	26,1	13,4	12,1	11,1	1,0	0,8
Muut kuin asuinrakennukset	160 256	4,1	4,1	9,7	11,6	17,9	21,3	13,4	14,0	1,1	2,9
C Liikerakennukset	26 744	2,6	3,2	7,3	10,4	18,0	21,3	13,0	20,1	1,6	2,4
D Toimistorakennukset	18 758	8,8	6,0	10,7	11,1	16,1	21,4	10,3	12,5	0,8	2,2
E Liikenteen rakennukset	11 700	1,4	1,9	5,1	9,0	13,2	25,2	22,8	17,5	1,5	2,5
F Hoitoalan rakennukset	10 521	5,6	7,3	13,8	13,4	16,5	19,4	12,5	8,1	1,4	2,1
G Kokoontumisrakennukset	8 800	10,1	6,4	9,0	8,8	14,1	20,7	14,9	12,0	1,1	2,8
H Opetusrakennukset	17 601	5,9	6,2	20,9	19,3	16,3	13,2	7,3	8,2	0,4	2,3
J Teollisuusrakennukset	46 105	2,8	3,6	8,8	12,5	22,7	22,7	12,8	9,9	0,7	3,6
K Varistorakennukset	18 093	1,1	1,2	4,3	6,6	15,5	24,0	18,1	24,3	1,9	3,1
L,N Muut rakennukset	1 933	5,7	4,7	10,0	9,1	10,8	21,3	15,0	14,0	1,0	8,4

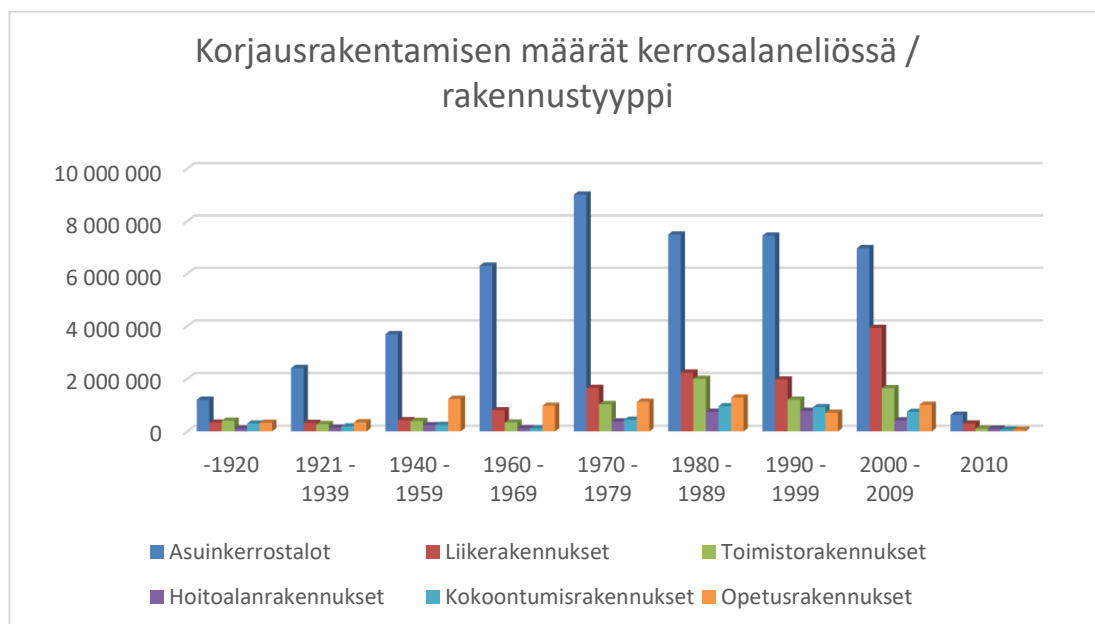
Tilasto 1. Rakennuskannan ikä ja määrät eri rakennustyypeillä /1/.

Tilastossa 1 on esitetty rakennuskanta ja sen kehitys Suomessa. Tämän tiedon perusteella pystymme karkeasti arvioimaan, mikä on korjaustarve, kun tiedetään korjatun rakennuskannan laajuus.

Kaikkeä esitettyä neliömäärää rakennuksista ei korjata, vaan osa puretaan pois asemakaava-alueilta tai rakennuksia jää tyhjilleen, kun ihmiset muuttavat työmahdollisuuksien takia kaupunkeihin (modernista yhteiskunnasta post-moderniin).

Myös rakennusten käyttötarkoitukset muuttuvat, jolloin muutostarpeet määrittelevät rakennuksen teknisen tason ja sen myötä korjaustoimenpiteet. Esitän kaaviossa 2 arvon korjaustarpeesta vuodesta 2016 lukien. Lukujen takana on lähde yksi sekä Building Post-Growth Quantifying and Characterizing Resources in the Building Stock - väitöskirja (2016), jossa normaalijakautumasta on arvioitu kraktisesti 82% todenäköisyydellä rakennusmassat. Tämän lisäksi olen huomionnut noin 6% keskihajonnan ilmoitettuihin lukuihin. /9./

Korjauskehitys vuodesta 2010 eteenpäin rakennustyypeittäin eri paikkakunnilla on kehittynyt sen mukaan, millainen on rakennuskanta ko. paikkakunnilla sekä niiden tekninen laatutaso.



Kaavio 2. Arvio korjausmääristä rakennuskannassa vuonna 2016 /1/.

Kun analysoi lukuja kaaviossa 2 olevasta pylväsdiagrammista, niin asuinkerrostalot ja opetusrakennukset ovat selkeä kohderyhmä. Kun kaaviossa 2 esitetyt kohdistetaan välipohjatyypittäin kerrosneliö määrät, saadaan seuraavat määrät esitettyä taulukossa 1.

Taulukko 1. Arvioidut korjausmäärät kerrosalaneliöissä/välipohjatyypittäin

Kaksoislaatta- ja alalaattapalkistoa (arvio) yhteensä	11,3	kerrosala milj. m ²
Massiivinen betonilaatta (arvio) yhteensä	6,2	kerrosala milj. m ²
Nilcon välipohjaelementti (arvio) yhteensä	6,0	kerrosala milj. m ²
Ontelolaatta (arvio) yhteensä	43,0	kerrosala milj. m ²

1.5 Maankäyttö- ja rakennuslain veloitteet korjausrakentamisessa

Monella rakennuttajalla ei ole tietämystä maankäyttö- ja rakennuslain asetuksista, mitä veloitteita niissä esitetään rakennushankkeeseen ryhtyvälle kohdissa 117 a–117 g §. Tämän tutkimustyön lähtökohtina ovat maankäyttö- ja rakennuslain asetukset, jotta tämän tutkimustyön tulokset saadaan siirrettyä käytäntöön tai jatkokehittelyyn.

Lähtökohta /6/.

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava ja rakennuksen muutos- ja korjaustyöt tehtävä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutos toteutettava siten, että rakennus täyttää siihen yleisesti ennakoitavissa oleva kuormitus ja rakennuksen käyttötarkoitus huomioon ottaen 117 a-117 g §:ssä tarkoitettujen olennaiset tekniset vaatimukset.

117 b § Paloturvallisuus /6/.

- Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi.
- Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen.
- Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan.

117 e § Esteettömyys /6/.

- Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus ja sen piha- ja oleskelualueet suunnitellaan ja rakennetaan niiden käyttötarkoituksen, käyttäjämäärän ja kerrosluvun edellyttämällä tavalla siten, että esteettömyys ja käytettävyys otetaan huomioon erityisesti lasten, vanhus- ja vammaisten henkilöiden kannalta tasoeroista asuinrakennuksen ulkona ja sisällä;

117 f § Meluntorjunta ja ääniolosuhteet /6/.

- Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että meluallistus ja ääniolosuhteet eivät vaaranna terveyttä, lepoa tai työntekoa.
- Rakenteilta ja rakennusosilta edellyttävästä ääneneristävyvyyden vaatimuksen täyttyvyys;

117 g § Energiatohokkuus /6/.

- Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan

energiatehokkaaksi siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu sääste-
liäästi.

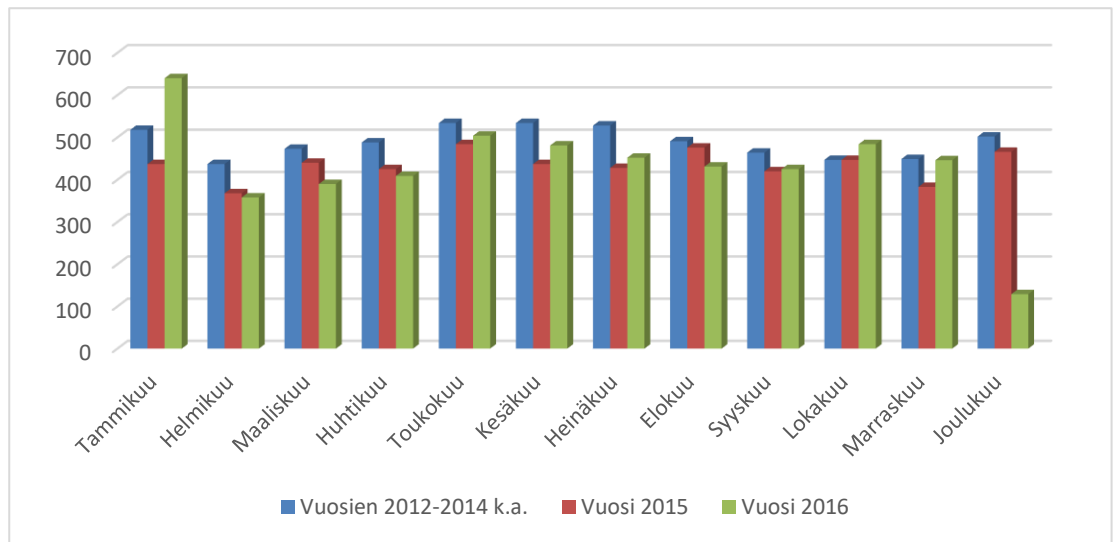
Suomen rakennusmääräyskokoelmassa on tällä hetkellä vaateet rakenteil-
le/rakennusosille, joita maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttävät esim. kantavuudelta,
palolta ja ääneltä. Korjausrakentamisessa on hyvä saada kokonaiskäsitys, jolloin myös
vanhat vaatimukset ja määräykset on hyvä ottaa suunnittelun lähtökohdaksi. Tämän
takia tässä lopputyössä on esitetty ko. asiat vanhojen rakenteiden yhteydessä. Esittämis-
säni korjausratkaisuissa, ei ole huomioitu seuraavia seikkoja määräysien muuttuessa
asetuksiksi vuoteen 2018 mennessä:

- Askeläänen ($L'_{n,w}$) mittauksien Hz taajuuden muutos ja laajennus siten, että
mittaustestin alin taajuus on 50 Hz. Nykyään vielä mitataan 100 Hz kohdalta,
jolloin ei oteta huomioon matalataajuuksia, jotka esiintyvät voimakkaan kanta-
pää kävelyn tai pomppimisen yhteydessä. Tämä huonontaa $L'_{n,w}$ arvoja pa-
himmillaan jopa 10 dB välipohjan osalta. Tämä on ennakkotieto asetuksen teke-
vältä muutostyöryhmän akustikoilta.
- Palomääräysten muutokset, joita ympäristöministeriö on tehnyt jo 3–4 vuotta.
Luonnos on saatu lausunnon ja erittäin lyhyt vasteaika loppui 10.2.2017. Tämä
tarkoittaa sitä, ettei ministeriö ole varautunut muuttamaan luonnostaan, jolloin
oletusarvo on, että käytän luonnosta tässä tutkimustyössäni hyväksi olemassa
olevan E1 rinnalla.
- Siirtymäkauden pituus asetuksen voimaantulosta on aina merkittävä ja se liittyy
rakennusvalvontaan sekä rakentamiseen /7/. Joten vuoden 2017 rakennusluvut ja
rakentaminen tapahtuu vuoden 2022 loppuun mennessä vanhoilla määräyksillä.
Tämä aiheuttaa yleensä pientä sekaantumista kohteissa, kun otetaan huomioon,
että asetuksissa on vielä siirtymäaika.

1.6 Rakennuspalojen-, palokuolemien määrät ja palojen syttymisen syyt

Kaavio 3 sisältää hätäkeskuksille ilmoitetut onnettomuudet ja tapahtumat, joihin pelas-
tustoimi on osallistunut, seuraavasti:

- Tilasto sisältää rakennuspalot ja rakennuspalovaarat.
- Rakennuspalot/rakennuspalovaarat on tilastoitu nykyisellä jaottelulla vasta
vuodesta 2009 lähtien.



Kaavio 3. Rakennuspalot/rakennuspalovaarat kuluvana, edeltävänä ja aikaisempina vuosina, koko maa/15/.

Yhteensä rakennuspaloja ja -vaaroja oli vuonna 2015 yhteensä 5211 kappaletta ja vuosina 2012–2014 keskimäärin 5865 kappaletta. Vuoden 2016 tilastointi on kesken, mutta 11.12.2016 mennessä kokonaisluku on 5149 kappaletta. Hälytykset ja riskitekijät jakautuvat Suomessa asukastiheyden mukaan.

Suomessa palokuolemien määrä on korkea suhteessa muiden Länsi-Euroopan ja Pohjoismaiden palokuolemiin. Ikääntyvien ikäluokan kasvaessa palokuolemien määrän on ennustettu Suomessa edelleen kasvavan, jos tilanteeseen ei yhteiskunnan puolelta puututa esim. aktiivisten / passiivisten ennaltaehkäisyn osalta.

Palosta aiheutuvien tapaturmaisten kuolemien osuus on noin 80 % ja loput ovat ns. selittämättömiä tapauksia. Tavallisin tulipalon aiheuttama kuolinsyy on savukaasut ja etenkin häämyrkytys. Vuosittain tapahtuu keskimäärin 80 tulipalokuolemaa. Savukaasukuolemien ja häämyrkytyksien aiheuttaa se, ettei uhri pääse poistumaan tilasta missä palo on syttynyt. /16./

Tulipalossa syttymisen jälkeen olosuhteet ovat ihmiselle hengenvaaralliset jo muutamassa minuutissa, koska savukaasut ovat hyvin myrkyllisiä ja ne aiheuttavat nopeasti tajunnan menetyksen. Myrkkykaasut sitoutuvat verenkiertoon nopeammin kuin tilasta syrjäytyvä ilmaseos. Tämän takia nopea poistuminen tilasta on elintärkeää.

Puolet palokuolemista tapahtuu ennen vuotta 1960 rakennetuissa asuinrakennuksissa, näistä yli puolet pientaloissa. Kuolinpalo syttyy useimmiten olohuoneessa, makuuhuoneessa syttyneiden palojen osuus on vähentynyt vuosittain. /34./

1.7 Huonekorkeus, tasoerot sekä kaatumisen riskit ja seuraukset

Asuinhuoneen huonekorkeuden tulee olla vähintään 2500 mm. Asuinhuoneen vähäisen osan huonekorkeus voi olla edellä sanottua pienempikin, ei kuitenkaan alle 2200 mm. Jos huoneen sisäkatto poikkeaa vaakasuorasta, huonekorkeus määritetään huonealan keskikorkeutena. /12./

Asuntojen esteettömistä kulkuyhteyksistä on määräyksiä ja ohjeita asuntosuunnittelua koskevassa asetuksessa (RakMk G1 2005). Asuinkerrostaloja koskeva keskeinen määräys on velvoite rakentaa hissi, mikäli kerroksia on kolme tai sitä enemmän. Hissiyhteyden on lisäksi ulotuttava ullakolle ja kellarikerrokseen, mikäli niissä on asumista palvelevia tiloja. /13./

Korjauskohteissa tämä tarkoittaa sitä, että vanhoja tasoeroja ei saa tehdä isommaksi, pikemminkin niitä tulisi pienentää.

Tämä on yhden ulkoisen riskitekijän minimointia, kaatumiseen vaikuttaa myös sisäiset vaaratekijät, kuten taulukossa 2 on esitetty /14./

Taulukko 2. Kaatumisen sisäiset vaaratekijät

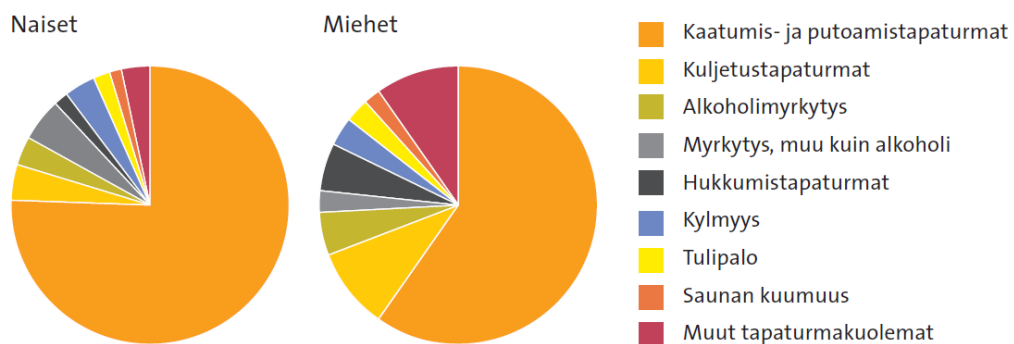
• Korkea ikä	• Alhainen BMI
• Naissukupuoli	• Monilääkitys (4+)
• Kaatumishistoria	• Psykyllinen lääkehoito
• Lihasheikkous	• Runsas alkoholin käyttö
• Tasapainovaikeudet	• Kipu
• Heikentynyt liikkumis- ja toimintakyky	• Masennus
• Apuvälineiden käyttö	• Parkinsonin tauti
• Heikentynyt näkö	• Epilepsia, halvaus
• Alentunut kognitio	• Huimaus tai ortostaattinen hypotonia
	• Inkontinenssi
	• Diabetes

Ulkoisten ja sisäisten vaaratekijöiden tulona syntyy kaatumisriski, jonka seuraukset ovat riippuvaisia kaatumisen voimakkuudesta sekä myös kaatujan luustoa heikentävistä tekijöistä. Edellä mainituista asioista syntyy luun/luiden murtumariski, joka muodostuu murtumaksi luuhun kohdistuvan voiman ja luun lujuuden osamääränä.

Iäkkäiden henkilöiden kuolemaan johtaneista tapaturmista valtaosa on kaatumisia. Miesten tapaturmakuolemista 65% ja naisten vastaavasti 77% aiheutuu kaatumisesta. Tapaturmaisesti kuolee vuosittain noin 1 300 yli 65-vuotiasta suomalaista. /14./

Esteettömällä kodilla on merkitystä tapaturmissa. Hyvin suunnittelussa keittiöissä ei tarvitse nousta ylös jakkaralle, keittiötuolille tai vastaavalle. Kätevät ratkaisut ovat esim. seinällä käännettävät aputasohyllyt, joissa on turvamekanismit.

Kaatumiset ja putoamistapaturmat ovat merkittäviä tekijöitä ikääntyvien ihmisten kuolemaan johtavista syistä, jopa suurempi osuus kuin tulipalosta johtuvat kuolemat.



Kaavio 4. Tapaturmaisesti kuolleet 65 vuotta täyttäneet vuonna 2010 /14/.

Lonkkamurtumapotilaan hoidon keskimääräiset kustannukset murtumaa kohti ovat 19 150 euroa/potilas/vuosi (v. 2010 kustannustason mukaan). Ennen murtumaa kotonaan asunut iäkäs henkilö ei pääse enää takaisin kotiin vaan, joutuu pysyvästi laitoshoidon. Hoitokustannukset ensimmäisenä vuotena ovat arvioilta 47 100 euroa/henkilö (v. 2010 kustannustason mukaan). Tähän arvioon sisältyvät kaikki murtuman hoitoon ja kuntoutukseen liittyvät kustannukset, kuten leikkaushoito, sairaalahoito, jatkohoito, apuvälineet, kotiapu ja lääkehoito. Lonkkamurtuman saaneista iäkkäistä jopa 13% joutuu pysyvästi hoitolaitokseen ja yli kolmasosa kuolee vuoden sisällä tapahtumasta. /14./

1.8 Terveydensuojelu melussa ja melun aiheuttamat terveydelliset ongelmat

RIL 243 julkaisusarja esittää teoreettisesti ja käytännössä äänen mittaustavat sekä laskennan. Sama julkaisusarja esittää esim. puheen häiritsevyyden merkityksen sekä laskennan. Täällä hetkellä SFS 5907 standardi Rakennusten akustinen luokitus, täydentää

RakMk C1 määräyksiä ja ohjeita. Ulkopuoliseen meluun, kuten tieliikenne- ja lentome-luun nähden ympäristöministeriön julkaisu 108 antaa määräykset sekä ohjeet julkisivu-jen ääneneristyksen mitoittamiseen. Edellä mainittuja perusasioita en käsittele tässä lop-putyössäni. Ohjeita ja määräyksiä löytyy valtioneuvoston päätöksistä ja ohjeistuksista sekä Eutasolla.

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut terveydensuojelulain nojalla ase-tuksen (545/2015) asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisistä olosuh-teista. Terveydellisillä olosuhteilla tarkoitetaan asunnon tai muun oleske-lutilan fysikaalisia (esim. lämpötila, kosteus, ilmanvaihto, melu), kemialli-sia (esim. hiilidioksidit, häkä, formaldehydi) ja biologisia (esim. mikrobi-kasvustot) olosuhteita. /19./

Taulukko 3. Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen toimenpiderajat asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa /20/.

<i>Huoneisto ja huonetila</i>	<i>Päiväajan keskiäänitaso</i> <i>L_{Aeq} (klo 7–22)</i>	<i>Yöajan keskiäänitaso</i> <i>L_{Aeq} (klo 22–7)</i>
<i>Asuinhuoneistot, palvelutalot, van-haikodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat</i>		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
<i>Kokoontumis- ja opetushuoneistot</i>		
huonetila, jossa edellytetään yleis-ön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
<i>Työhuoneistot (asiakkaiden kan-nalta)</i>		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toi-mistihuoneet	45 dB	-

Päiväajan (klo 7–22) pienitaajuiselle melulle sovelletaan 5 dB suurempia arvoja kuin taulukossa 4.

Taulukko 4. Pienitaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat nukkumi-seen tarkoitetuissa tiloissa /20/.

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Yöajan (klo 22–7) L _{eq,1h} /dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

Taulukossa 3 mainittuja asuinhuoneita ja oleskelutiloja ovat seuraavat: asunnon, palvelutalon, vanhainkodin ja lasten päiväkodin oleskeluun tai nukkumiseen tarkoitettut tilat. Muina asunnon tiloina pidetään yleensä tiloja, joissa ei oleskella pitkiä aikoja, kuten kylpyhuonetta, saunaa, vaatehuonetta tai apukeittiötä. Jos tällainen muu aputila tai keittiö muodostaa yhteistilan asuinhuoneen tai oleskelutilan kanssa, melutason toimenpiderajana käytetään asuinhuoneen ja oleskelutilan arvoja /20/.

Nukkumiseen tarkoitettujen tilojen osalta on otettava huomioon keskiäänitasovaatimusten ($L_{Aeq,07-22\text{ h}} \leq 35\text{ dB}$ ja $L_{Aeq,22-07\text{ h}} \leq 30\text{ dB}$) lisäksi myös 2 ja 3 momentissa (545/2015) 12§ säädetty erilliset toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle ja yöaikaiselle mahdollisesti unihäiriötä aiheuttavalle selvästi taustamelusta erottuvalla melulle ($L_{Aeq,1\text{ h}} \leq 25\text{ dB}$). /20./

Esimerkiksi yöaikainen tuulivoimaloiden tai ilmastointilaitteiden /ilmapumppujen ulkoa sisään kuuluva ääni vastaa melua. Tämä voi aiheuttaa unihäiriöitä, etenkin jos amplitudimodulaatio (sykintä) on kuulohavainnoin selvästi erotettavissa ja taustamelu erittäin hiljaista. Mittaustuloksiin ei tehdä kapeakaistaisuus- eikä impulssimaisuuskorjauksia tapauksissa, joissa niitä verrataan taulukon 4 toimenpiderajoihin. /20./

Terveystarkastajat yms. viranomaiset noudattavat melun osalta Valviran ohjetta, Asuimisterveysasetus (545/2015) 11–13 §. Viranomaiset voivat evätä rakennuksen käyttöönoton jos se ei täytä vaatimuksia meluntorjunnan osalta eikä melun lähdeä pystytä poistamaan tai rajoittamaan. Vanhoilta rakennuksilta ei voida edellyttää nykyisten rakentamismääräysten, eli Suomen rakentamismääräyskokoelman C1, mukaista ääneneristystasoa. Jos esimerkiksi normaali puhe kuuluu selvänä ja ymmärrettävänä huoneistosta toiseen, on ääneneristävyys todennäköisesti niin huono, että sitä voidaan pitää terveyshaittana /19./

Melun aiheuttamat terveysvaikutukset ovat monisyisiä. Niistä on tehty erilaisia tutkimuksia niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Yleisin tekijä tutkimuksissa oli häiritsevyys, joka johtui yleisimmin ympäristömelun vaikutuksista. Häiritsevyys on havainnon kaltainen, kielteinen kokemus tai tuntemus, epämiellyttävä sekä ei-toivottu. Häiritsevyyteen sisältyvät sekä melun vaikutukset henkilön toimintaan ja käyttäytymiseen että melun aiheuttama epämiellyttävyys ja hermostuminen henkilössä. Melun häiritsevyydenaste lisääntyy äänitason kasvaessa. /21./

Melu on yksi merkittävimmistä unta/lepoa häiritsevistä ulkoisista tekijöistä. Melutapah-
tummat voivat vaikeuttaa koko nukkumisprosessia, kuten häiritä nukahtamista tai herättää
kesken unen /21/.

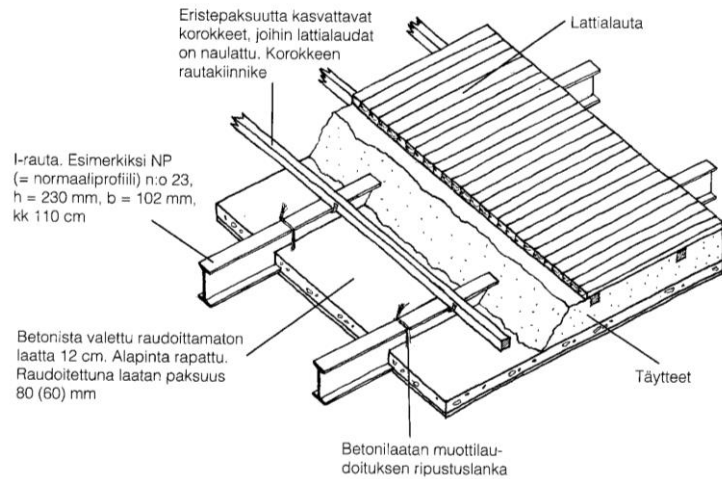
Melu on ympäristön stressitekijä esim. avotoimistoissa (akustiikka) tai asuinhuoneessa.
Lyhytaikaisen meluallistuksen seurauksena henkilöiden pulssi nopeutuu, ihon ja sisä-
elinten verisuonet supistuvat, verenpaine nousee ja stressihormonien pitoisuus veressä
lisääntyy. Pitkään jatkuva meluallistus voi lisätä sydän- ja verisuonitautien, kuten ve-
renpainetaudin, sepelvaltimotaudin ja sydäninfarktin riskiä. /21./

1.9 Energiatehokkuus

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus-
ja muutostöissä tuli voimaan Helsingissä 27.2.2013. Tämä asetus vaikuttaa silloin, kun
tehdään esim. korjaustoimenpiteitä julkisivuun, ylä- ja alapohjiin, ikkunoihin, ulko-
oviin tai rakennuksen teknisiin järjestelmiin /22/. Tällöin katsotaan joko rakennekohtai-
sesti tai kokonaisuutena korjaustoimenpiteiden merkitys energiantehokkuuden kokonais-
vaikutukseen. Kokonaisvaikutusta ei tarvitse arvioida erikseen, jos noudattaa asetuksen
pykälää 4 § ja 5§. Kolmas vaihtoehto on rakennusluokittain esitettyjen vaatimusten
täytyminen /22/.

2 1900–1950 ja 1970-LUVUN VÄLIPOHJATYYPIT

Vuosina 1900–1915 asuinkerrostalojen välipohjia tehtiin ratakiskojen tai I-terästen vaaraan. Välipohjan alapinnassa käytettiin (teräs)betonilaattaa, joka valettiin kantavien rakenteiden väliin. Betonilaatan paksuus oli 120 mm, kun betonilaattaa ei ollut raudoitettu ja raudoitettu betonilaatta oli vain 60–80 mm.

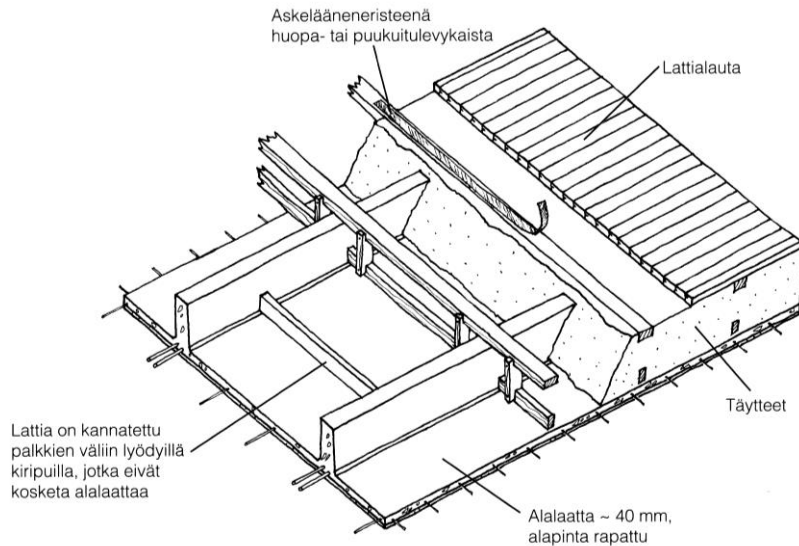


Rakennokuva 1. Välipohjatyypit ratakiskoista /10/.

Noin vuodesta 1910 eteenpäin tehtiin ensimmäisiä alalaattapalkistoja, joissa teräsbetonipalkeissa teräs ja betoni toimivat yhtenäisenä rakenteena. Tällöin kuormitukset menivät oikein rakenteissa eli vetojännitys kohdistui raudoitusteräksiin ja puristusjännitys betoniin.

Täyteaineita käytettiin välipohjissa ääni- ja lämmityssyiden takia. Luonnollisesti täyteaineet saatiin rakennustöiden yhteydessä sekä lisänä esim. sahanpurua, turvetta, kutterinlastua, olkea, hiekkaa, masuunikuonaa ja ruukinporoa. Täyteaineiden asennusjärjestys oli kevyin materiaali alimmaisiksi ja -painavin päällimmäiseksi. Lattialauta oli valmiiksi pontattu, jonka paksuus oli 1½ tuumaa ja vapaa jänneväli noin 600 mm. /10./

Erilaisten kokeilujen kautta vuoteen 1920 mennessä vakiintui alalaattapalkisto välipohjatyypiksi asuin-, virasto-, liike-, terveydenhuolto-, oppilaitos- ja muihin rakennuksiin. Rakenteet ovat esitetty rakennokuvassa 2.

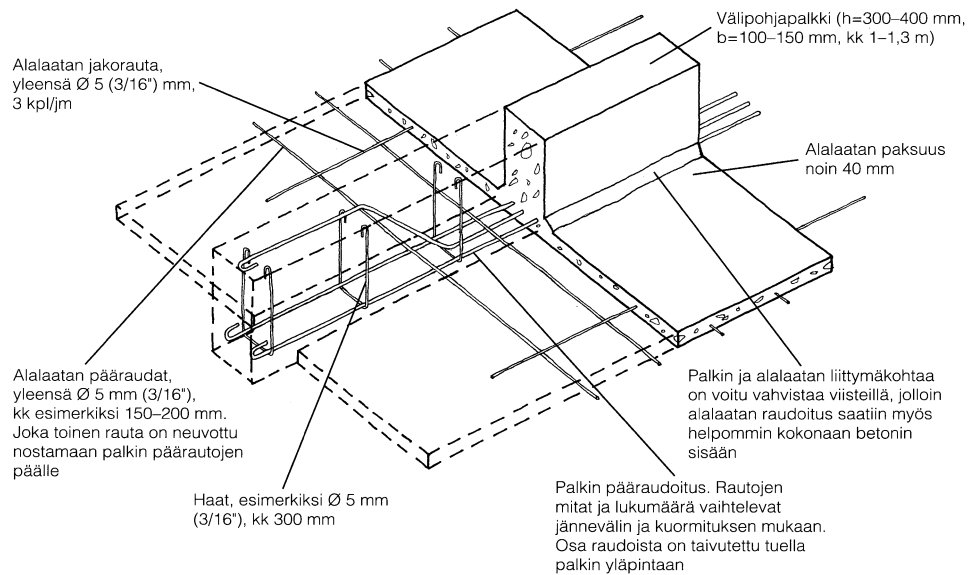


Rakennekuva 2. Lattia kiripuiden varassa /10/.

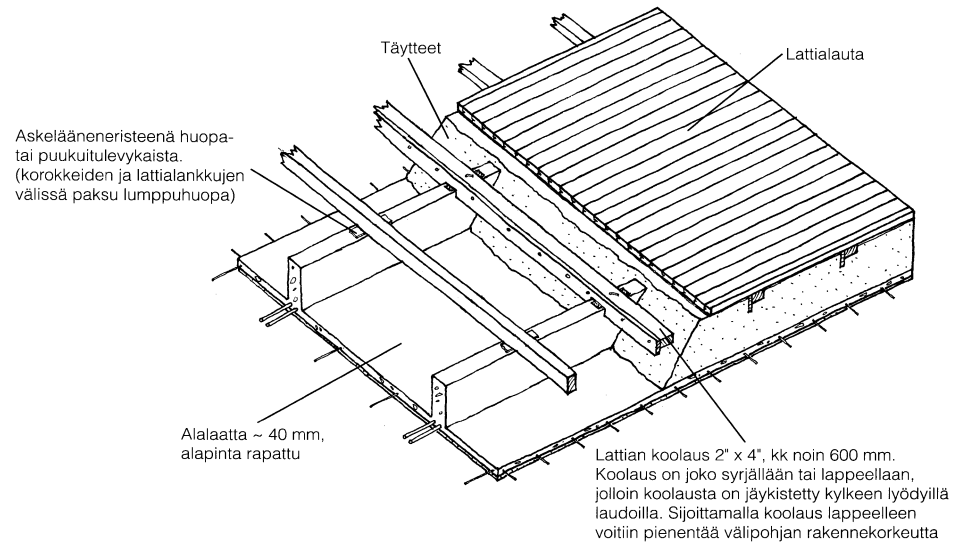
Alalaattapalkistosta syntyi ajansaotossa ns. venepalkisto sekä laippapalkisto, joista rakennekuviissa 4 erilaiset versiot a-c. Näiden palkistojen idea oli ottaa levennetyllä yläosalla puristusta vastaan rakenteessa, jolloin joko säästettiin raudoituksessa tai pyrittiin pitempiin jänneväleihin huoneissa. Harvinaisempia ovat rakennekuviien 4 d-e alalaattapalkistomallit.

Alalaattapalkiston rakenne koostui rautabetonipalkeista, poikkileikkausmuotona 100–150 mm leveä x 300–400 mm korkeana palkkina, joiden keskietäisyys noin 1000 mm–1300 mm. Jänneväli tavanomaisesti oli huoneen mittainen eli 5-6 metriä. /10./ Mahapalkin keskiöosaa levennettiin jopa 300 mm asti. Laippapalkiston yläosan paksuus oli 80–120 mm ja leveys vaihteli jopa niin paljon, että laipat yhtyvät keskenään. Laipat alalaattapalkistossa jätettiin raudoittamatta tai raudoitettiin hyvin kevyesti. Alalaatan betoni paksuus oli yleensä 40 mm, mutta myös 30 mm paksuisia alalaattarakenteita esiintyi silloin, kun palkiston keskiöväli oli alle 1200 mm. Raudoitus oli kevyttä alalaatassa eli halkaisijaltaan 5 mm raudoitus k 200 mm ja jakoraudat 2 Ø 5 mm /palkkiväli /10/. Puristetut palkistojen korot vaa’ittiin niin sanotulla vesiletkulla ja pystysuoruus saatiin luotilangalla. Puristettujen palkistojen koroissa huoneistojen sisällä voi olla jopa korkeuseroja 50–70 mm ja samalla puristettu pintabetonilaatta voi olla lenko ja kiero yhtä aikaa.

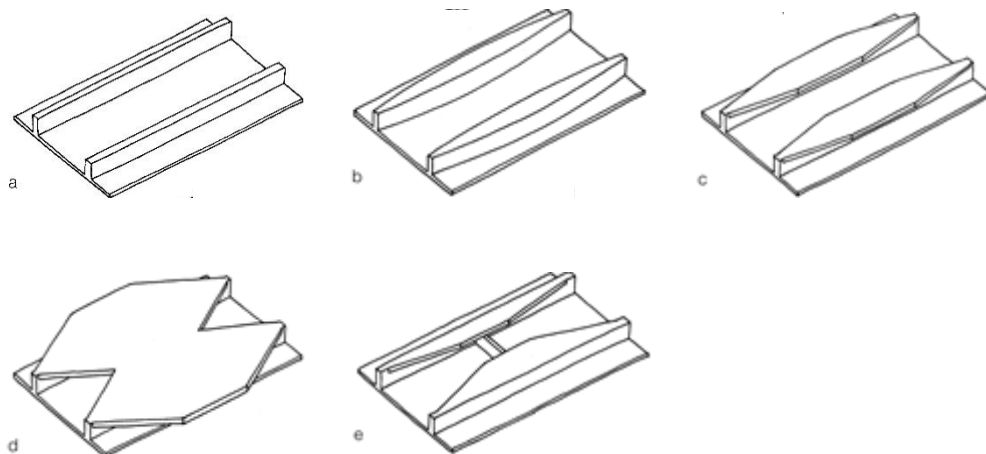
Alalaattapalkiston rauditusperiaate



Alalaattapalkisto, lattian koolaus suoraan palkkien päällä

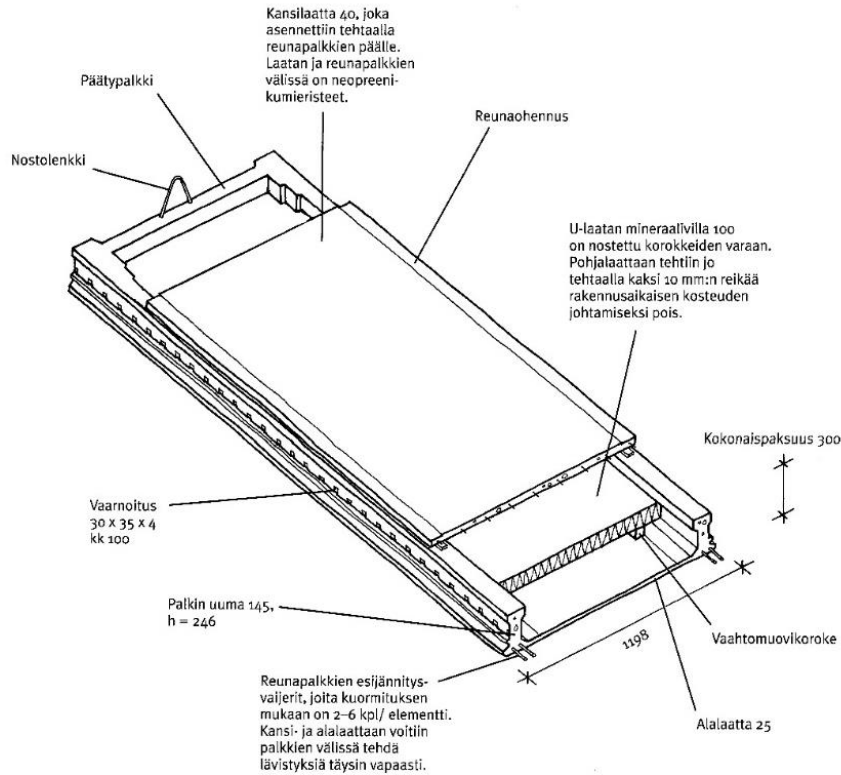


Rakennekuva 3. Alalaattapalkiston rakennekuvat /10/.



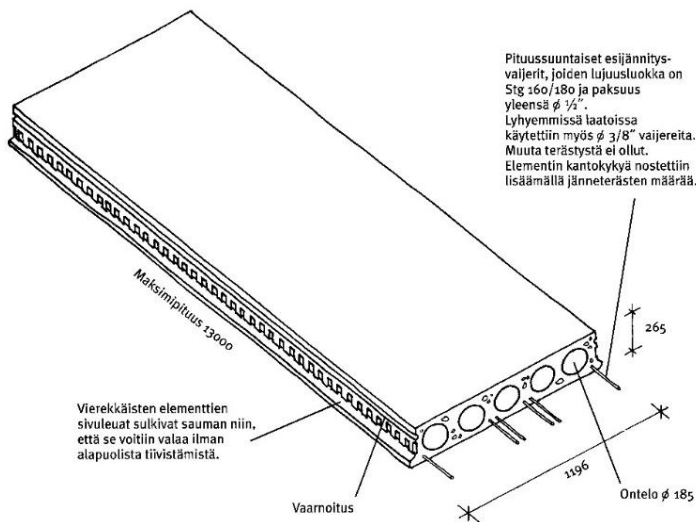
Rakennekuva 4. Alalaattapalkistojen eri versiot a–e.

Nilcon-elementin tarkoituksena oli hyvä ääneneristys välipohjissa. Idea oli kelluvalattia, joka lepäsi palkiston päällä neopreenikumieristimien varassa. Lahdessa oli ensimmäisiä kokeiluja kerrostaloissa vuonna 1968, ja vastaavan mestarin mukaan ääniongelmia olivat hankalia kahdesta syystä: kumieristin oli väärää laatua ja mineraalieristettä ei ollut tarpeeksi elementin sisällä./4./ Myös ääniongelmia korjattiin sepelillä, joka laitettiin alalaatan päälle. Elementtejä valmistettiin vuosina 1971–1983 Suomessa, ja 1973 aloitettiin myös yläpohjien valmistus sekä asennus. /4./



Rakennekuva 5. U-laatta eli Nilcon-elementti /4/.

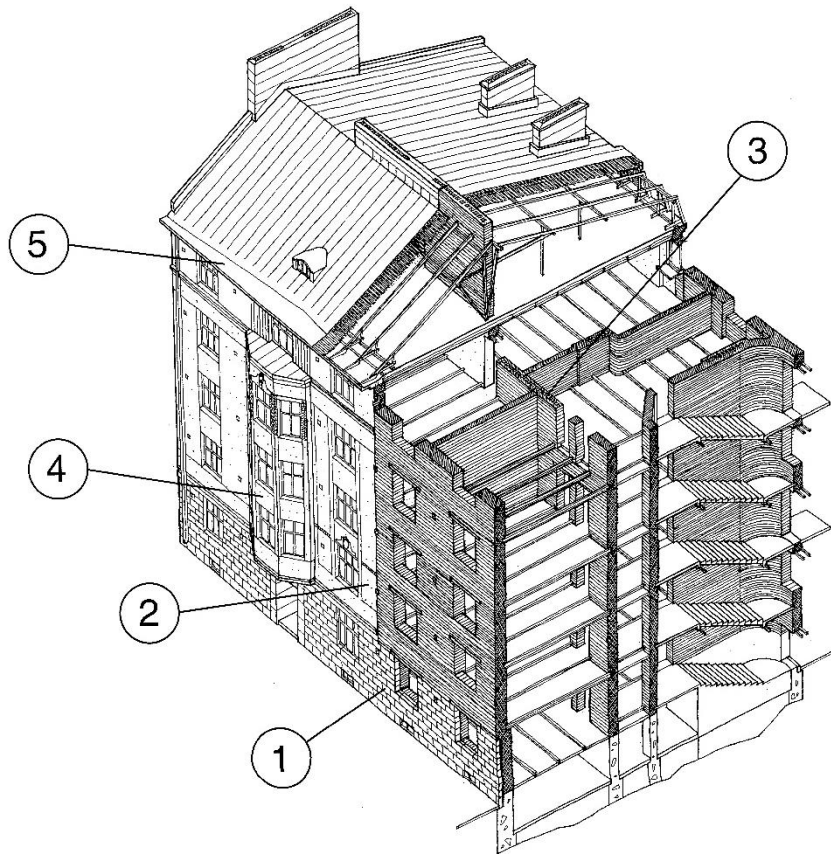
1970-luvulla alettiin käyttää niin sanottua ontelolaattaa, joka on esitetty rakennekuvas-
sa 6. Ontelolaattaa käytetään väli- ja yläpohjina esimerkiksi asuinrakentamisessa.



Rakennekuva 6. Ontelolaatta /4/.

2.1. Välipohjien liittymät ulkoseiniin, sydänmuuriin ja huoneistojenvälisiin seiniin 1910-luvulla

1910-luvun rakenteet tiilirunkoisessa asuinkerrostaloissa

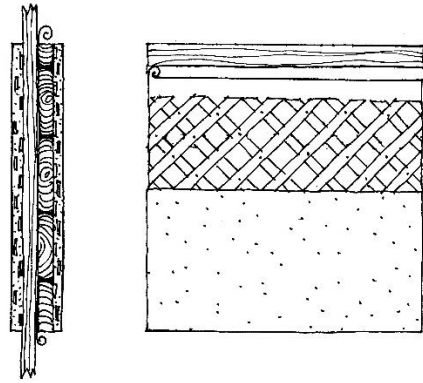


Kuva 1. 1910 luvun kerrostalo /10/.

Ulkoseinärakenteet ovat 2 kiven täysitiilimuureja, joissa on käytetty kalkkisementtirappausa niin sisä- kuin ulkopinnassa. /39/ Kantavina seininä rakennuksessa ovat 1–1½ kiven tiilimuurit, joihin välipohjat tukeutuvat. Kerroskorkeus on rakennuksessa noin 3400 mm ja huonekorkeus on 3000 mm. /10./

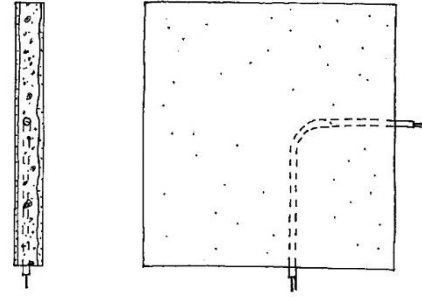
Huoneistojen väliseinät ovat Lugino-massaa ja huoneistojen väliset kevyet väliseinät ovat kaksinkertaisia, lukuun ottamatta komero- ja wc-tiloja /4/.

Painovoimainen ilmanvaihto oli sijoitettu kantavien tiilimuurien sisään. Talossa on vesikeskuslämmitys, sähkövalaistus, viemärointi sekä lämmin- ja kylmävesijohto. Keittiöissä on puuliedet ja wc-tiloissa vesiklosetit. /10./

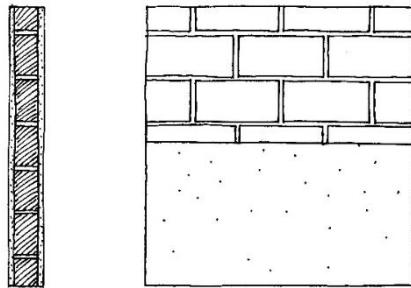


Cloison-seinä (-1910). Paksuus 150–200 mm. (1:20).

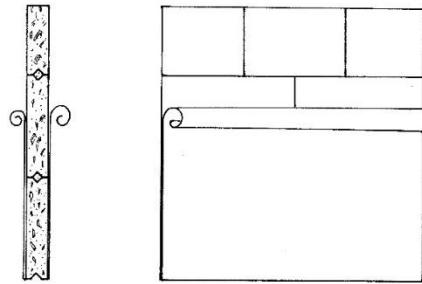
Cloison-seinä (-1910). Paksuus 150–200 mm. (1:20).



Lugino-massaseinä (1903-). Lugino-massaseiniä tehtiin aluksi saumattomana muottia vasten rappaamalla. Myöhemmin Lugino-massasta valmistettiin myös väliseiniin soveltuvia muuruskappaleita. Suurissa huoneissa paksuus noin 100 mm, pienemmissä huoneissa ja kornereissa 70 mm. (1:20).



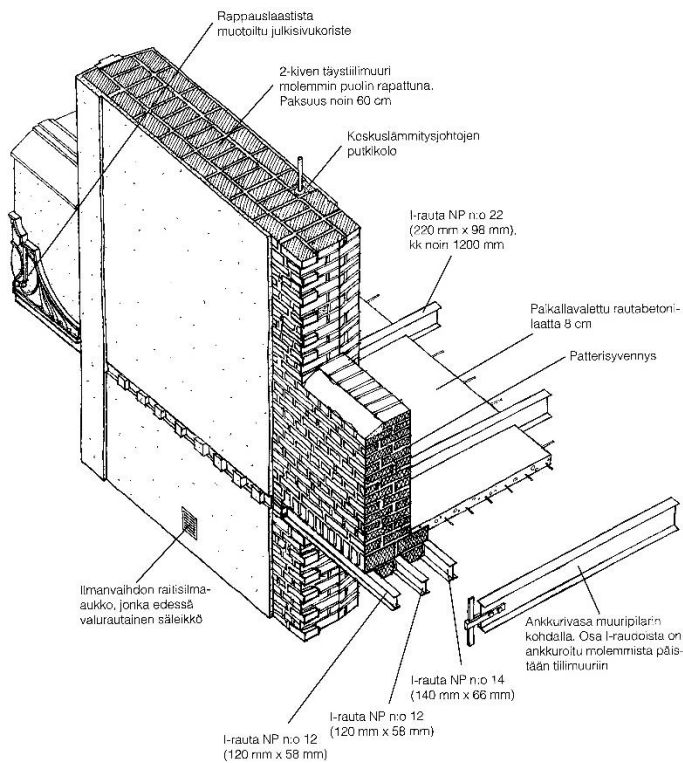
1/4-kiven tiiliseinä puna- tai kalkkihiekkatiilistä muurattuna (1900-luvun alusta alkaen). Paksuus noin 100 mm. (1:20).



Riksilevyseinä (1907-). Seinän paksuus oli isoissa huoneissa yleensä 70 mm, pienissä huoneissa ja kornereissa 40 mm. (1:20).

Kuva 2. Väliseinätyypit 1910-luvulla /10/.

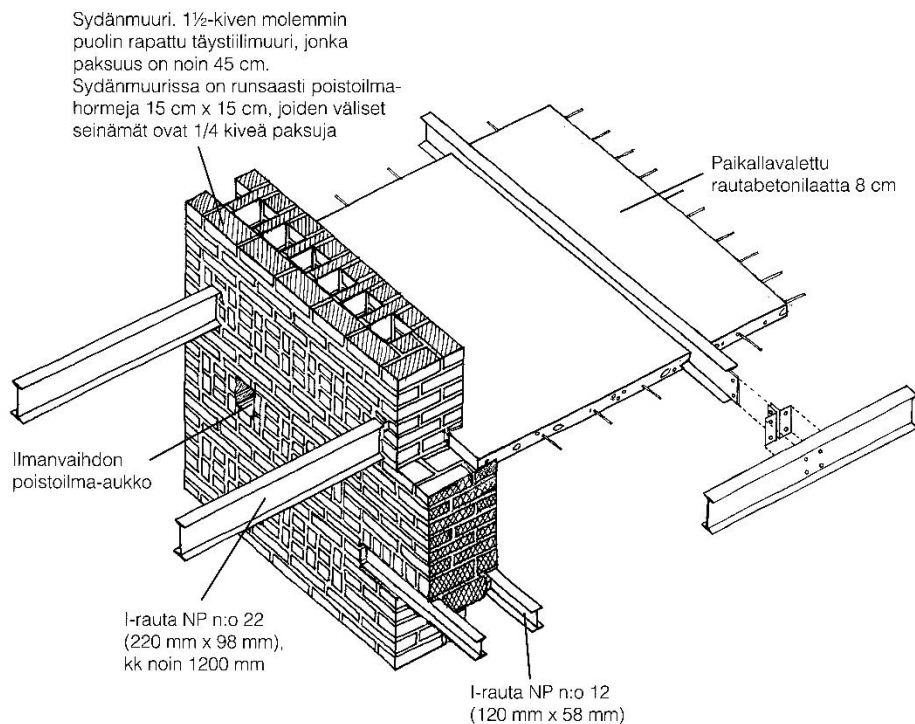
Yllä olevat rakenteet eivät täytä palovaatimuksia tai ääneneristysmääräyksiä. Kohdassa 5.1 on esitetty periaatteet rakenteiden parantaminen nykyisten säädösten tasolle.



Rakennekuva 7. 1910-luvun välipohja liittymisen ulkoseinään/10/.

Palon kannalta on tärkeää huomata rakennekuvassa 7, että välipohja liittyy ankkuriva-soilla ulkoseiniin ja ulkoseinän sisäpinnassa on NP n:o 14 rataakisko. Huoneistopalossa I-teräspalkkien kantavuus heikkenee jo 400°C jälkeen. Betoniliitoksessa sekä tiilissä tapahtuu muodonmuutoksia lämpöliikkeistä eri materiaalin lämpölaajenemisen takia. Tärkeää on mitoittaa liitoskohta paloteknisesti alle 400°C, jotta rakenteissa säilyy kan-tavuus sekä tiiveys. Palossa rataakiskon alalaipan lämpötila on eri kuin ylälaipan, tämä aiheuttaa jännityksiä rakenteissa sekä taipumaa jännevälillä. Vaarana on tiiveyden pet-täminen rakenteessa paloa vastaan ja laipan irtoaminen betonilaatasta.

Ulkoseinässä tapahtuu korroosioita I-teräspalkkien osalta ja kiinnitysvasan tapin osalta. Korroosion kautta rakenteet ovat menettäneet kantokykyä sekä myös lisänneet epäkes-kisyyttä verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen.

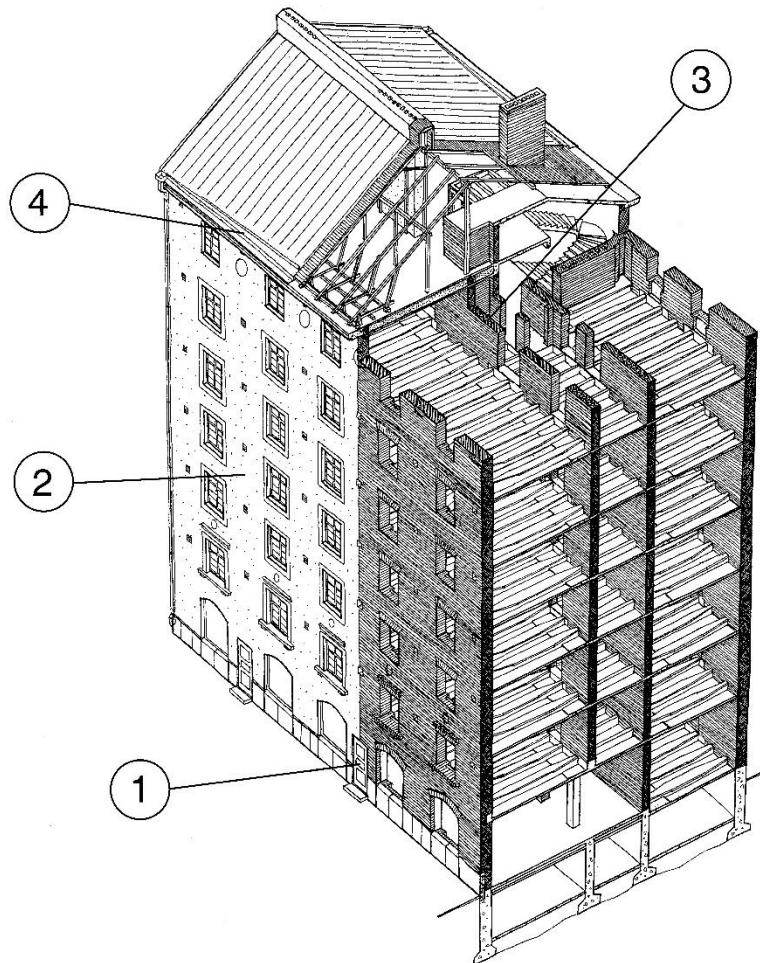


Rakennokuva 8. Sydänmuuri ja välipohja /10/.

Palossa sekä äänessä ei saavuteta nykymääräysten tasoa, koska ilmanvaihdon poistoil-manaukkoa ei ole ääni- tai paloeristetty, rakennekuvassa 8. Savukaasut pääsevät huoneistosta toiseen sytyttäen hormeissa olevat orgaaniset ainesosat. Savupeltien vaatimuk-sia tuolloin ei esitetty. Toinen ongelma on rataakiskon NP n:o 12 sijainti sydänmuurin pinnassa. Tämä tukipalkisto pitäisi suojata paloa vastaan kantavana rakenteena kohteen paloluokan mukaisesti.

2.2. Välipohjien liittymät ulkoseiniin, sydänmuuriin ja huoneistojenvälisiin seiniin 1920-luvulla

1920-luvun rakenteet tiilirunkoisessa asuinkerrostaloissa



Kuva 3. 1920-luvun, lopun kerrostalo /10/.

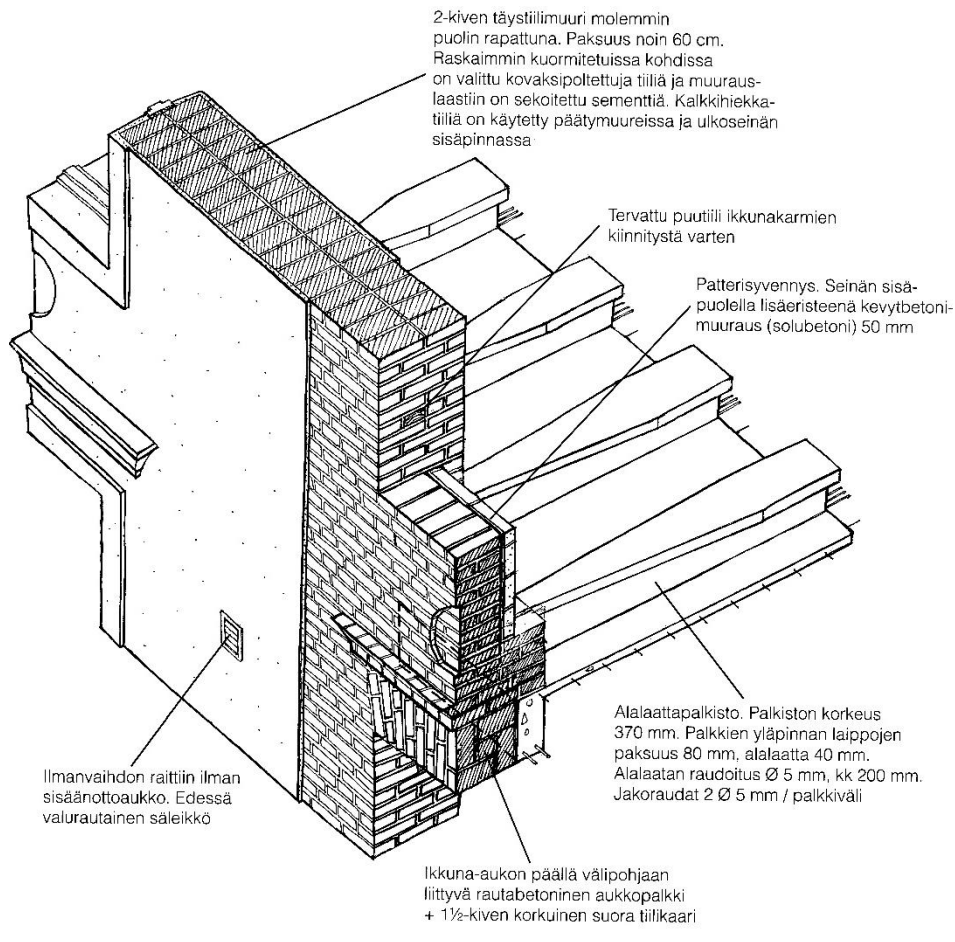
Ulkoseiniä oli kavennettu edelliseen vuosikymmeneen verrattuna $\frac{1}{2}$ kivellä eli paksuus oli enää vain 2 kiveä. Ulkoseinärakenne oli rapattu niin sisältä- kuin ulkoapäin. Ensimmäisessä kerroksessa oli liiketilat ja ylemmissä asuintilat. Tilojen käyttötarkoituksella oli tuolloin merkitystä palokuorman määrityksiin. /10/

Keskirunkona oli sydänmuuri, joka oli tehty kahdesta $1\frac{1}{2}$ kiven seinämästä. Näissä sydänmuureissa on useita ovi- ja poistoilmahormien aukkoja. /10/

Kevytseinät asunnossa ovat Lugino-massaa ja huoneistojen väliset seinät ovat kaksinkertaiset. Kevyissä seinissä on kanavastoja poistoilmahormeina.

Talossa on vesikeskuslämmitys, sähkövalaistus, viemäröinti sekä myös lämmin- ja kylmävesijohto. Keittiöissä on kaasuliedet ja wc-tiloissa vesiklosetit. Myös suuremmissa asuinnoissa oli avotakat /10/.

Väliseinätyypeissä ei ollut tapahtunut kehitystä. Kuvan 2 rakenteita käytettiin yhä kohteissa.

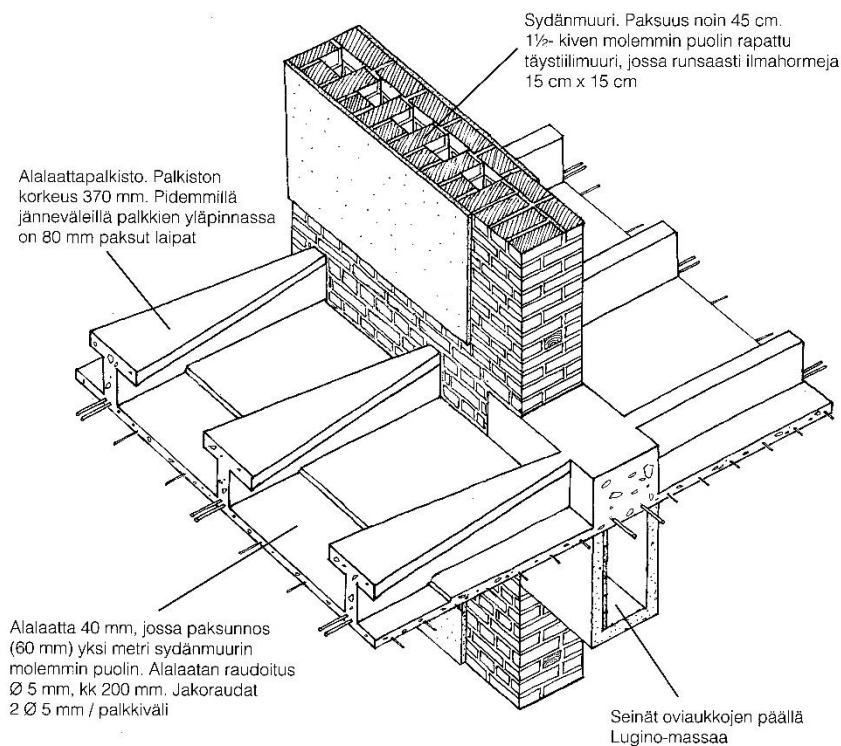


Rakennokuva 9. 1920-luvun lopun välipohjan liittyminen ulkoseinään. /10/.

Ikkuna-aukon päällä oleva betonipalkin ja alalaattapalkiston laatan liitoskohta on hankala. Vaikka muurauslimitys ”holvaa” sen, siten että leimapainetta ei tule suoraan liitokseen täydellä painolla, siinä esiintyy viimamainen kuormitusrasitus, joka tukireaktion vieressä aiheuttaa leikkausta. Laippapalkkistossa ylälaatan osuus tekee purituspinnan, joka siirtää staattista pistettä ylöspäin. Tällöin alalaatan massa sekä reunapalkki toimivat vastavoimana. Nämä voimat saavat alalaattapalkiston jännitteiseksi ja palossa alalaatta pyrkii nousemaan ylöspäin pääpalkiston taipuessa alaspäin. Alalaataston yläpuolella on välipohjatäytteet, jotka pyrkivät estämään alalaatan nousua, jolloin alalaatan yläpintaan

tulee vetoa ja alapintaan leikkausta. Tämä aiheuttaa pakkovoimia alalaatan betonipalkkiin, kun samanaikaisesti tiilien leimapaine aiheuttaa leikkausta. Tällöin kun voimajännitteet ylittävät rakennusmateriaalin leikkaus- ja puristuskestävyyden, tapahtuu rakennusmateriaalissa murtumia ja halkeamia, jotka vaikuttavat rakenteen tiiveyteen palossa.

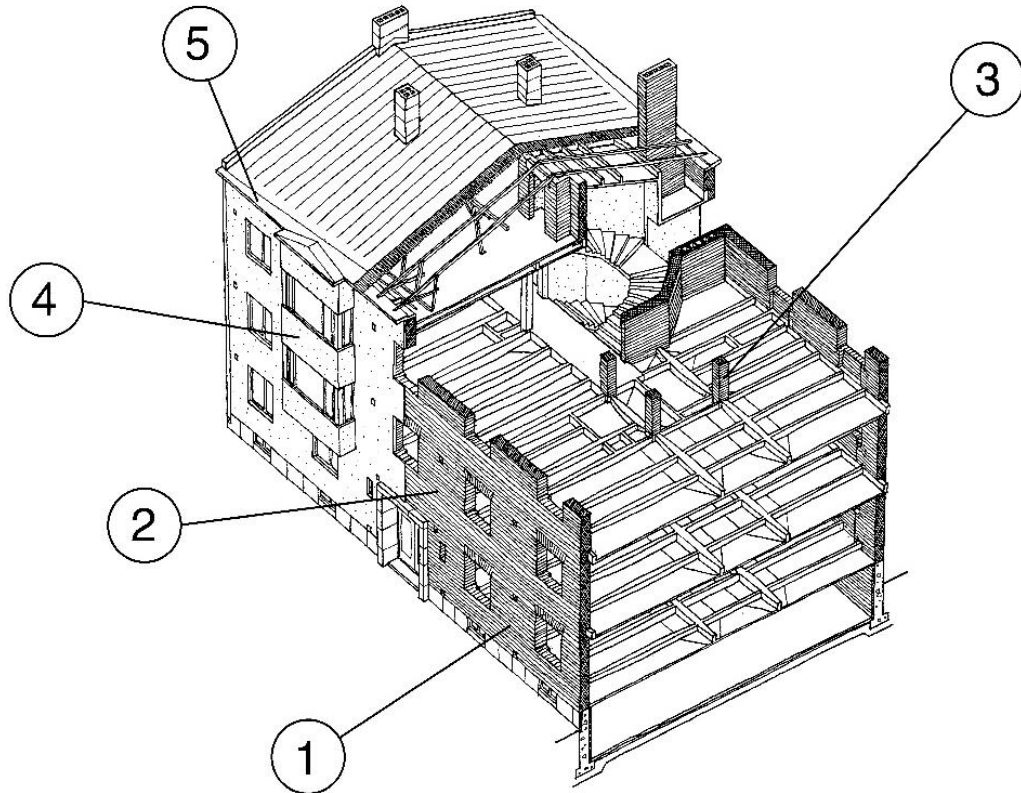
Alapuolinen huoneistopalo saa sahanpurun ja kutterinlastun kytemään palkiston välissä aiheuttaen yläpuoliselle huoneistoon savukaasujen haitan/riskin mahdollisille palouh-reille.



Rakennekuva 10. Sydänmuuri ja välipohja /10/.

Sydänmuuriin on lisätty alalaattaan betonin paksuus 60 mm, joka olisi pitänyt tehdä myös ulkoseinän kohdalla. Oviaukkojen päälle Lugino-massalla tehdyt levytysseinät sekä ovien tiiveys ovat rakenteen heikoimmat paikat palossa.

2.3. 1930-luvun rakenteet tiilirunkoisessa asuinkerrostalossa

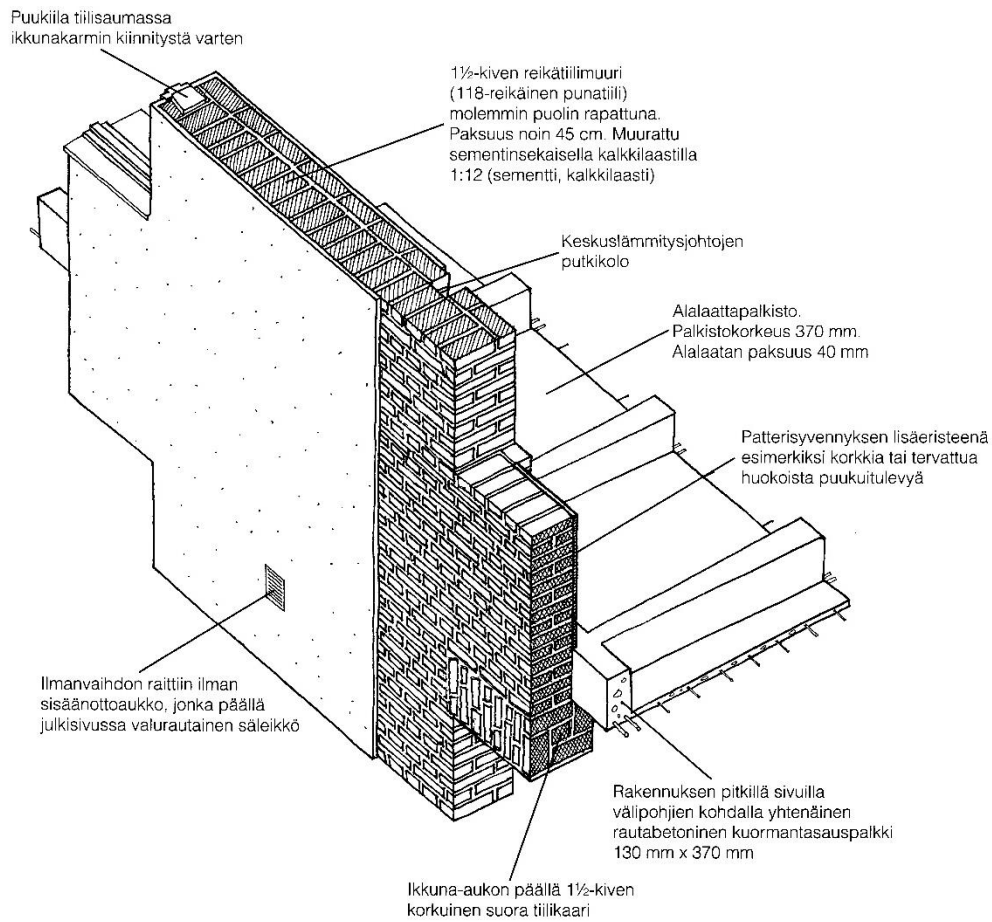


Kuva 4. 1930-luvun, lopun kerrostalo /10/.

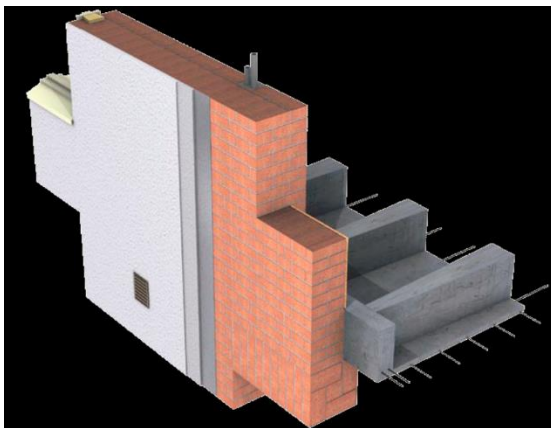
Ulkoseiniä oli kavennettu 1920-luvun ratkaisuihin verrattuna $\frac{1}{2}$ kivellä eli paksuus oli vain $1\frac{1}{2}$ kiveä. Ulkoseinärakenne oli rapattu niin sisältä- kuin ulkoapäin /10/.

Keskirungon alueella ovat kantavat betonipilarit ja ylemmissä kerroksissa tiiltä, rakennekuvakuva 13 /10/. Välipohjarakenteet ovat alalaattapalkistoja. Kerroskorkeus on 3350 mm ja huonekorkeus 2900 mm.

Kaikki väliseinät on tehty kevytrakenteista riksilevyistä ja huoneistojen väliset seinät ovat tuplaseiniä. Painovoimainen ilmanvaihto on sijoitettu muurattujen riksiväliseiniä sisälle, rakennekuvakuva 12. Talossa on vesikeskuslämmitys, sähkövalaistus sekä myös viemärointi ja lämmin- ja kylmävesijohto. Keittiöissä on kaasuliedet ja wc-tiloissa vesiklosetit. Kylpyhuoneet olivat ajan-hengen mukaisia /10/.



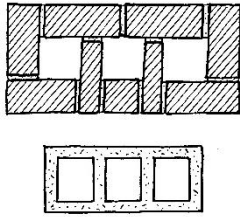
Rakennekuva 11. Välipohja liittyminen ulkoseinään, 1930-luvun lopulla /10/.



Kuva 5. Mallinnettu kuva 1930-luvun kohteesta.

Kuormaustasauspalkki tukeutuu ulkoseinän sisäpuoliseen muuraukseen. 1½ kiven muurauksen kohdalla betonipalkki jäähdyttää ulkoseinää viivamaisena kylmäsiltnä ja aiheuttaa jännityksiä ulkoseinään. Palotilanteessa, palkki kestää sille asetut palovaateet, mutta pakkovoimat voivat särkeä tiiveyden liitoksesta.

Rakennekuvassa 13 on välipohja, jossa välipohjat on halkaistu kahtia poistoilmakanavien kohdalta. Hormisto on muurattu riksilevyistä ja sekundaari betonipalkit kantavat muurausta /10/.



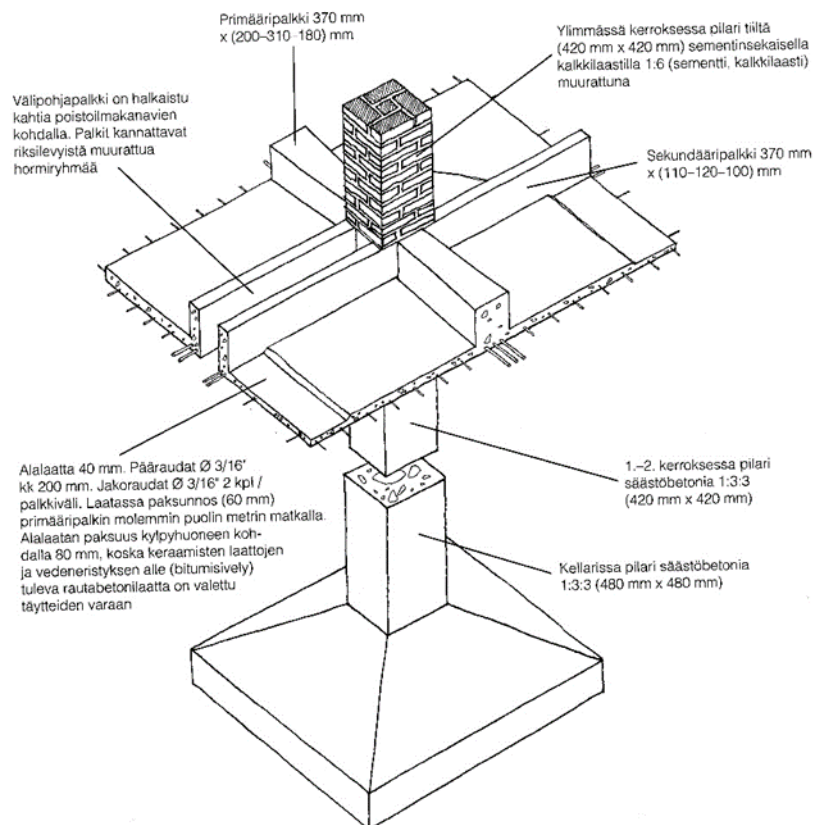
Yllä: Vanhaan tapaan tiilestä muurattu 1½-kiven hormiseinä (1:20).

Alla: 1920-luvulla rautabetonivälipohjien ja keskilämmityksen myötä yleistynyt kevytrakenteinen hormiryhmä, joka on muurattu esimerkiksi Luginomassa levyistä, riksilevyistä tai syrjätiileistä (1:20).

Riksilevyn koko oli 5/7,5/10 cm x 33,3 x 60 cm. Levyssä oli V-ura saumoissa. Levyä asentaessa V-ura täytettiin kipsillä ja levytyypin raaka-aineet olivat kipsi ja kutterinlastu. Huolimattomasti tehtyjen riksilevyseinien lävitse näkyivät saumat, kun kohteissa käytettiin pinnassa tapetteja. Palotilanteessa rakenteen tiiveys voi olla kyseenalainen hormiseinämässä. /10./

Rakennekuva 12. Hormirakenteet /10/.

Riksilevyjen ääneneristys ei ole nykytason mukaisia, jos asuintilat olivat hormistoja vasten. Myös kuumien palosavukaasujen tiiveys sekä kesto vuosikymmenten saatossa on voinut heikentää rakennetta. Riksilevyt syrjäyttivät Luginomassa-seinän. /4,10./



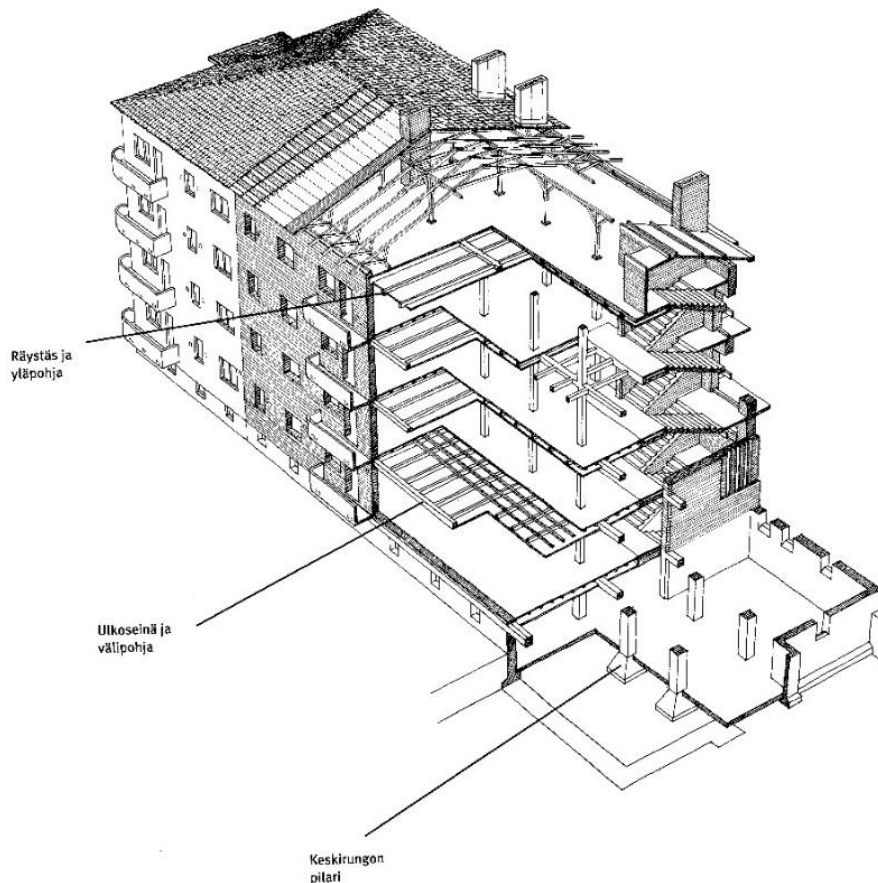
Rakennekuva 13. Keskirungon kantava pilari ja välipohja /10/.

Alalaattapalkiston sekundääripalkistot kestävät tunnin palorasituksen lähteen 27 mukaan. Oma arvioni on että, alalaatan palonkestävyys ei ole riittävä. Alapuolinen huoneistopalo saa sahanpurun ja kutterinlastun kytemään palkiston välissä ja aiheuttaa yläpuoliseen huoneistoon savukaasujen haitan/riskin mahdollisille palouhreille.



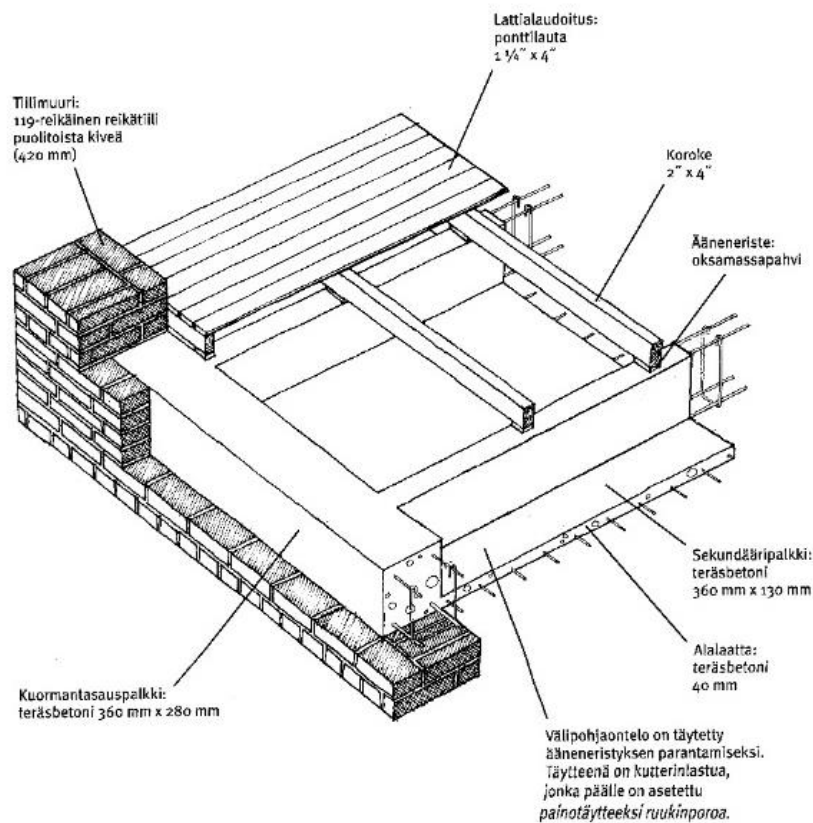
Kuvat 6. Riksilevyn V-ura levyn reunoilla ja Luginomassa-seinä /4/.

2.4. 1940-luvun lopun rakenteet betonipilarirunkoisia asuinkerrostalossa



Kuva 7. 1940-luvun lopun kerrostalo /4/.

Betonipilarirunkoisia taloja tehtiin 1940–1950 luvulla. Ulkoseinärakenteissa käytettiin monireikäistä $1\frac{1}{2}$ kiven tiiltä. Reikiä tiessä oli jopa 119 kappaletta. /4/ Väliseinät olivat kevytrakenteisia riksilevyseiniä. Kerroskorkeus rakennuksessa on 3150 mm.

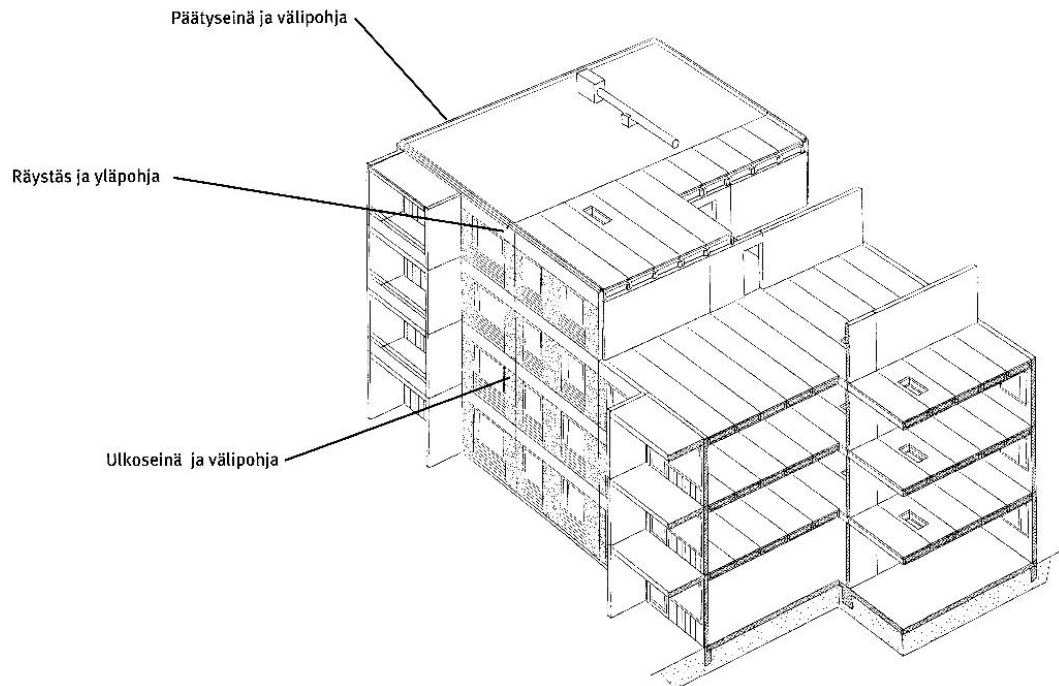


Rakennekuva 14. 1940-luvun lopun välipohja liittymisen ulkoseinään /4/.

Kuormantasauspalkki tuotiin yhden kiven päähän ulkosivun ulkopinnasta. Välipohjätäytteenä käytettiin edelleen muun muassa sahanpurua ja kutterinlastua. Kuormantasauspalkin ja tiilen rajapintaan muodostuu kastepiste ja sateisella kelillä tiili siirtää kosteuttaan kuormantasauspalkin betoniin. Edellä mainitut asiat aiheuttavat pakkasrapautuman takia rakenteisiin tiiveysongelmia.

Alalaattapalkiston sekundääripalkistot kestävät tunnin palorasituksen, mutta alalaatan palonkestävyys ei ole riittävä. Alapuolinen huoneistopalo saa sahanpurun ja kutterinlastun kytämään palkiston välissä aiheuttaen yläpuoliselle huoneistoon savukaasujen haitan/riskin mahdollisille palouhreille. Korokesoiro voi edesauttaa palon leiskahdusta, koska se toimii ontelotilana välipohjan yläpinnassa.

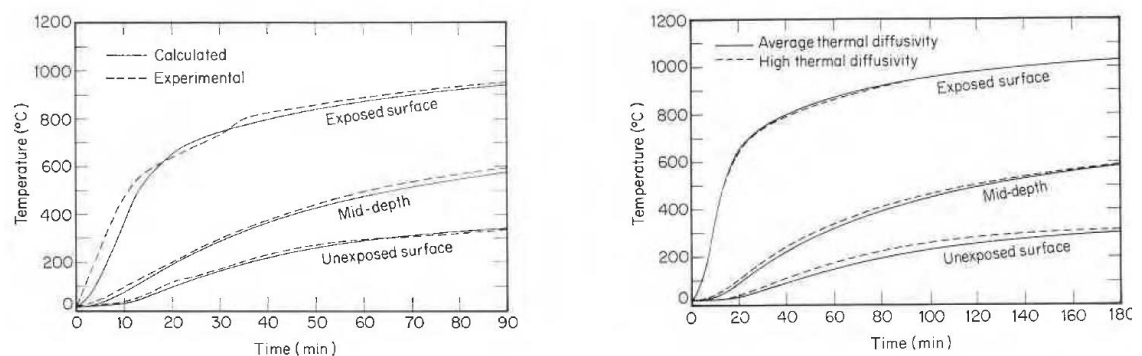
2.5. 1970-luvun BES-runkojärjestelmän rakenteet asuinkerrostalossa



Kuva 8. 1970-luvun asuinkerrostalo /4/.

Kerroskorkeus on 2800 mm 1970-luvun rakennuksissa. Väliseinät ovat lastulevyseiniä ja kylpyhuoneet yleensä peltirunkoisia elementtejä. Ulkoseinät ovat betonisandwich-elementtejä kuten pesubetonilla käsitelty julkisivu. Runkojärjestelmänä on BES, kirjahyllyrunko ja koneellinen ilmanvaihto.

Kun betonin alalaatta paksuus on 25 mm Nilconissa, tällöin alla olevien kuvaajien perusteella voidaan arvioida, että 20 min, 30 min ja 60 min kohdalla lämpötilat ovat betonilaatan keskellä ja -yläpinnassa seuraavat: 275°C / 375°C, 375°C / 500°C ja 500°C / 600°C. Betonilaatan paksuus vaikuttaa lämpötilan nousuun /41/.



Kaavio 5. 60 mm paksu betonilaatta ja 100 mm betonilaatan lämpötilat /41/.

Määräykset esittävät betonin paksuudesta 1977, raudituksen tai jännepunosten osalta.

3.2.1 Tässä kohdassa annetut ohjearvot koskevat rakenteita, joilla kuumuus voi kohdistua rakenteeseen yhden pinnan kautta. Kun kuumuus voi kohdistua rakenteeseen kahden tai useamman pinnan kautta, kuten ripalaatan ripoihin, sovelletaan palkeille (kohta 3.3) annettuja vaatimuksia.

3.2.2 Massiivisen laatan vähimmäispaksuus ja ontelolaatan vähimmäispaksuus ontelon alla on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1

Massiivisen laatan vähimmäispaksuus ja ontelolaatan vähimmäispaksuus ontelon alla (mm)

a) normaaliabetoni

Palonkesto aika	30	60	90	120	180	240
Laatan paksuus	60	80	100	120	150	175
Paksuus ontelon alla	20	25	30	40	45	50

Taulukko 2

Laatan pääteräksiä suojaavan betonikerroksen vähimmäispaksuus (mm). L_1 on laatan pienempi jänne, L_2 on laatan suurempi jänne. Ristiin raudoitettun laatan sivusuhteen ollessa $1,5 < L_2/L_1 < 2$ saadaan vähimmäispaksuus interpoloimalla väliarvot suoraviivaisesti.

a) normaaliabetoni

Palonkesto aika	30	60	90	120	180	240
Yhteen suuntaan raudoitettu laatta ¹⁾	(10)	15	25	35	50	60
Ristiin raudoitettu laatta $L_2/L_1 \leq 1,5$	(10)	(10)	(10)	15	25	35

b) kevytsorabetoni

Palonkesto aika	30	60	90	120	180	240
Yhteen suuntaan raudoitettu laatta ¹⁾	(10)	15	25	35	45	50
Ristiin raudoitettu laatta $L_2/L_1 \leq 1,5$	(10)	(10)	(10)	(10)	20	30

1) Koskee myös ristiin raudoitettua laattaa, jonka $L_2/L_1 \geq 2$

Kuva 9. Kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkesto, RakMK E5,1977 /8/.

Kuvassa 9 olevien määräyksien mukaan 60 minuutin kohdalla laatan ontelon paksuus saa olla vähintään 25 mm ja raudituksen suojaetäisyys 15 mm. Suunnittelu arvo oli tuolloin aina 15 mm. Alla seuraava tarkennus raudituksen mitoittamiseen.

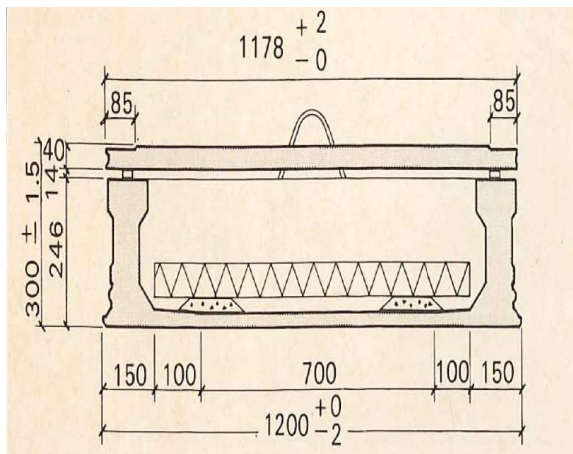
3.2.5 Laatan ja teräksiä suojaavan betonikerroksen paksuutta laskettaessa voidaan palamattomat ta-saus- ja pintakerrokset, lukuun ottamatta laatan päällä olevaa lämmöneristekerrosta, ottaa huomioon, mikäli pintakerroksen lämmönjohtavuus kysymykseen tulevissa lämpötiloissa on yhtä suuri tai pienempi kuin betonilla. Käytettäessä pintakerrosta laatan alapinnassa, tulee sen kiinni pysyminen vaaditun palonkestoajan osoittaa tarvittaessa kokeellisesti.

3.2.6 Taulukossa 2 esitetyt ohjearvot pääteräksiä suojaavan betonikerroksen vähimmäispaksuudesta edellyttävät, että teräksen kriittinen lämpötila on 500° C. Mikäli se on pienempi, tulee suojaavan betonikerroksen paksuutta lisätä 1 mm:llä jokaista 10° C kohti, jonka teräksen kriittinen lämpötila poikkeaa lämpötilasta 500° C. Mikäli teräksen kriittinen lämpötila on suurempi kuin 500° C, voidaan vastaava vähennys tehdä suojaavan betonikerroksen paksuuteen.

Kaavion 5 perusteella voidaan arvioida, että 15 mm etäisyydellä betonilaatassa oleva lämpötila on 675°C raudituksen osalta. Näin ollen betonipaksuuden muutos $675\text{ °C} - 500\text{ °C} = 175\text{ °C} / 10\text{ °C}/1\text{ mm} = 17,5\text{ mm}$. Jolloin betonipeitteen kokonaispaksuus on $15\text{ mm} + 17,5\text{ mm} = 32,5\text{ mm}$.

Kuva 10. Lisäohjeet raudituksen suojaamiseen /8/.

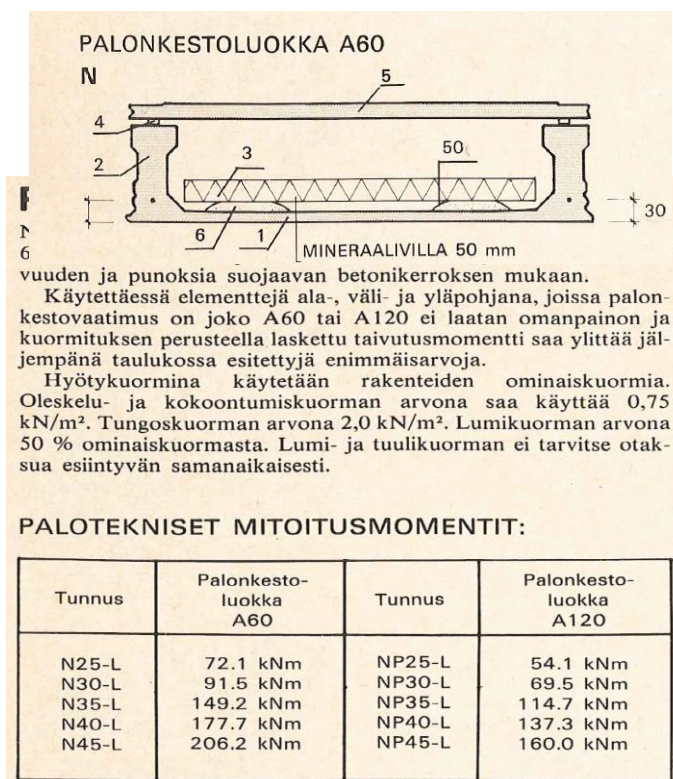
Nilcon-laatassa on myös sisällä kivivilla, jolloin lämpö ei pääse johtumisen kautta ”alalaatan” pintaan, ja siitä edelleen säteilemällä ontelossa olevaan ilmatilaan. Lämpö pyrkii johtumaan kivivillan lävitse, jolloin alalaattaan syntyy tilanne, jossa lämpötila nousee nopeammin, mitä voi edellyttää kaavion 5 funktioista. Pieni ilmarako kivivillan välissä ei pysty jäädyttämään rakennetta. Lämpö pyrkii kivivillaeristeen päädyistä nousemaan ylöspäin,



jolloin lämpö nousee ylälaatan alapintaan ja pyrkii purkautumaan ilmapaineen muutoksen takia neopreenikumieristeen kohdalta. Lämpötila on noin 400–500°C luokkaa, mikä tekee muodonmuutoksia kumieristimeen.

Rakennekuva 15. Nilcon-elementin valmistusmitat /32/.

Betonijärjestelmästä julkaistiin myös BES /32/ vuonna 1979 julkaisu, josta alla ote palosta:

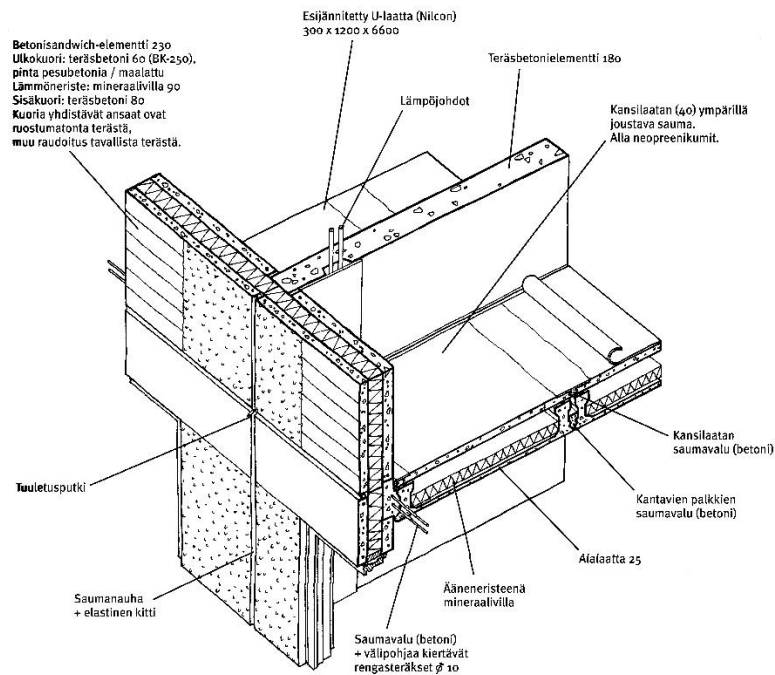


Rakennekuva 16. Nilcon-elementin palo-ominaisuudet /32/.

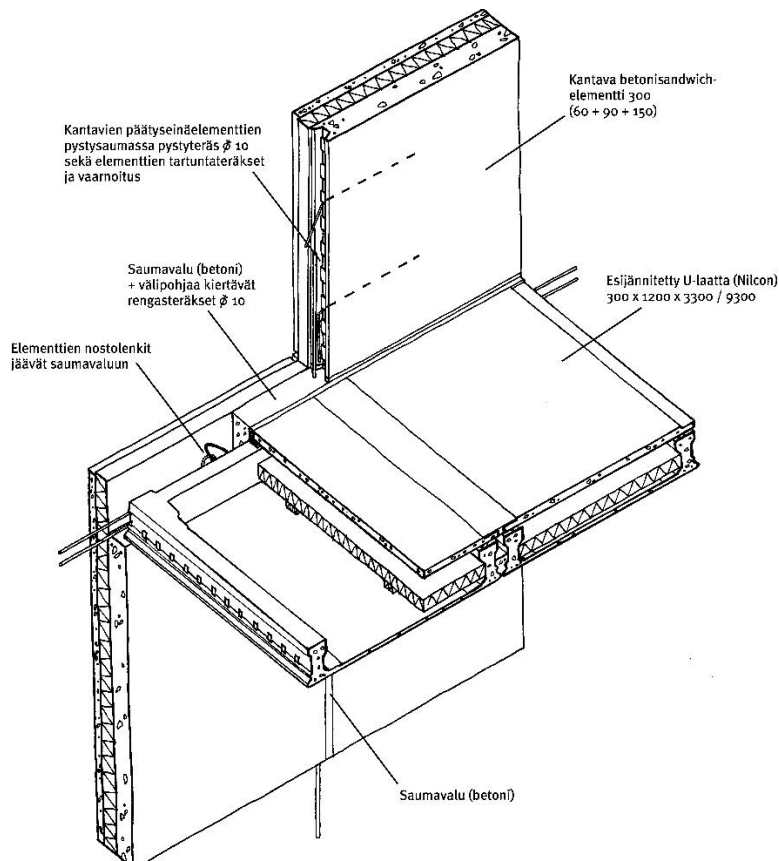
Myös Nilcon-elementissä on ilmanvaihtokanavat ja valmiit sähköasennukset, jotka heikentävät palavien savukaasujen tiiveyttä rakenteessa.

Liittymä ulkoseinän kohdalta huoneistojen välisenseinän osalta.

Ulkoseinä ja välipohja
Ei-kantavat ulkoseinäelementit seisovat suoraan tai alempien
elementtien välityksellä perustusten varassa.

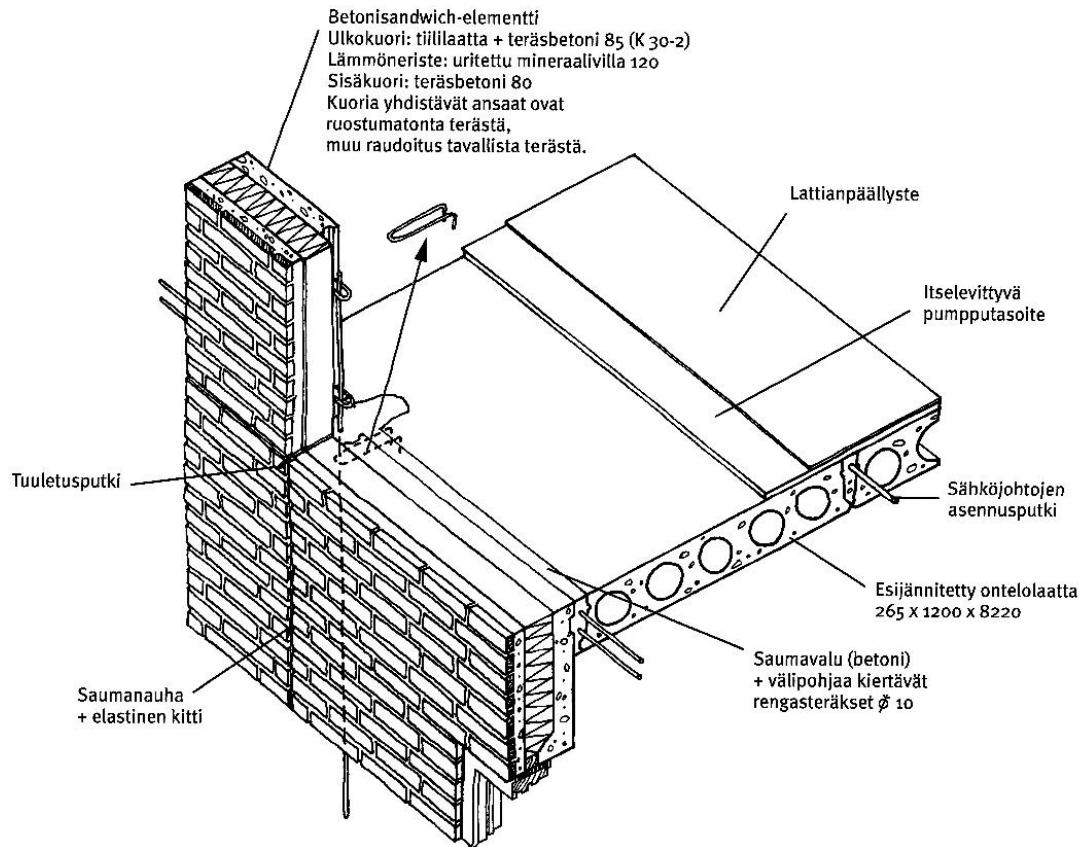


Rakennokuva 17. Välipohjan liitos ulkoseinään /4/.



Rakennokuva 18. Välipohjan liitos päätyseinän osalta /4/.

Ontelolaatassa pätevät betoniraudoitteen ja suojabetonin osalta samat Rakennusmääräskokoelman E5 määräykset ja ohjeistukset kuin Nilconissa.

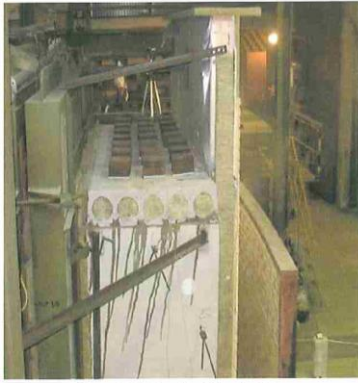


Rakennekuva 19. Ontelolaatan liitos ulkoseinään/4/.

2.6. Ontelolaatan taipuma palossa

Ontelolaatan palokoe suoritettiin soveltaen standardia EN 1363-1:1999 Fire resistance tests - Part 1: General requirements. Testattavan ontelolaatan yläpinnalle oli asetettu teräspainoin tasainen kuorma 225 kg/m^2 , jonka aiheuttama rasitus vastasi 40 mm paksun pintavalun ja $0,6 \text{ kN/m}^2$ hyötykuorman aiheuttamaa momenttirasitusta 3,6 m jännävälillä.

Ontelolaatan keskiontelon alakannaksen kohdalle syntyi halkeama koeajassa 29 minuuttia, ja kokeen päättyessä voitiin todeta pitkittäshalkeama toisen ontelon yläkannaksen kohdalla. Kokeen päättyessä jännepunosten todettiin liukuneen 2–7 mm laatan toisessa päädyssä. Laatan taipuma kokeen aikana oli 12 mm mitattuna yläpinnan keskikohdalla. Laatta oli käyrästynyt sivuilta ylöspäin.



Kuva 11. Koeaika 24 min 30 s.



Kuva 22. Koeaika 54 min 30 s.



Kuva 24. Koeaika 58 min 24 s.

Kuvat 11. Testaustilanteesta /49/.

Pitkillä jänneväleillä (6–12 metriä) ontelolaatta voi pitkittyneessä tulipalossa taipua jopa yli 100 mm. Kestääkö kevytrakenteinen- tai tiiliseinä tms. kuormitukset vastaan palotilanteesta ontelolaatan taipumasta ja säilyttää tiiveyden kantokyvyn kanssa. Halkeama 29 min kohdalla tarkoittaa sitä, että ontelotilaan pääsee palavia palokaasuja paineella. Tämä aiheuttaa paloteknisesti vaaran. Jos kaapeleita tai vastaavia on ontelotilassa alkavat ne kytemään ja tuottamaan lisää palokaasuja. Jos onteloiden tilaa ei ole katkaistu palo-osastoin eri huoneistojen välillä, niin tällöin palokaasut pääsevät leviämään osastoista toiseen. Ennen palokokeen loppumista huomattiin ontelossa yläpinnassa halkeama, joka voi johtua palokaasuista, lämpötiloista sekä puristusrasituksesta, kun ontelolaatan yläpinta käyrityi. Koska ontelolaatan betoni on korkealujuuksista, siinä tapahtuu palossa lohkeilua. Tämä yhdistettynä edelliseen ilmiöön vaikuttaa myös ontelolaatan kantavuuteen palossa.

3 VANHOJEN VÄLIPOHJARATKAISUJEN OMINAISUUDET

3.1. Välipohjarakenteiden rakennusfysikaaliset seikat 1900–1980

Mekaniikan lisäksi vanhoissa välipohjissa rakennusfysiikan ymmärtäminen seuraavilla osa-alueilla on tärkeää: palo, ääni, kosteus ja käytetyt rakennusmateriaalit / ominaisuudet. Kokonaisuuden toiminta on ratkaiseva lopullisen tuloksen saavuttamiseksi niin vi-
ranomaismääräysten osalta kuin kohteen laatutasolta.

3.1.1 Betonirakenteiden kehitys ja lujuusarvot

1900-luvun alussa rakennusvalvontaan ei tarvinnut toimittaa rakennepiirustuksia tai -laskelmia. Muutos tapahtui Helsingissä 1907 kahden rakennesortuman jälkeen, joista toinen liittyi betonirakenteiden puutteelliseen suunnitelmiin sekä toteutukseen. Vuonna 1908 Helsinki sai ensimmäisen päätoimisen rakennustarkastajan, jolle piti toimittaa kohteista vaadittavat rakennepiirustukset ja -laskelmat. Vuonna 1911 rakennustarkastaja sai avukseen rakennusinsinöörin tarkastamaan betonirakenteita ja niiden lujuuslaskelmia. Tällöin käytettiin saksalaista määräyksiä, ja vasta vuonna 1913 Helsingin rakennusvalvontakonttori sai ensimmäiset omat määräyksensä. Helsingin kaupungin alueella tehtävistä kohteista vaadittiin siitä lähtien laskelmat sekä rakennepiirustukset rautabetonitöistä. /10./

Betoni on kovettunut seos, jossa käytetään runkoaineita, sementtiä, vettä sekä lisäaineita, kuten hidastimet ja huokostimet. Runkoaines muodostui hienoon kiviainekseen, raekoko alle 7 mm ja karkeaan, jonka raekoko oli 7–0 mm sekä säästökiviin. Karkea kiviaines oli joko singeliä tai sepeliä. Runkoaineet, hiekka ja sora saatiin suoraan luonnosta seulomalla, mutta sepeli piti murskata. Sepeli aluksi hakattiin eli murskattiin käsityövoimalla, mutta 1900-luvun alussa tuli käyttöön ensimmäiset sepelikoneet. Betonimassa tehtiin aluksi lapiolla sekoittamalla ainesosat puulaatikossa yhteen. Ruotsista ja Saksasta tuli ensimmäiset betonimyllyt työmaille. Betonin vaakasiirrot tehtiin puisilla kottikärryillä, joissa oli valurautapyörä, tai ämpäreillä ja jopa paareilla. Pystysiirrot tehtiin tynnyreillä, jotka joko vinsattiin kerrokseen tai nostettiin koneellisella betonihissillä. Alalaattavälipohjaratkaisuissa betonin osalta säästökiviä ei voinut käyttää rakenteiden ohuuden ja raudoituksen takia. /10./

Betonin puristuslujuuteen vaikutti sementin ja runkoaineen seossuhteet sekä ominaisuudet ja vesisementtisuhte. Tämän lisäksi myös työn toteutus ja betonimassan tiivistys muottia vasten yhdessä raudoituksen mekaanisen suhteeseen vaikutti koko betonirakenteen lujuuteen. Työmaalla betonin suhteutus tehtiin tilavuusosina 1:3:3 (sementti, hiekka, sepeli). Vesisementtisuhteen hallitseminen ei työmailla aina onnistunut, koska haluttiin käyttää ”märkää betonia” työsuorituksen takia. Tällöin betonimassassa oli liian vähän sementtiä, jolloin betonin puristuslujuus kärsi. Esim. Teknillisen korkeakoulun ai-neenkoetuslaitoksen tutkiessa vuonna 1935 kerrostalon palkkiraketeissa käytettyä betonia se todettiin tyystin ala-arvoiseksi. Väliohjapalkeissa havaittiin vaarallisia lohkeamia, jotka vaativat korjaustoimenpiteitä. /10./

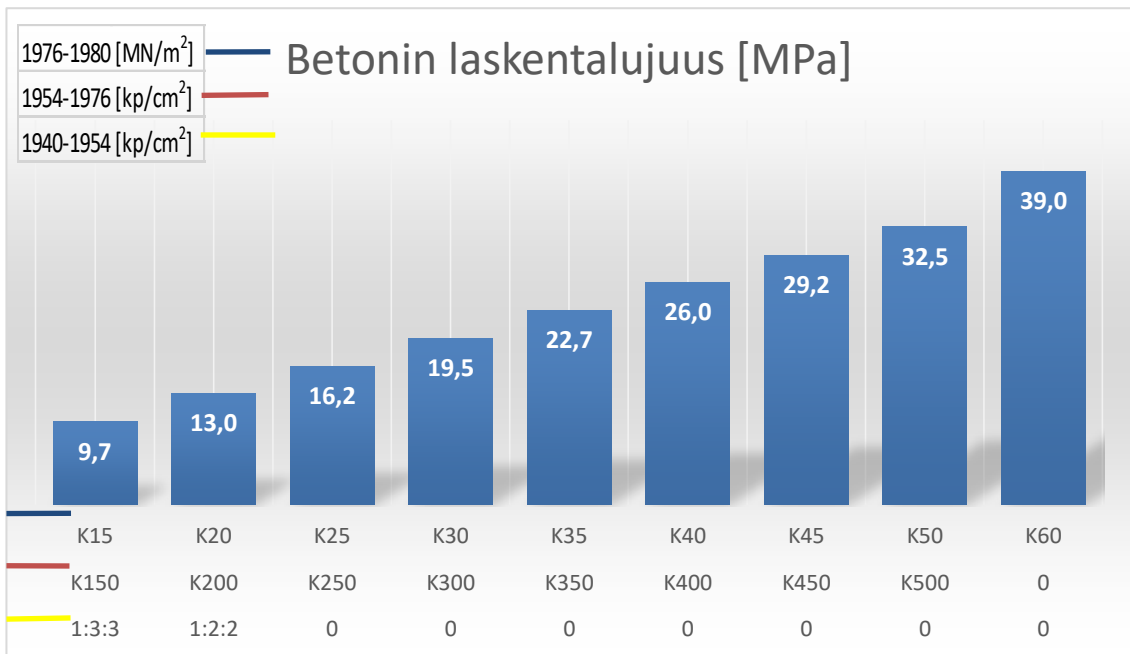
Betonin murtolujuusarvot perustuvat Helsingin kaupungin arvoihin sekä rakennusmes-tariyhdistyksen julkaisemaan rakentajain kalenteriin eri vuosikymmeniltä /10/.

Betonin murtolujuus koekuutioilla (20 cm x 20 cm x 20 cm) 28 vrk:n iässä				
	1913 (Helsinki)	1926 (Helsinki)	1929 (koko maa)	1936 (koko maa)
	vähintään 200 kg/cm ²	vähintään 200 kg/cm ²	vähintään 160 kg/cm ²	Tavallisia jännityksiä käytettäessä vähintään 140 kg/cm ² Korotettuja jännityksiä käytettäessä vähintään 180 kg/cm ²
Betonirakenteiden sallitut jännitykset				
	1913 (Helsinki)	1926 (Helsinki)	1929 (koko maa)	1936 (koko maa)
Rauta, vetojännitys	• 1200 kg/cm ² • 10 cm ohuemmissa laatoissa 1000 kg/cm ²	• 1200 kg/cm ²	• 1200 kg/cm ² • 10 cm ohuemmissa laatoissa 1000 kg/cm ²	• 1200 kg/cm ²
Betoni, puristus-jännitys (keskeinen puristus)	• ¼ murtolujuudesta • Betonisekoituksella 1:3:3, joka oli yleisin väliohjissa käytetty betonin sekoitus-suhde, 25 kg/cm ²	• ½ murtolujuudesta • Rakenteissa, joissa poikkipinnan lyhin leveysmitta on vähintään 30 cm, 35 kg/cm ² ja kun leveysmitta on pienempi, 30 kg/cm ²	• 35 kg/cm ² • Piiareissa ja tuissa ylimmässä kerroksessa 25 kg/cm ² , sitä lähinnä alemmassa kerroksessa 30 kg/cm ² ja muissa kerroksissa 35 kg/cm ²	• Tavallinen jännitys 35 kg/cm ² • Korotettu jännitys ½ murtolujuudesta max. 60 kg/cm ²
Betoni, puristus-jännitys (taivutus ja epäkeskeinen puristus)	• ⅓ murtolujuudesta • Yleensä 40 kg/cm ² , paitsi tukien luona negat. mom. aiheutta-ma puristus palkin alapinnassa (konsoli) 50 kg/cm ²	• ⅓ murtolujuudesta • Taivutuksen alaisissa rakenteissa yleensä 40 kg/cm ² • Jatkuvien palkkien tuilla 50 kg/cm ² • Rasitus epäkeskeisesti kuormitetuissa piilareissa ja kehärakenteissa 50 kg/cm ² , kuitenkin siten, että normaalivoima erikseen ei aikaansaa suurempaa rasitusta kuin 35 kg/cm ²	• 40 kg/cm ² • 10 cm ohuemmissa laatoissa 35 kg/cm ² ja vähintään 20 cm korkeissa täysissä suorakaiteenmuotoisissa poikkileikkauksissa 50 kg/cm ²	• Tavallinen jännitys 40 kg/cm ² • Korotettu jännitys ⅓ murtolujuudesta max. 65 kg/cm ² *

* Vähintään 20 cm korkeissa täysissä suorakaiteen muotoisissa poikkileikkauksissa sallittuja jännityksiä ylittää 10 kg/cm².

Kuva 12. Betonin puristuslujuudet vaatimukset ja sallitut jännitykset /10/.

Kaavioissa 6 esitetyt suhteutukseen perustuvat arviot ovat viitteellisiä, ja niiden lujuudet on johdettu suhteutustaulukoista vuoden 1965 betoninormeissa. Oletus betonin lujuus-arvoissa suhteutuksella työmaalla tehdyssä betonissa 1900–1920 luvuilla on tasoa 9,7–13,0 MPa.



Kaavio 6. Betonin lujuusmerkinnät ja laskentalujuus erivuosikymmeniltä /27/.

3.1.2 Teräksen kehitys ja lujuusarvot

Profilin no	Korkeus a mm	Läpisyys b mm	Paksuus		Pohkialue- kaus sm ²	Paino loka- mitat kg	Hitaisuusmom.		Vastustus mm ² /z sm ²
			d	t			Jy	Jz	
8	80	42	3,9	5,9	7,61	6,0	7,35	78,4	19,6
9	90	46	4,2	6,3	9,05	7,1	10,4	118	26,2
10	100	50	4,5	6,8	10,69	8,3	14,3	172	34,4
11	110	54	4,8	7,2	12,36	9,6	18,9	241	43,8
12	120	58	5,1	7,7	14,27	11,1	25,2	331	55,1
13	130	62	5,4	8,1	16,19	12,6	32,2	441	67,8
14	140	66	5,7	8,6	18,35	14,3	41,3	579	82,7
15	150	70	6,0	9,0	20,5	16,0	51,8	743	99,0
16	160	74	6,3	9,5	22,9	17,9	64,4	945	118
17	170	78	6,6	9,9	25,4	19,8	78,8	1177	139
18	180	82	6,9	10,4	28,0	22,9	95,9	1430	162
19	190	86	7,2	10,8	30,7	24,9	115,2	1719	187
20	200	90	7,5	11,3	33,7	26,2	138	2162	216
21	210	94	7,8	11,7	36,6	28,5	163	2587	246
22	220	98	8,1	12,2	39,8	31,0	192	3090	281
23	230	102	8,4	12,6	42,9	33,5	224	3642	317
24	240	106	8,7	13,1	46,4	36,2	261	4288	357
25	250	110	9,0	13,5	50,0	39,0	300	5014	401
26	260	113	9,4	14,1	53,7	41,9	341	5798	446
27	270	116	9,7	14,6	57,4	44,8	382	6689	496
28	280	119	10,1	15,2	61,4	47,9	429	7658	547
29	290	122	10,4	15,7	65,2	50,9	478	8712	601
30	300	125	10,8	16,2	69,4	54,1	530	9888	659
32	320	131	11,5	17,3	78,2	61,0	652	12622	789
34	340	137	12,2	18,3	87,2	68,0	789	15827	931
36	360	143	13,0	19,5	97,5	76,1	956	19766	1098
38	380	149	13,7	20,5	107,5	83,9	1138	24206	1274
40	400	155	14,4	21,6	118,3	92,3	1349	29446	1472
42 1/2	425	163	15,3	23,0	133,0	303,7	1672	37266	1754
45	450	170	16,2	24,3	147,7	115,2	2004	46204	2054
47 1/2	475	178	17,1	25,6	163,6	127,6	2424	56912	2396
50	500	185	18,0	27,0	180,2	140,5	2871	69245	2770
55	550	200	19,0	30,0	215,2	167,9	4028	99838	3630

Ratakiskotaulukko.
 Käytettyjen ratakiskojen kantavuus jännityksen ollessa 1200 kg/cm² ja kiskojen kuluneisuus otaksuttu 20 %:ksi.

Ratakiskon korkeus cm	Kantavuus kg/m tasaisesti kuormitettuna							
	Vapaa jänneväli metreissä							
	1,50	2,0	2,50	3,0	3,50	4,0	4,50	5,0
5	250							
6	430	250						
7	685	400	260					
8	1025	595	390	270				
9	1460	850	550	390	290			
10	2000	1160	760	530	395	305		
11	2660	1540	1010	710	525	405	315	
12	3450	2020	1310	920	680	530	410	335
13	4400	2550	1670	1170	870	670	520	425
14	5500	3200	2080	1470	1090	835	650	530

Kuvat 13–14. Rakentajan kalenteri 1930, Ratakiskojen kantavuus /10/.

Pyörörauta oli yleisin betonirauδοite, jota käytettiin betonissa. Harjateräs tuli vasta 1940-luvulla käyttöön. Hakarauδοitus voitiin korvata 1900-luvun alussa vanneteräksel-

lä. Verkkoraudoitus tehtiin sileistä pyöröraudasta. Hitsattua teräsverkkoa tuli työmaalle vasta 1930-luvulla. Sileiden pyörörautojen tartunnan parantamiseksi raudoituksen päät käännettiin koukulle. /10./

Vapaa- jänni- vähä m:ssä	I-raudat			Ratakiskot				Puuvuoliaiset		
	Kannattajien keskinäinen etäisyys keskeistä keskeille m:ssä									
	1,0	1,16	1,33	0,7	0,88	1,0	1,16	1,33	0,6	0,6	0,7
Normaaliprofiili No. (m cm)	Korkens em:ssä						Mitat tuumissa			
	1,5	8	9	9	7	7	8	8	8x4	8x4	8x5
1,75	10	10	11	7	8	8	8	8x5	8x5	8x5
2,0	11	11	12	8	8	9	9	8x5	4x5	4x5
2,25	12	12	13	8	9	9	10	4x5	4x6	4x6
2,5	12	13	14	9	9	10	10	4x6	4x6	4x7
2,75	13	14	16	9	10	11	11	4x6	4x7	4x7
3,0	14	15	16	10	11	11	12	4x7	4x7	5x7
3,25	15	16	17	11	11	12	12	4x7	5x7	5x7
3,5	16	17	18	11	12	12	13	5x7	5x7	5x8
3,75	17	18	18	11	12	13	13	5x7	5x8	6x8
4,0	18	18	19	12	13	13	.	5x8	6x8	6x8
4,25	18	19	20	12	13	.	.	5x8	6x8	6x9
4,5	19	20	21	13	.	.	.	6x8	6x9	6x10
4,75	20	21	22	.	.	.	.	6x9	6x9	6x10
5,0	21	22	23	.	.	.	.	6x9	6x10	6x11
5,25	21	22	23	.	.	.	.	6x9	6x10	6x11
5,5	32	23	24	.	.	.	.	6x10	6x11	6x12
5,75	23	24	25	.	.	.	.	6x10	6x11	6x12
6,0	24	25	26	.	.	.	.	6x11	6x12	6x13
6,25	24	26	27	.	.	.	.	6x11	6x12	6x13
6,5	25	26	27	.	.	.	.	6x12	6x13	6x14
6,75	26	27	28	.	.	.	.	6x12	6x13	6x14
7,0	26	28	29	.	.	.	.	6x12	6x13	6x15

Rautakannattajat.

Katon omapaino:

Betonilevy $0,08 \times 1,0^2 \times 2400$	= 192 kg/m ²
turvepehkkutäyte $0,2 \times 1,0^2 \times 200$	= 40 "
painotäyte $0,08 \times 1,0^2 \times 1300$	= 98 "
rappaus $0,04 \times 1,0^2 \times 1600$	= 32 "
rautakannattaja	= 25 "
permantolankut ja korokkeet	= 25 "
	<hr/>
	= 412 kg/m ²
liikkuva kuorma	= 250 "
	<hr/>
	= 662 kg/m ²

Puukannattajat.

Katon omapaino:

Permantolankut, korokkeet ja täytepohja ..	= 40 kg/m ²
turvepehkkutäyte $0,2 \times 1,0^2 \times 200$	= 40 "
painotäyte $0,08 \times 1,0^2 \times 1300$	= 98 "
kannattaja	= 45 "
rappaus $0,04 \times 1,0^2 \times 1600$	= 32 "
	<hr/>
	= 245 kg/m ²
liikkuva kuorma	= 250 "
	<hr/>
	= 495 kg/m ²

Kuvat 15–16. Suomen rakentajain kalenteri 1901 Saksalaisten I-rautojen tekniset tiedot ja laskenta esimerkki /10/.

Raudoituksen korroosiota esiintyy, jos sitä ympäröivässä betonissa esiintyy esimerkiksi halkeilua, joka poistaa raudoitukselta betonin sille antaman fysikaalisen ja kemiallisen suojan. Myös liian ohut betonipeitteen paksuus käyttökohteen olosuhteisiin alistaa betoniraudoitteen korroosiolle. Myös työtekniikka aiheutti raudoituksen ruostumisen, koska välipohjarakenteita ei suojattu esimerkiksi sateelta, kuva 17.

Niissä välipohjatyypeissä, joissa täyteaineena on käytetty muun muassa sahanpurua ja kutterinlastua sekä jätetty muottilaudoitus välipohjan sisään, kosteusolosuhteet ovat erilaiset kuin betonirakenteissa. Edellä mainitut täytteet sitovat hydroskooppisesti ilmaa kosteutta itseensä ja mekaanisen kosketuksen kautta siirtävät sen betonirakenteisiin. Tällä on myös merkitystä rakenteen kautta sisäilman mikrobipitoisuuksiin, kuva 18. Kosteuspitoisuus betonissa vaikuttaa palomitoitukseen sekä välipohjassa täyttöaineen palokuormaan ja palamisprosessiin. 1900-luvun alun kirjallisuudesta ei esiintynyt lujuusarvoja betoniteräksille eikä niiden kemiallista koostumusta.

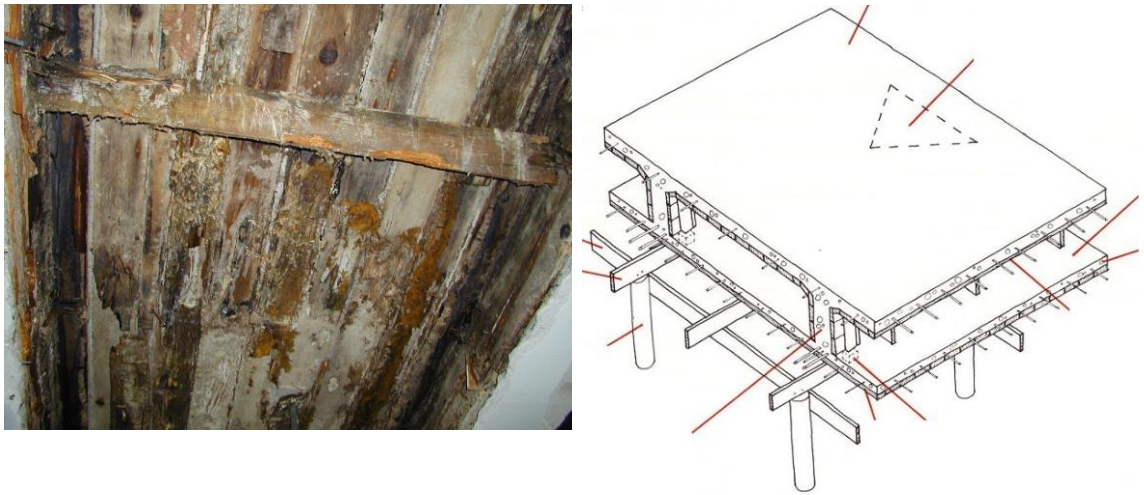


Kuva 17. Työmaaolosuhteet, lähde /31/.



Kuva 18. Kaksoislaattapalkiston ylälaatan laudoituksen pinnassa rihmakasvustoa lähde/31/.

Muottilaudoituksen rakennusterveellinen kunto vaihtelee paikoittain johtuen rakennusaikaisen kosteuden vaihteluista ja välipohjatäytteen kosteusvaikutuksista



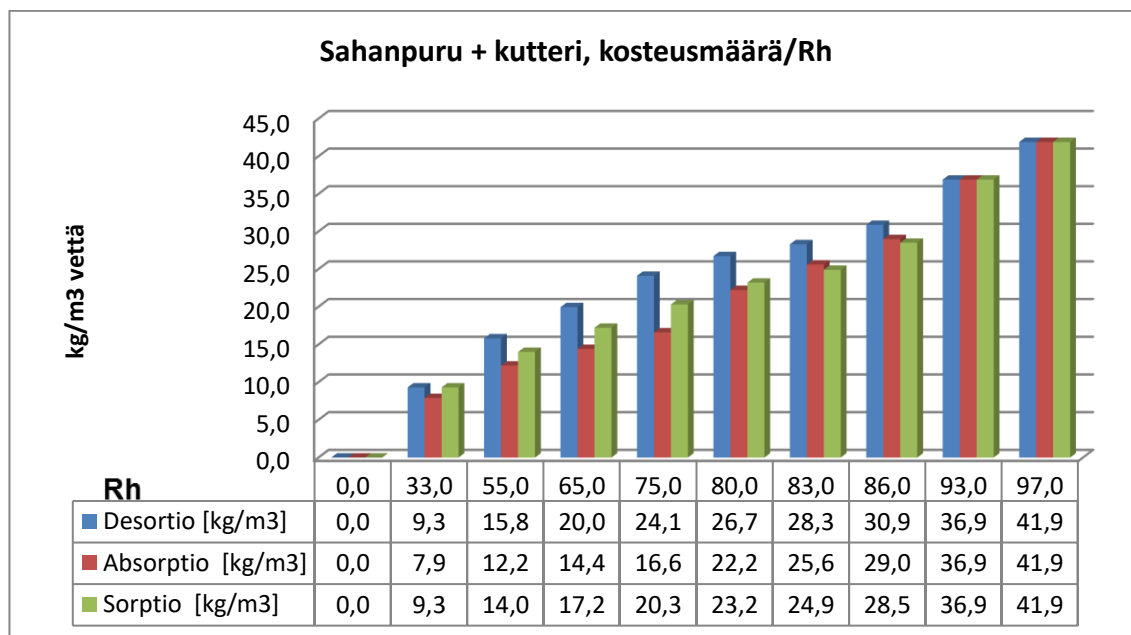
Kuva 19. Kosteuden vaikutus laudoituksessa, 1930 kaksoislaattapalkisto /23/.



Kuvat 20. Työmaa-aikaisia valokuvia kohteesta ja suunnittelijan näkemys tilanteesta

Korjauskohteesta on kuvattu eri työvaiheiden suorittamista työmaalla alalaattapalkiston osalta kuvassa 20. Organinen välipohjantäyte on mikrobipitoista ja alalaattapalkiston betonipinnat ovat desinfioitu kemikaalisilla aineilla.

Sahanpurun ja kutterinlastun yhdistelmällä on merkitystä palokuormaan. Välipohjatäyte kerää vettä rakenteisiin Rh:n muutoksien takia.



Kaavio 7. Sahanpurun + kutterinlastun kosteussisältö Rh muuttuessa lämpötilassa 23°C /46/.

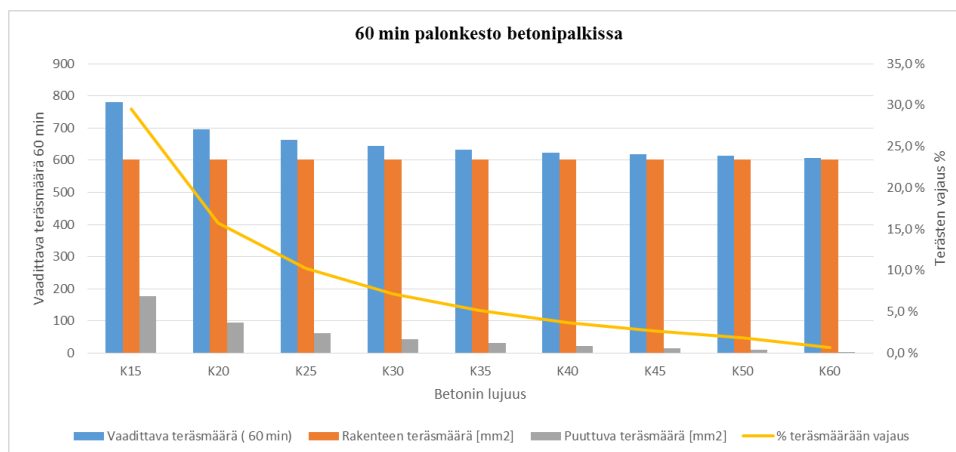
Kaavioissa 7 on esitetty kuinka paljon kuutio sahanpurua ja kutterinlastua pystyy sitomaan itseensä kosteutta sekä myös luovuttamaan sitä. Sahanpuru ja kutterinlastu ei ole koskaan täysin kuiva tai märkä vaan ”hysteeri” tilassa. Tasapainokosteus on esitetty kaavioissa 7 sorptiokäyränä, jossa muuttujina ovat aineen sitoma kosteus ja ilman suhteellinen kosteus. Kosteuden kulkeutuminen aineeseen kutsutaan absorptioksi ja poistumista aineesta kutsutaan desorptioksi. Rakennusaineen sisällä liikkuvaa kosteutta sanotaan sorptioksi, kun Rh on alle 98 %.

Talvella asuinrakennuksen Rh on yleensä noin 20–40 % ja kesäisin 60–80 %. Nämä Rh:n muutokset pumppaavat kosteutta rakenteissa ja rakennusaineissa.

Taulukko 5. Terästen suunnittelulujuudet ja merkinnät piirustukissa 1940-1980 /27/.

Lujuus [Mpa]	Terästyyppi	Piirustusmerkinnät		
		1940 - 1965	1965 - 1976	1976 - 1980
220	Sileät teräkset	St 37	A22 (S). Ø > 30 mm	A220 (S)
240		-	A22 (S). Ø < 30 mm	-
270		St 44	-	-
320		St 52	A32 (S). Ø > 30 mm	-
340		-	A32 (S). Ø < 30 mm	-
400	Harjateräkset	V 40 / F 40	A 40 H / A 40 HS	A 400 H(S)
500		-	-	B 500 (P)V
600		-	-	A 600 H

Kaavioissa 8 on esitetty betonin lujuuden vaihtelun merkitys palkin palonkestävyydelle. Raudoituksena on 3 Ø 16 mm terästankoa. Vaadittu teräsmäärä on laskettu isotermi 500 menetelmällä. Muuttuva tekijä kuvassa on betonin lujuusluokka. Kuvan perusteella voidaan päätellä, että lujuusluokan K20 betonilla saavutetaan tarpeeksi hyvä ratkaisu 60 minuutin rakenteeksi, jolloin lujuuden kasvattaminen ei ole betonissa taloudellisesti perusteltua. Myös korjauskohteissa puristuslujuuskokeiden tekeminen on turhaa, jos silmämääräiset arviot (halkeamat) antavat palkkien osalta olettaa, että betoni suunnitteluarvot täyttyvät kohteessa.



Kaavio 8. Vertailtu puristuslujuuden vaikutusta teräsbetonirakenteen palonkestolle käyttäen isotermi 500-menetelmää /27/.

3.1.3 Ääniarvojen vaatimukset ja rakenteet 1900-luvulla

Taulukko 6. Äänenerityksen vaatimuksien kehitys välipohjissa /36/.

Vuosi	Ilmaääneneristysluku R'_w vaakasuunnassa	Ilmaääneneristysluku R'_w pystysuunnassa	Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$
1955	51 dB	51 dB	62 dB
1960	52 dB	52 dB	56 dB
1967	52 dB	53 dB	58 dB
1971	52 dB	53 dB	58 dB
1975	52 dB	53 dB	58 dB
1984	52 dB	53 dB	58 dB
1998	55 dB	55 dB	53 dB

Ensimmäiset säädökset äänestä esitettiin L 26/1920 (helmikuussa 13) eräistä naapurisuhteista/25/. Vaatimukset esitettiin sanallisesti ja eikä näitä voinut todeta mittauksin. Mittaluvut tulivat 1955 suosituksina ja vuonna 1960 ehdotus ääneneristykseen osalta julkaistiin. Ilmaääneneristysluvun vaatimus nousi 52 dB:iin ja askeläänitasoluvun tapauksessa 56 dB:iin. Vuosina 1967–1999 voimassa ollut askelääneneristykseen vaatimustaso oli vuoden 1960 vaatimustasoa 2 dB lievempi. Toisaalta vaatimus ilmaääneneristävyydelle päällekkäisten huoneistojen välille kiristyi. Ilmaääneneristysvaatimus asuinhuoneistojen välille vaakasuuntaan pysyi samana. Ääneneristysnormeissa (RIL 55 1967) vuonna 1967 ilma- ja askelääneneristykselle esitetyt vaatimustasot pysyivät suuruudeltaan samoina vuoteen 1999 saakka. Tällä aikakaudella vaadittu ilmaääneneristävyys oli vaakasuuntaan 52 dB ja pystysuuntaan 53 dB. Välipohjan askeläänitasoluvuksi vaadittiin 58 dB.” /36/

Vaatimustaso sekä ilma- että askelääneneristävyydelle nousi ensi kerran yli 30 vuoteen, kun nykyiset Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK C1 1998) määräykset tulivat voimaan vuonna 2000 nostaten ilmaääneneristyslukuksi asuinhuoneistojen välille 55 dB ja askeläänitasoluvuksi 53 dB. Tämä merkittävä askelääneneristysvaatimustason nosto aiheutti merkittäviä muutoksia asuinkerrostalojen välipohjarakenteille. Siihen asti yleisimmin käytetty 265 mm korkuinen ontelolaatta ei enää täyttänyt vaatimuksia, vaan välipohjalaattoja paksunnettiin merkittävästi, jopa 370 mm asti./36./

Taulukoissa 7–9 Kylliäinen ja Lietzén selvittivät, miten ilmaääneneristys ja sekä askelääneneristys vaatimukset täyttyivät eri vuosikymmeniltä.

Taulukko 7. Asuntojen välisten vaakasuuntaisten ilmajääneristävyyden erivuosisikymmeniltä /36/.

Vuodet	Tulosten määrä	Ilmajääneristysluvun R'_{w} keskiarvo	Ilmajääneristysluvun R'_{w} keskihajonta	Vaatus (R'_{w})	Vaatus tyyttävien osuus
1955–1959	21 kpl	53,8 dB	4,4 dB	51 dB	81,0 %
1960–1967	19 kpl	51,8 dB	4,1 dB	52 dB	47,4 %
1967–1976	6 kpl	52,3 dB	3,3 dB	52 dB	50,0 %
1976–1999	22 kpl	55,1 dB	2,5 dB	52 dB	91,0 %
2000–2008	14 kpl	57,4 dB	1,3 dB	55 dB	100,0 %

Taulukko 8. Asuntojen välisten pystysuuntaisten ilmajääneristävyyden erivuosisikymmeniltä /36/.

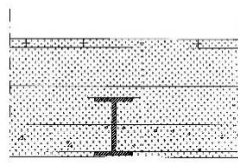
Vuodet	Tulosten määrä	Ilmajääneristysluvun R'_{w} keskiarvo	Ilmajääneristysluvun R'_{w} keskihajonta	Vaatus (R'_{w})	Vaatus tyyttävien osuus
1955–1959	15 kpl	54,7 dB	3,1 dB	51 dB	93,3 %
1960–1967	-	-	-	52 dB	-
1967–1976	22 kpl	52,1 dB	4,0 dB	53 dB	63,6 %
1976–1999	46 kpl	53,9 dB	3,4 dB	53 dB	69,6 %
2000–2008	38 kpl	57,3 dB	1,9 dB	55 dB	94,7 %

Taulukko 9. Asuntojen välisten pystysuuntaisten askelääntasolukujen arvot erivuosisikymmeniltä /36/.

Vuodet	Tulosten määrä	Askelääntasoluvun $L'_{n,w}$ keskiarvo	Askelääntasoluvun $L'_{n,w}$ keskihajonta	Vaatus ($L'_{n,w}$)	Vaatus tyyttävien osuus
1955–1959	21 kpl	57,1 dB	4,7 dB	62 dB	85,7 %
1960–1967	66 kpl	55,0 dB	4,3 dB	56 dB	65,2 %
1967–1976	33 kpl	57,5 dB	6,1 dB	58 dB	45,5 %
1976–1999	20 kpl	55,4 dB	3,7 dB	58 dB	85,0 %
2000–2008	127 kpl	48,8 dB	3,9 dB	53 dB	92,9 %

Lähteen 38, Gyproc Oy kehityspäällikön Seppo Leimalan ja professori, arkkitehti Alpo Halmeen vanhoille alla oleville välipohjarakenteille antamat ääneneristävyyden arvot R'_{w} ja $L'_{n,w}$. Ilman korjaustoimenpiteitä ääneneristävyyden arvot eivät täyty vaatimustasoon verrattuna eri vuosikymmeniltä. Vaatimustasot on ilmoitettu niille rakenteille, joissa ääneneristävyyden määrät ovat voimassa.

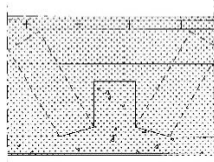
1910–1920-luku (asuinkerrostalot), ei vaatimustasoa



PERUSRAKENNE :
 - lauta
 - korokepuut
 - kiilaus
 - betoni 50 – 70 mm
 - rappaus + pintakäsittely

R' w (dB)	L' n, w (dB)	
	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
55 – 59	58 – 62	54 – 58

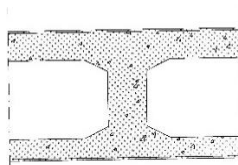
1930–1950-luku (asuinkerrostalot), ei vaatimustasoa



PERUSRAKENNE :
 - lauta
 - korokepuut / täyte
 - alalaattapalkisto
 - rappaus
 - pintakäsittely

R' w (dB)	L' n, w (dB)	
	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
52 – 55	58 – 62	54 – 58

1930–1950-luku (asuinrakennukset), ei vaatimustasoa

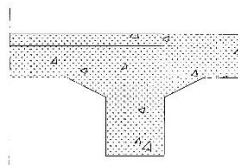


PERUSRAKENNE :
 - päällyste
 - betoninen kaksoislaattapalkisto, ylälaatta n. 70 mm
 - ontelolaatta / täyte
 - alalaatta n. 50 mm
 - rappaus
 - pintakäsittely

R' w (dB)	L' n, w (dB)	
	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
52 – 55	66 – 70	54 – 58

1930–1960-luku (Koulu-, teollisuus-, toimisto- ja liikennerakennukset), vaatimustasot

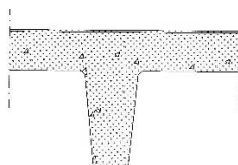
R' w 51 dB ja L' n,w 62 dB



PERUSRAKENNE :
 - päällyste + tasausbetoni 30 mm
 - ylälaatta n. 80 mm
 - rappaus

R' w (dB)	L' n, w (dB)	
	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
44 – 48	70 – 75	58 – 62

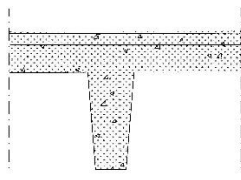
1960-luku (tuotanto- ja liikerakennukset), vaatimustasot R' w 52 dB ja L' n,w 56 dB



PERUSRAKENNE :
 - päällyste
 - 100 mm kupulaatta

R' w (dB)	L' n, w (dB)	
	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
50 – 54	70 – 75	56 – 60

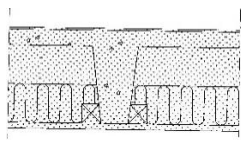
1970-luku (tuotanto- ja liikerakennukset), vaatimustasot R'_w 53 dB ja $L'_{n,w}$ 58 dB

	PERUSRAKENNE : - päällyste - 60 mm ja 70 mm TT -laatta tasauskerroksineen	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	
		44 – 47	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
			70 – 75	58 – 62

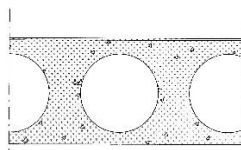
1970–1980-luku (asuin rakennukset), vaatimustasot R'_w 53 dB ja $L'_{n,w}$ 58 dB

	PERUSRAKENNE : - päällyste - Nilcon -elementti	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	
		54 – 57	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
			58 – 62	53 – 58

1970–1980-luvuilta (Kuopion ja Mikkelissä PLS – 80 järjestelmä), vaatimustasot R'_w 53 dB ja $L'_{n,w}$ 58 dB

	PERUSRAKENNE : - päällyste - 40 mm ripalaatta PLS - 80 - levykatto	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	
		48 – 53	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
			70 – 75	58 – 62

1970-luvulta lähtien, vaatimustasot R'_w 53 dB ja $L'_{n,w}$ 58 dB - R'_w 55 dB ja $L'_{n,w}$ 53 dB

	PERUSRAKENNE : - päällyste - ontelolaatta 200 mm, 265 mm, 320 mm	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	
		53 – 60 ¹⁾	1. kova päällyste	2. joustava päällyste
			66 – 70	53...60

Vielä, voimassaoleva RakMK C1 1998 (päättyy 2018 mennessä) vaatimustaso on äänessä R'_w 55 dB ja $L'_{n,w}$ 53 dB. Alkuperäisillä raketeilla ko. arvoja ei saavuteta ja tätä vielä tukee Kylliäinen ja Lietzén tutkimus, että raketeilla ei saavutettu silloistakaan vaatimustasoa, kaikissa kohteissa.

Rakennusviranomaisten harkinnassa on, että täytyykö alkuperäinen vaatimustaso ääneneristävyyden osalta olemassa olevilla rakenteilla. Jos rakenteet täyttävät sen aikakauden määräykset, niin tällöin taannehtivasti ei voi vaatia ääneneristysten parantamista nykytasoon. Paras tapa on tämä varmistaa ääniteknisillä mittauksilla ennen korjaussuunnittelua esimerkiksi esisuunnittelun aikana.

Niiden aikakauden rakenteissa, joissa ei ole vaatimustasoa ääneneristävyyden osalta pyritään parantamaan alkuperäistä tilannetta nykypäivän tasolle. Yleensä välipohjatäytöt on tehty orgaanista aineosista, jolloin purkutyöt ulottuvat täytteiden poistoon. Tällöin rakennusvalvonnat ovat edellyttäneet ääneneristävyysvaateiden täyttymistä kohteissa.

4 BETONIVÄLIPOHJIEN PALOFYSIKAALLISET SEIKAT

Tässä osiossa selvitetään perusteet asioille, joita maankäyttö- ja rakennuslain vaatimukset edellyttävät korjausrakentamiselta sekä mitä mitoitusmenetelmiä käytetään korjausrakentamisessa. Lisäksi analysoidaan muutamia esimerkkitapauksia.

4.1. Palomääräysten kehitys 1900-luvulta nykypäivään

Korjaamirakentamisessa täytyy tuntea korjauskohteen palomääräykset sekä rakenteet. Jos korjausrakentamisessa käyttötarkoitus ei muutu ja korjataan samalaiseksi kuin rakennus on alun perin ollut, niin tällöin taannehtivia säännöksiä ei voida muuttaa nykypäivään. Tästä esimerkkinä Museoviraston suojelukohteet asuin-, julkisten -, toimistorakentamisen osalta 1800-luvun lopulta 1930-luvun funkistyylin (Alvar Aalto) /24/.

Rakennusvalvonnoilla on viranomaisharkinta sen suhteen, missä kohdin aletaan vaatia rakenteisiin esim. palomääräyksiä täyttämistä nykytasolle, kun kyseessä on korjausrakentaminen. Vanhojen rakennusten osalta ongelma on, että korjaustoimenpiteissä vuosikymmenten ajalta ei ole saavutettu nykyajan tasoa paloturvallisuudessa. Näin on kertynyt palokorjausvelka.

Paloriskit vanhoissa raketeissa / rakennuksissa johtuvat muun muassa vanhoista rakennusmääräysten tasosta, virheellistä paloteknisistä ratkaisuista, rakenteiden toimivuuden teknisestä ikääntymisestä ja ylläpidon- sekä huollon laiminlyönneistä.

Palomääräyksiä ja ohjeiden kehitys:

- Suomen rakentamismääräyskokoelma 1976 E1 ja E5 betonirakenteiden palosuojaus
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 1981 E1 ja lisä sivut 1985
- Rakenteellinen paloturvallisuus. Määräysten soveltamisesimerkkejä (Tiedotuksia 6/1983)
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 1997 E1 ja ympäristöopas 39, 1998
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2002 E1
- Ympäristöopas 39, 2003 korjattu painos
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011 E1

- Luonnos uusista määräyksistä (13.12.2016)

Taulukko 10. Palomääräysten vertailua P1 luokan rakennuksessa/33/.

	Palokuormaryhmä	P1 LUOKAN RAKENNUS 3-8 krs.		
	1962 / pieni	2011 / alle 600 MJ/m ²	2011 / 600 MJ/m ² - 1200 MJ/m ²	2011 /yli 1200 MJ/m ²
Kantavat seinät ja pilarit	a 1	R 60	R 120	R 180
Yli 4 krs	a 2	R 60	R 120	R 180
Kellarissa	a 2	R 60	R 120	R 180
Välipohjat (ala-, väli ja yläpohjat)	a 1	R 60	R 120	R 180
Osaston sisäiset	a 1/2			
Kellarien väliset	a 1	R 60	R 120	R 180
Porrassyöksyt ja tasanteet	a 1/2	R 30	R 60	R 60
Palo- ja savuvarmassa uloskäytävässä	a 1/2	R 30	R 60	R 60
Osastoja toisistaan erottavat seinät	a 1	EI 60	EI 90	EI 120

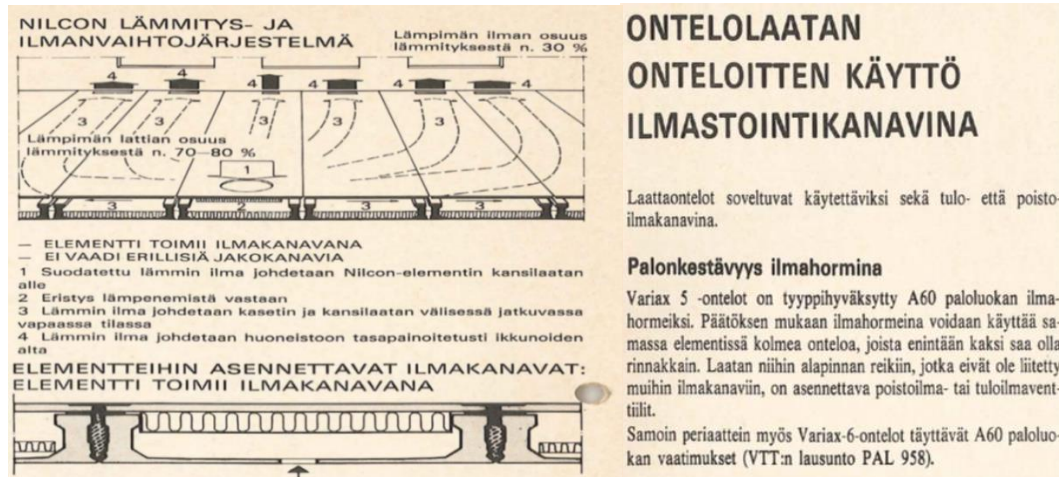
Vuoden 1962 määräykset olivat voimassa vuoteen 1976 asti, joten ontelolaatta ja U-kotelolaatat eivät täytä vaatimustasoja palon kestoltaan, jos palokuorma on yli 600 MJ/m². Massiiviset laatat paksuudeltaan noin 190 mm täyttävät rakenteellisen paloluokituksen, jopa yli 120 minuutin. /29, 30./

Määräyksissä esitetyt oviratkaisut eivät ole nykytasolla, eivät tiiveyden osalta eivätkä tekniseltä toimivuudeltaan palossa. Myös itsesulkeutuvat ovityypit puuttuvat. Oven automaattinen sulkeutuminen estää palokaasujen pääsemisen huoneistosta esim. porraskäytävään sekä parhaimmalla tapauksella auttaa tukehduttamaan paloon tarvittavan ilmamäärän. Myös ovien palotestaukset sekä vaateet ovat muuttuneet asiasta.

Vanhat väliseinärakenteet eivät täytä nykyisiä palomääräyksiä, jos ne eivät ole massiivisia tai tehty vuoden 1995 jälkeen. Tähän liittyy osaltaan palotestauksen standardien muuttuminen ISO 1975 nykyisiin standardeihin. Massiivisissa seinissä on aina ollut tiiveysongelma, joka pitää korjauskohteissa varmentaa esim. savukokeella.

Vanhojen rakennusten paloturvallisuudessa kannattaa huomioida se, että läpivientien palosuojaukseen tuli vasta 1976 määräys rakenneosan tiivistämisestä. Savukaasut, jotka tulevat paineella rakenteiden lävitse palossa, ovat vaarallisia ja aiheuttavat helposti suuronnettomuuden vaaraa. Esim. Jenni Malinen toteaa diplomityössään (Aalto yliopisto, 2015), etteivät kaksoislaattapalkistot ole tiiviitä /31/. U-kotelo välipohjat, kuten Nilcon, johtavat lämminilman alemmasta kerroksesta ylempään asuintilaan, rakennekuva

20 /32/. Ontelolaatat käyttäytyvät samoin. Savukaasujen huomioitumista ja leviämistä ei ole otettu täysin huomioon, koska siitä ei ollut määräyksiä 1970-luvun alussa.



Rakennekuva 20. Nilcon ilmanvaihtojärjestelmä. Kuva 21. Ontelolaatta ohjeistus.

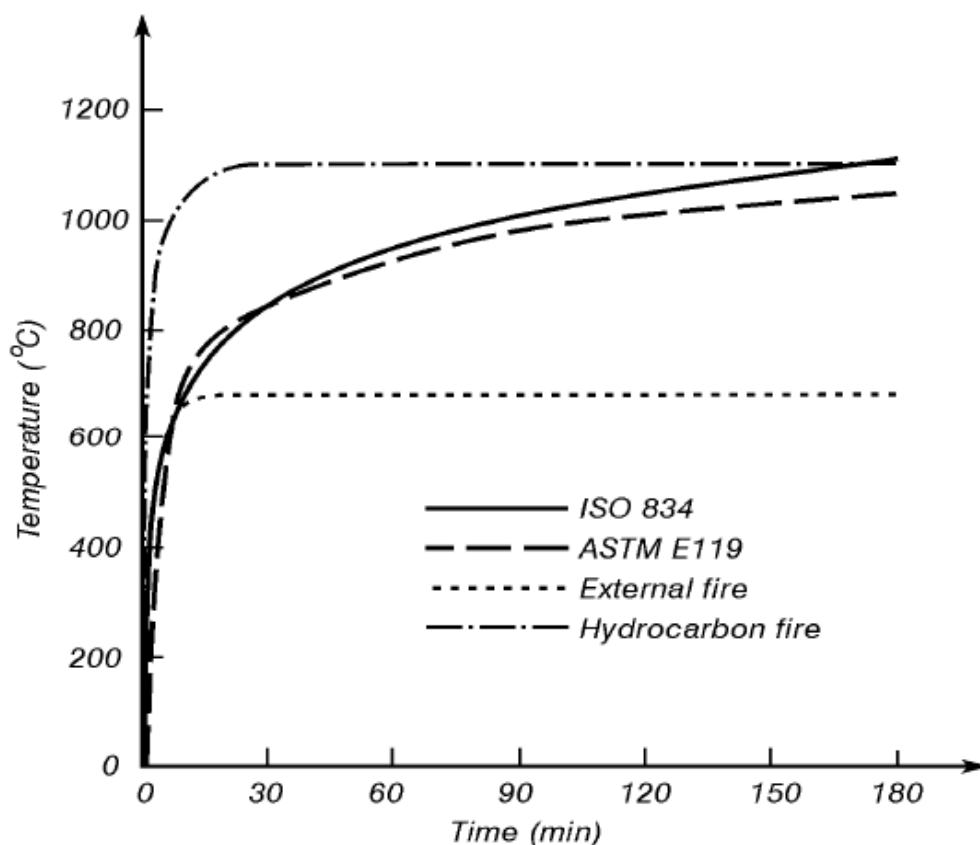
Nykyiset palomääräykset antavat rakenteille mahdollisuuden osoittaa vaatimuksenmukaisuus kokeellisesti, laskennallisesti, yhdistämällä koe- ja laskennallisia tuloksia tai käyttämällä hyväksyttävää taulukkomitoitusta.

Eurokoodin mukaisessa mitoitusta en käy lävitse, koska se ei ole tämän lopputyön tarkastelunäkökulma. Esitän taulukkomitoitusta sekä paloon liittyviä perusasioita huomioiden muun muassa betonirakenteet. Eurokoodin mukainen laskenta ei sovellu korjausrakentamiseen, sen takia, että sillä ei pystytä mallintamaan täysin kaikkien rakennusosien ja materiaalien yhteistoimintaa palossa esimerkiksi betonin kimmomoduulit muuttuvat palon kehittyessä. Rakenteiden sisällä voi olla palosta sekä lämmöstä syttyviä täytemateriaaleita, jotka muodostuvat palokuormaksi, kun materiaalin syttymislämpötila lähestyy tai ne alkavat kyttemään. Tarkemmin huoneiston palon saa mallinnettua erilaisilla ohjelmilla, mutta ohjelmien on oltava validoituja esim. akreditoitussa laitoksissa.

4.2. Betonirakenteiden palotestaus ja huoneistopalo

Rakenteiden testaukselle EU-alueella on taustalla erilaiset EN -standardit, joissa kuvataan testimenetelmät ja kriteerit, tulosten hyödyntäminen sekä laajennusmahdollisuudet. Näiden testitulosten perusteella, hyväksynnässä tarkistetaan testauksen menetelmät ja käyttökohteet. Yleensä testaus ja hyväksyntä ovat eriytettyjä toimintoja, jottei synny

ristiriitaa puolueettomuudesta. Betonirakenteiden testausstandardi on SFS-EN 13381-3, joka on vahvistettu Suomessa 18.5.2015. Testausmuutos nykyiseen standardiin vie rakennusteollisuudelta useita vuosia, jotta rakenneosat voidaan testata voimassa olevalla standardilla. Tähän vaikuttavat testauslaitoksien testausnopeus, yritysten tarve tehdä varmennuspoltoja tai kehittää uusia ratkaisuja sekä ulkoiset paineet viranomaispuolelta.



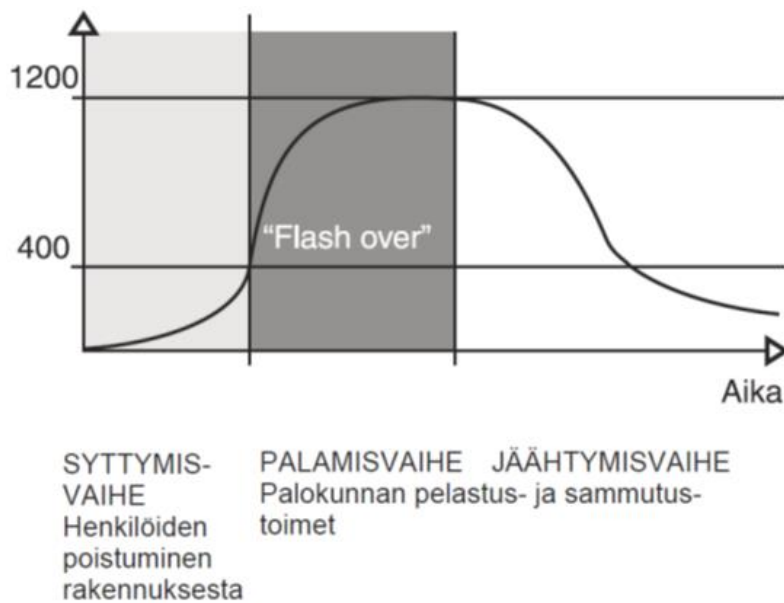
Kaavio 9. Palokäyrät joita käytetään testauksessa /42/.

ISO 834 käyrä on polttolaitoksien peruskäyrä Euroopassa. ASTM E19 käytetään Amerikassa ja Kanadassa. Hiilivetykäyrää käytetään esim. tunnelipalotestauksessa. Ulkopuolisen palon käyrää käytetään sellaisten materiaalien testaamiseen, jotka ovat alttiina tulelle julkisivussa. Hitaasti palavaa palotestiä käytetään materiaaleihin, jotka ovat reaktiivisia vaikutuksen alaisena palossa.

SFS-EN 13381-3 testausstandardissa on testauksen osalta esitelty myös paineet, joita käytetään palossa sekä myös poikkeava vaatimus, jossa koekappaleet on poltettava kahden kertaan. Testauksessa käytetään EN 1363-1 standardia uunin paineiden ja lämpötilojen suhteen. Suurimmat erot ISO 834 ja EN 1363-1 välillä ovat lämpöantureiden käyttö polttouunin ohjauksessa, paine, yhden lisälämpöanturin käyttö polttokokeen aikana ja

ns. pumpulitukkokoe koekappaleen halkeaman kohdalla. Koe voidaan tehdä myös EN 1363-2 standardin mukaan.

Polttokokeessa käytettävien rakennusosien materiaalien tulee olla CE-merkittyjä ja niiden EN standardien kuten (EN 10080, EN 206) mukaisia esim. toleranssien, painojen, mekaanisten ominaisuuksiltaan jne.

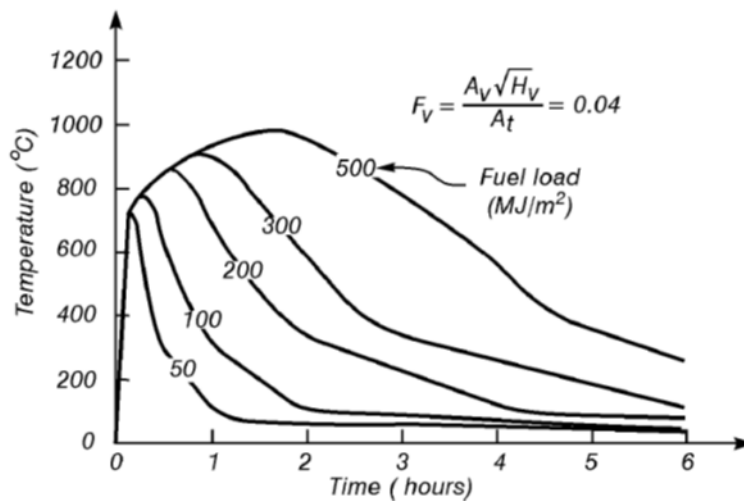


Kaavio 10. Huoneistopalon kehitys /47/.

Palon ensimmäisessä vaiheessa eli syttymisvaiheessa lämpötila kohoaa hitaasti noin 400 °C asti. Syttymisvaihe on henkilöturvallisuuden kannalta ratkaiseva ja se asettaa rakenteiden pintakerrosten syttymisherkkyydelle suurimmat vaatimukset. Palo siis kytee, mutta ei leimahda.

Kun lämpötila lähestyy 400°C astetta, syntyy vähähappisessa palotilanteessa, esimerkiksi suljetussa huoneessa, hiiltymällä ensin runsaasti vähähappisia orgaanisia yhdisteitä. Hiiltyminen kuluttaa kaiken käytettävissä olevan hapen eikä sitä riitä täydelliseen palamiseen. Kuumentunut hiilikerros puun ympärillä jopa pelkistää syntyneitä orgaanisia kaasuja. Kun nämä sitten saavat happea esimerkiksi ikkunan rikkoutuessa tai ovea avattaessa, ne syttyvät yhtäaikaan räjähdysmäisesti. Tätä tapahtumaa kutsutaan leiskahdukseksi (flashover), jonka jälkeen lämpötila nousee äkillisesti ja samalla käynnistyy tulipalon toinen vaihe, palamisvaihe. Tällöin lämpötila nousee 1100–1200°C lämpötilaan. Kun kaikki palava materiaali on palanut, seuraa palon kolmas vaihe, jäähtymisvaihe, jolloin lämpötila laskee nopeasti. /47./

Palokuorman massalla ja laadulla on palossa merkitystä niin lämpötilojen kuin palon keston suhteen. Palo voi olla kytevää, riippuen materiaalin ominaisuuksista ja olosuhteista.



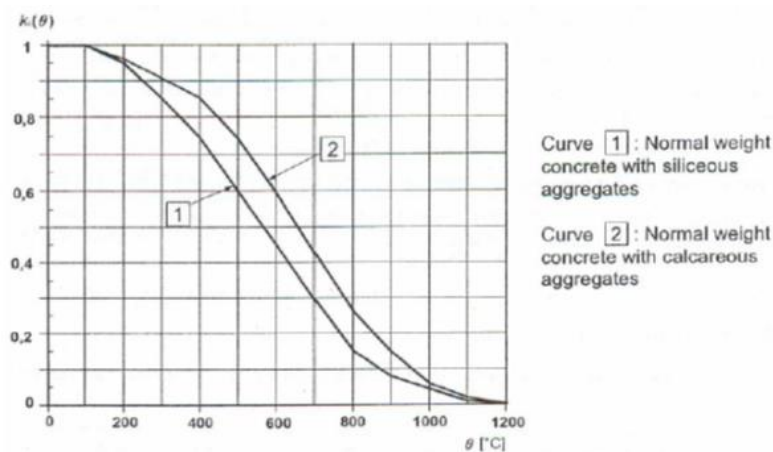
Kaavio 11. Palokuorman merkitys palossa, kun ilmavirtaus on vakio /42/.

4.3. Betonimateriaalin käyttäytyminen palossa

Kuumentuneen betonin muuttuneet mekaaniset ominaisuudet eivät ole yhtä yksiselitteisiä kuin esimerkiksi teräksellä. Betonirakenteen ominaisuudet, kuten kiviaines, kosteuspitoisuus ja jännitystilä ja betonilujuusluokka, mekaaninen raudoitussuhde, raudoituksen laatu ja betonipeitteen suojakerros vaikuttavat palokestävyyteen. Lujuuteen vaikuttavat myös raudoituksen korrosio ja betonointityön jälkihoito sekä halkeamat esim. virumisen johdosta. Kylmämuokattu teräs menettää jo lujuuttaan 100–200°C lämpötilassa /50/.

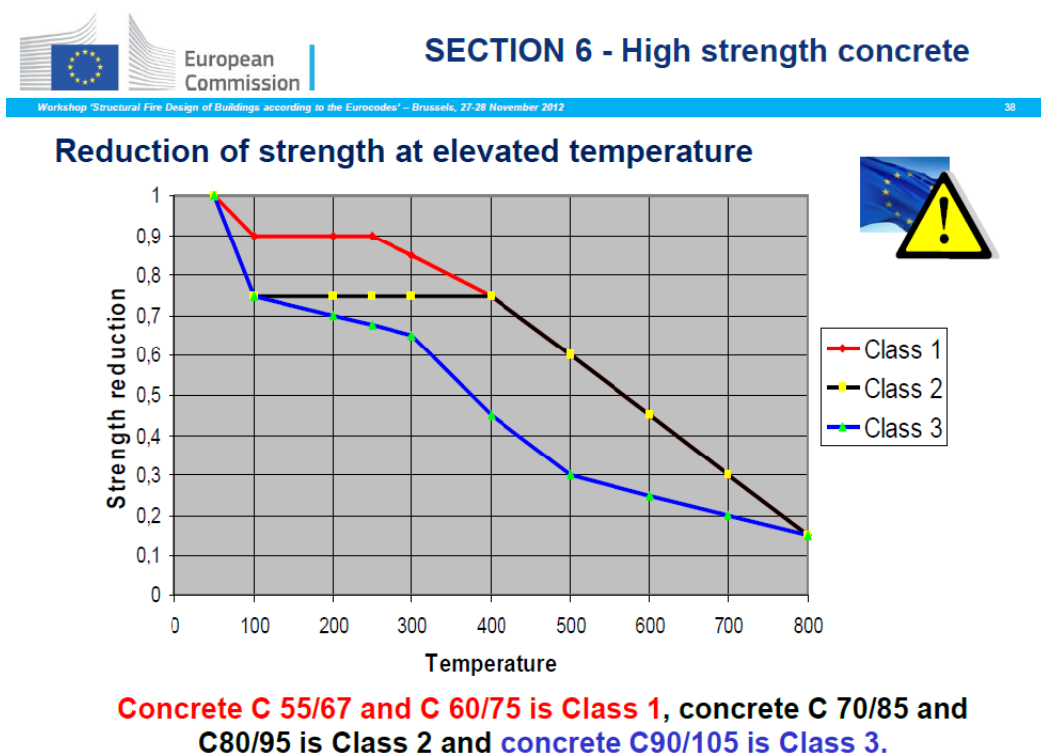
Suomalainen luonnonkiviaines on vastaavanlainen kuin Eurokoodissa eritelty silikaattipitonen kiviaines. Betonin puristuslujuus alenee lämpötilan kohotessa, aleneminen alkaa jännitystilasta riippuen tavallisella betonilla 100–350°C lämpötilassa, katso kaavio 12. Heikentyminen betonissa on aluksi melko hidasta, mutta heikentymisnopeus lisääntyy lämpötilan ylittäessä 600°C. Yksinkertaisissa tarkasteluissa betonin lujuudeksi voidaan olettaa nolla, kun lämpötila ylittää 500°C. Tätä käytetään Eurokoodi mitoituksessa ja taulukkomitoituksen perusteena.

Alla olevasta kuvaajasta huomaa, että 500°C kohdalla jäljellä on noin 60 % betonin puristuslujuudesta.



Kaavio 12. Betonin puristuslujuuden riippuvuus lämpötilasta EN1992 -1-2 mukaisesti.

Korkealujuuksisten betonin lujuuden muuttuminen on nopeampaa kuin alhaisempien betonilujuuksien osalta. Tähän vaikuttavat huokosrakenteen erilaisuus sekä ainesosien suhteutukset. Karkeasti arvioiden ei korkealujuuksisen betonin lujuuskato on 500°C kohdalla noin 1/3.



Kaavio 13. Korkealujuuksisten betonilujuuksien muuttuminen eri lämpötiloissa /51/.

Myös Betonin materiaaliominaisuudet muuttuvat lämpötilan muuttuessa. Alla olevissa taulukoissa 11 sekä 12 ja kuvassa 22 asia on esitetty lyhyesti.

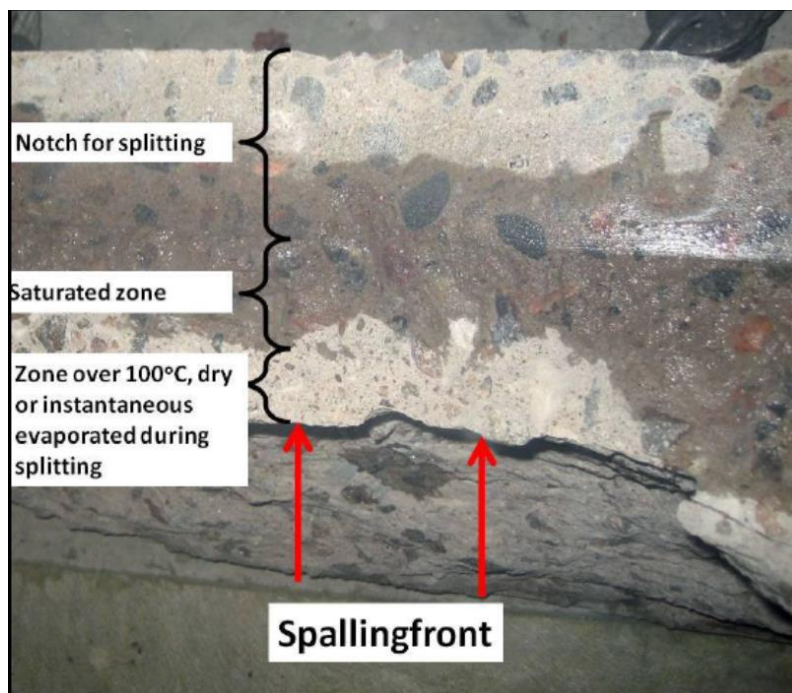
Taulukko 11. Lämpötilan vaikutus betoniin /52/.

Lämpötila-alue °C	Seuraus	Tapahtuma
20 - 300	Huokosveden poistuminen	Veden poistuminen
300 - 490	Adsorboituneen veden poistuminen	Veden poistuminen
490 - 540	Kalsiumhydroksidin poistuminen	Hajoaminen
573	Kvartsi kiderakenteen muutos	Muutos
573 - 750	β-dikalsiumsilikaatin muodostuminen	Hajoaminen

Taulukko 12. Betonivärin muutos palon jälkeen /52/.

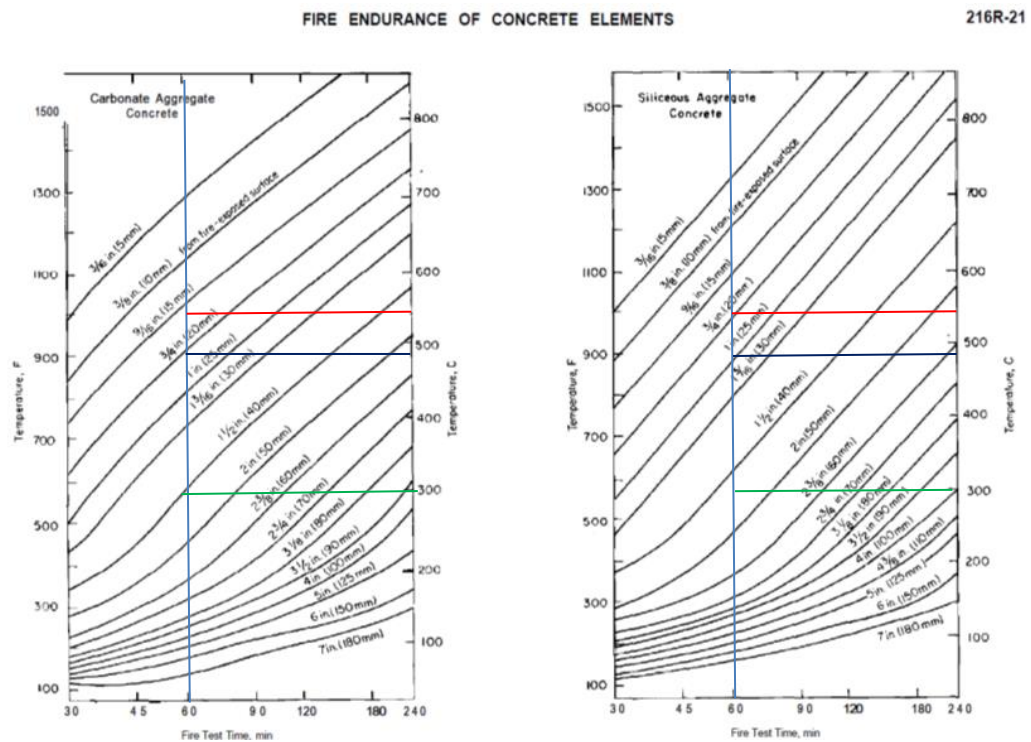
Betonin lämpötila	Betonin väri
> 300	punertava
> 600	harmahtava
> 900	ruskehtava, kellertävä

Betoni värimuutoksilla voidaan arvioida lämpötilat ja miten palosta aiheutuva lämpö-eteneminen betonissa. Tällöin voidaan päätellä palon kulku ja seuraukset betonissa.



Kuva 22. Betonin poikkileikkaus palokokeen jälkeen /53/.

Alla olevassa kaaviossa 14 on käyrästä, jossa lämmön eteneminen esitetään betonissa ajan ja betonilaatan paksuuden funktiona. Kuvaajaan on lisätty myös palosta aiheutuvan lämmön tekemät muutokset 60 minuutin kohdalle.



Kaavio 14. Lämpötilat betonilaatan osalta /55/.

Kaavioissa 14 on laitettu lämpö 60 min kohdalle pystyviiva ja vaaka akselille kriittisten lämpötilojen vaikutusasteikon määrittäminen taulukosta 4 seuraavasti:

Huokosveden poistuminen =	—————	20–300°C
Adsorboituneen veden poistuminen =	—————	300–490°C
Kalsiumhydroksidin poistuminen=	—————	490–540°C

Kuvaajasta pystyy hahmottamaan kemialliset reagoinnit lämpötilan kanssa eri betonilaatan paksuuksien suhteessa.

4.3.1 Betonin peitepaksuuden tutkiminen ja määrittäminen

Ensimmäinen betoniterästen suojapeitevaatimus oli vuoden 1954 normeissa 20 mm. Vuoden 1963 normeissa betonin suojapeitevaatimus määräytyi rakenteiden lujuuksien

kautta. Tästä syystä betonipeitepaksuuden minimiksi muodostui 10 mm. Vuonna 1965 tuli muutos, jossa normiksi harjaterästen osalta 20 mm ja sileiden tankojen osalta 15 mm. Vasta vuoden 1977 betoninormeissa suojabetonipeitevaatimus nostettiin 25 mm:n kosteissa sisä- ja ulkotiloissa oleville betonirakenteille. Vuonna 1980 betoninormeissa otettiin käyttöön erilaisia rasiustasoja kuvaavat ympäristöluokat./37./

Ainetta rikkomattomia menetelmiä on kehitetty raudoitteen paksuuden selvitykseen sekä sijaintiin betonirakenteissa. Tämän lisäksi on korroosioasteen selvitykseen kehitetty uusia menetelmiä.

Esimerkki sähköinen pulssivasteanalyysi (CEPRA) /56/.



Kuva 22. Mittauslaite /56/.

Uusia mittaustapoja on lisää sähköisessä tietokannassa: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/8/19069/htm>

4.3.2 Betonirakenteen paksuuden määrittäminen ja betonipeitteen antama suojaus paloa vastaan

Testausstandardin EN 13381-3 on esitetty esimerkiksi betonilaatoille kriteerit, miten eri paksuusvyöhykkeillä lämpötilat saavat olla lukuarvoina palonkeston funktiona. Alla olevassa taulukossa 13 on esitetty nämä arvot.

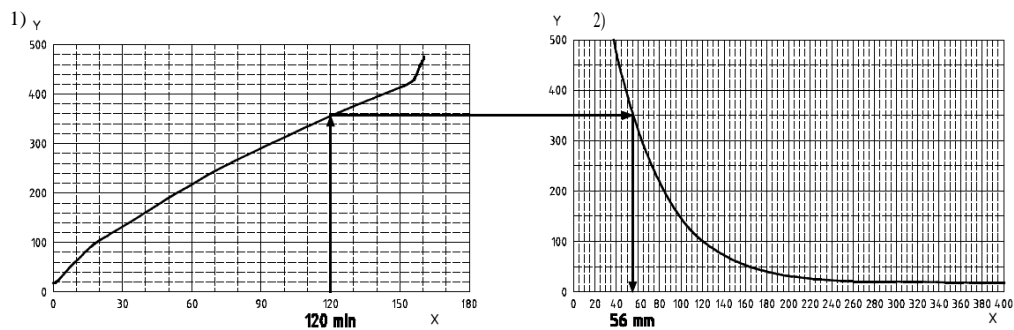
Taulukko 13. EN 13381-3 kriteerit betonilaatoille, lujuusluokat C 20/25–50/60 ja korkealuokat C 55/67–90/105 /43/.

Exposure duration (min)	Depth inside concrete slab along vertical axis (mm)																				
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	753	509	344	233	156	107	77	56	42	33	28	24	22	21	21	20	20	20	20	20	20
60	897	683	519	395	301	229	173	131	102	80	64	52	42	36	31	27	25	23	22	21	21
90	971	778	622	497	398	319	255	203	162	129	105	86	72	60	50	43	37	33	29	27	25
120	1021	843	694	571	471	388	320	264	217	178	146	121	101	86	73	62	53	46	40	36	32
180	1089	934	796	678	577	492	420	359	306	261	223	190	161	137	118	102	89	78	68	60	53
240	1136	995	867	754	655	570	496	432	377	328	286	249	217	188	164	142	124	109	97	86	77

Exposure duration (min)	Depth inside concrete slab along vertical axis (mm)																			
	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
90	23	22	22	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
120	29	27	25	24	23	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
180	47	42	38	35	32	29	27	26	25	24	23	22	22	21	21	21	21	20	20	20
240	69	61	55	50	45	41	37	34	32	30	28	27	25	24	24	23	23	22	22	22

Taulukon 13 avulla arvioiden R 60 rakenteen lämpötilat 40 mm paksuisella betonilaatalla on 301°C, jossa puinen rakennusmateriaali jo palaa. Jos betonilaatan paksuus on vain 30 mm vastaavassa paloluokassa, niin lämpötila on 395°C. Jos betonilaatan paksuus on 80 mm, niin tällöin lämpötila on 102°C. Betonissa ei tulipalossa synny mekaanisia vaurioita, kun lämpötila on alle n. 100°C. Tästä johtuen 80 mm betonilaatassa tapahtuu muutoksia ja vaurioita 0–60 mm, syvyydeltä.

Raudoituksen suojaetäisyyden määrittäminen EN 13381-3 mukaisesti.



Kaaviot 15 ja 16. R 120 betonilaatan raudoituksen suojabetonin paksuuden määrittäminen /43/.

Symbolit:

X=aika (min)

X=betonin syvyys dcc (mm)

Y= lämpötila betonilaatassa 15 mm syvyydessä (°C) Y=lämpötila betonilaatassa (°C)

1)Karakteristiset lämpötila-arvot 15 mm syvällä betonilaatassa R 120 luokassa

2)Lämpötilan kehitys suojaamattomassa betonissa R 120 paloluokassa, lämpötilakäyrän EN 1363-1 mukaisesti

Eli $56-15 \text{ mm} = 41 \text{ mm}$ suojapaksuus raudoitukseen. Verrataan kaavioiden 15–16 perusteella saatua tulosta, taulukkomitoitukseen 14.

Taulukko 14. Betonilaatan vähimmäismitat paloluokissa ja raudoituksen keskiöetäisyys /58/.

Standardipalonkestävyys		Vähimmäismitat (mm)							
		a:n ja b_{\min} :n mahdolliset yhdistelmät, joissa a on keskimääräinen keskiöetäisyys ja b_{\min} rivin leveys							
		Yhteen suuntaan kantava laatta	Ristiin kantava laatta		Pilari-laatta	Ristiin kantavan ripalaatan rivat (vähintään yksi reuna jäykästi kiinnitetty)			
$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$								
REI 60	$h_s =$ $a =$	80 20	80 10	80 15	180 15	$b_{\min} =$ $a =$	100 25	120 15	≥ 200 10
REI 120	$h_s =$ $a =$	120 40	120 20	120 25	200 35	$b_{\min} =$ $a =$	160 45	190 40	≥ 300 30
REI 240	$h_s =$ $a =$	175 65	175 40	175 50	200 50	$b_{\min} =$ $a =$	450 70	700 60	—
Huomautus Mitoitusrajoitukset esitetty eurokoodissa SFS-EN 1992-1-2. a on keskiöetäisyys (ks. kuva 4). h_s on laatan ja mahdollisen palamattoman lattianpäällysteen paksuuksien summa									

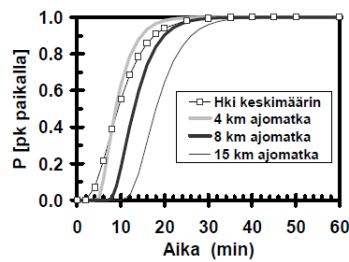
Kun kyseessä on yhteen suuntaan kantava betonilaatta, se on kunnossa betoninsuojäisyyden osalta. Jos on ristiinkantava betonilaatta, niin siinä voi syntyä ongelmia, koska palonosalta R120 luokassa betonipeitteen paksuus on 25 mm.

Korjauskohteissa raudoituksen sijaintia ei saisi määritellä yläolevalla taulukolla 14. Suunnittelun lähtökohdaksi pitäisi ottaa toiminnallinen palomitoitus. Kaavioissa 17 on esitetty että 80 % fraktaalilla palokunta on sammuttamassa 20 min jälkeen paloa asuin-kerrostalon huoneistossa Helsingissä. Tällöin palotehosta ja materiaalista riippuu, mitä ovat rakenteissa olevat lämpötilat ja miten ne vyöhykkeittäin etenevät. Pahin oletus on aina, että huoneiston ikkuna rikkoutuu, kuten olevassa kuvassa.



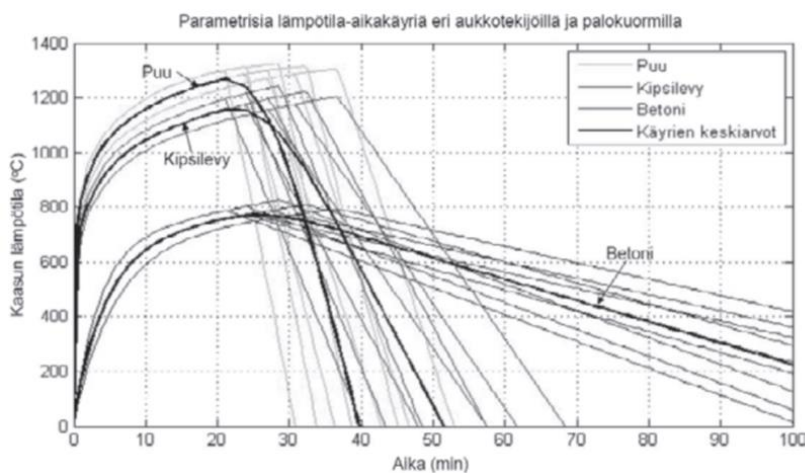
Kuva 23. Todellinen tulipalo ja palamaton julkisivu, huonepalosta uloslyövät liekit (Mellunmäki, Helsinki 22.1.2006) [kuva: Antti Kiiski]. /44./

Helsingin pelastusyksiköiden toiminta-aikoja esitetty kaavioissa 17, jossa on huomioitu ajomatkat sekä palopaikalla kuluva aika saapumisesta sammutuksen aloittamiseen.



Kaavio 17. Palokunnan sammutustyön alkamiseen menevä aika.

Huoneen sisällä olevat lämpötilat on esitetty alla olevassa kuvassa, jossa seurataan puun lämpötilakäyrää.

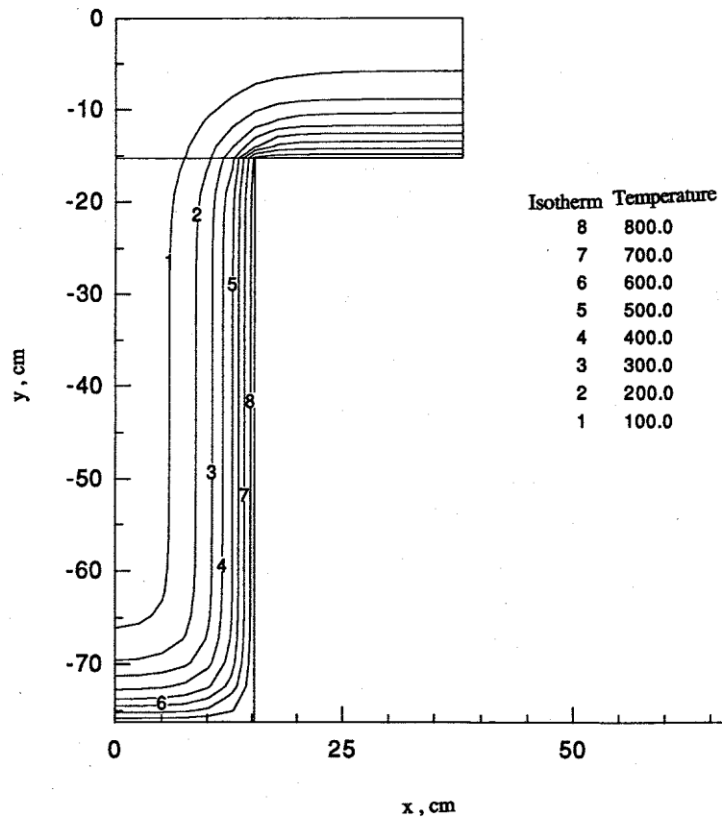


Kaavio 18. Palokuorman vaikutus aukkotehijöillä ja suojaverhouksella, palamiskaasun lämpötilaan sekä lämpörasituksen kestoan /35/.

Kaavioissa 18 maksimi lämpötila 20 min kohdalla on 1250°C ja betonin 800 °C, jolloin oletus on että välipohjan on R60 rakenne ja olohuoneen palokuorma on 60 kg/m². Jos olohuoneen koko on 20 m². Palotehon huippuarvo on keskimäärin 20 m² × 640 kW/m² ≈ 13 000 kW. Palotehon 80 % fraktiilin arvo on 20 m² × 770 kW/m² ≈ 15 500 kW /44/.

Palokohde on 70-luvun asuinkerrostalo (kuva 23), jossa todennäköisesti on välipohjana Nilcon-elementti ja ulkoseinässä Sandwich-elementti. Nilcon-betoni-alalaatan paksuus on noin 25 mm, jonka takana on kivivilla.

Kaavioissa 19 on yläbetonilaatan paksuus 152,4 mm ja pituus 381 mm sekä betonipilarin korkeus 609,9 mm ja paksuus 152,4 mm



Kaavioissa 19. Lämpötilajakautumat betonilaatatta- ja palkkirakenteessa 60 minuutin kohdalla /45/.

Kun tarkastelu kohta on 20 minuuttia, palosta, kaavion 19 arvot pitää suhteuttaa ajan sekä rakenteiden paksuuden funktiona taulukossa 15.

Taulukko 15. Lämpötilat ja etäisyydet betonissa 20 min kohdalla.

	aika min
laatta yläpinta	20
lämpötila	syvyys [mm]
100	x
200	x
300	x
400	x
500	x
600	30
700	20
800	10

Nopea päätelmä yläolevan taulukon 15 perusteella on, että Nilcon betonisen yläpohjallaan ja mahdollisesti myös lattian lämpötila nousee liian korkeaksi.

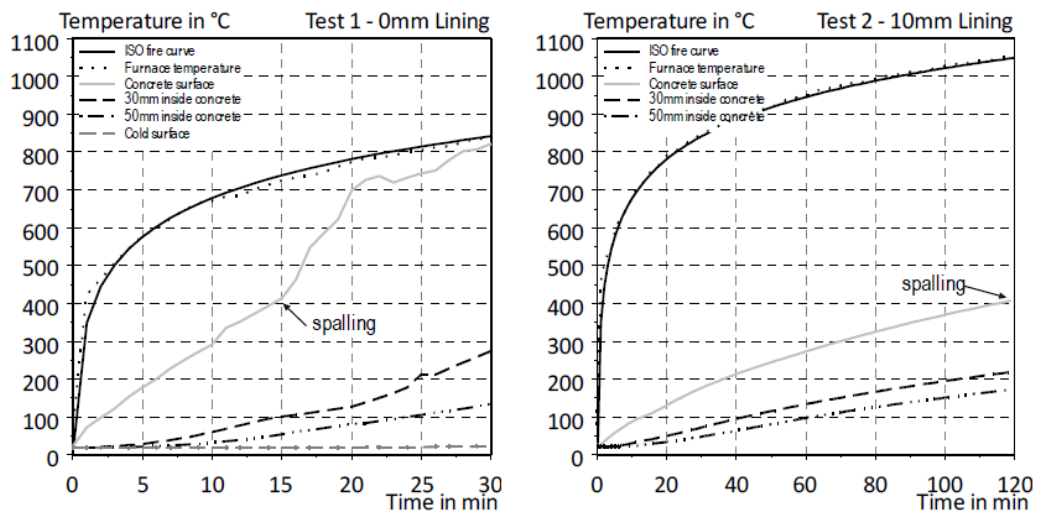
Kun betonin lämpötila nousee 100°C, niin tällöin betonihuokosrakenteisiin muodostuu vesihöyryä, joka pyrkii laajentumaan noin 200-kertaiseksi tilavuuden suhteen. Tämä

tilavuuden muutos aiheuttaa betonissa pakkovoimia yhdessä kuuman verihöyryn kanssa, mikä vaikuttaa betonin lohkeiluun.

4.3.3 Betonirakenteiden taipumat sekä lohkeilut palossa

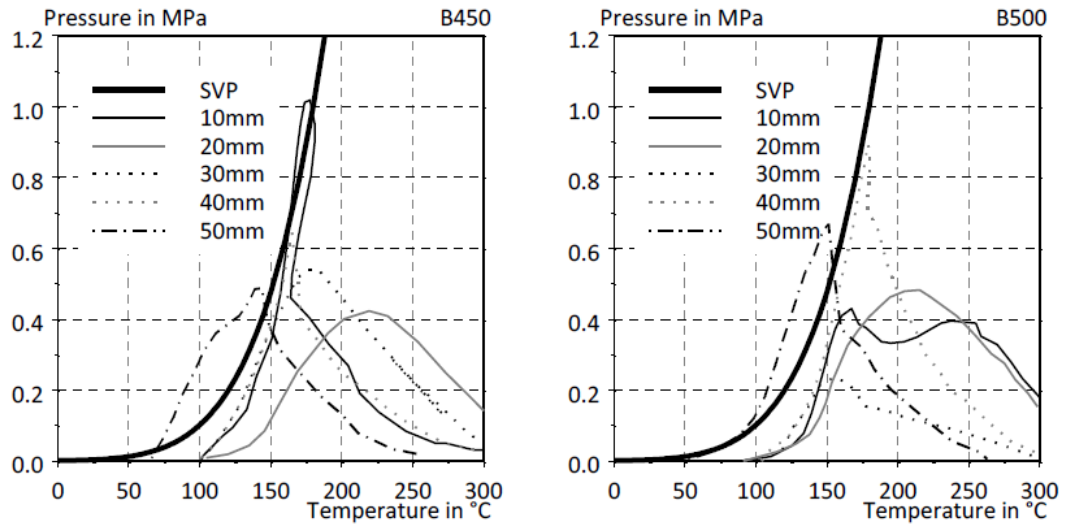
Kaavioissa 20 olevat arvot on saatu polttotesteissä, joissa betonielementin koko oli 1100 x 900 x 150 mm (P x L x H). Testien erona on se, että toisessa on käytetty 10 mm suo-
javerhousta betonilaatan alapinnassa. 30 minuutin kohdalla betonilaattaan, jossa ei ollut suo-
javerhousta oli tullut 63 mm taipuma.

Betonintaipuman käyttäytyminen johtuu rasituksesta, kosteudesta ja lämmöstä eri beto-
nin paksuuksilla sekä betoninlujuusasteesta, mekaanisesta raudoitussuhteesta ja betonin
suo-
japeitteestä. Välipohjissa käytetään taipumissa L/400 kriteeriä esimerkiksi ontelo-
laatoilla tai vastaavilla elementeillä. Näitä asioita on käsitelty rakennusosakohtaisesti
lukuissa 2.9.



Kaavio 20. Betonilaatan taipuma polttotestissä /69/.

Lämpörintama aiheuttaa betonissa painetta, huokosten avulla ja kautta. Betonin mikrorakenne muuttuu voimakkaasti lämpötilan funktiona hyd-
rautumisen ja käänteisprosessin dehydrautumisen vuoksi. Veden sorpti-
oisotermi on lähes epäjatkuva ja betonin huokoisuus kasvaa noin 200 ker-
taiseksi pienellä alueella lämpötilan ylittäessä 100°C. Esim. on Chungin
ym. esittämä tulos, jossa korostetaan, että myös betoniraudoituksella on
osuutensa lohkeilun syntymiseen, koska se estää veden liikkumista läm-
penevässä rakenteessa. Betonin lohkeilussa on olennaista huokosissa
muodostuva paine ja lämpötilan aiheuttamat jännitykset. /54./



Kaavio 21. Paineen kehittyminen betonin sisällä eri paksuisilla betoneilla, eri betoni-luokissa /69/.

4.4. Välipohjien palomitoitus lattiapinnan rakenteesta alaspäin

Tämän hetkisten palomääräyksiä vaatimukset (RakMK E1, 2011):

P2-luokan 5–8 -kerroksisen rakennuksen sisäpuoliset pinnat tulee, palo-osaston kantamattomia sisäisiä väliseiniä lukuun ottamatta, varustaa **vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista tehdyllä vähintään K₂ 30-luokan suojaverhouksella**, kun rakenne on tehty tarvikkeista, **jotka eivät ole vähintään A2-s1, d0 -luokkaa.**

”P1 luokan rakennuksissa kantavat rakenteet on tehtävä vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista.”

P2 luokan rakennus, asuinkerrostalossa on 3-8 kerrosta ja maksimikorkeus on 26 m. P1 luokan rakennuksessa maksimikorkeudelle ei ole rajoitusta.

Suurin osa vanhoista rakennuksista kuuluu P2 paloluokkaan. Tulevassa palomääräysasetuksessa P2 korkeutta on nostettu 28 m:n.

Muutoksia seuraavasti:

P2-luokan yli 2-kerroksisen rakennuksen sisäpuoliset seinä- ja kattopinnat, pois lukien ulos-käytävän pinnat, on varustettava vähintään **A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehdyllä vähintään K₂ 30 -luokan suojaverhouksella.** Suojaverhousta ei kuitenkaan edellytetä:

a) jos rakennusosa on tehty vähäisiä rakenteen osia lukuun ottamatta vähintään A2-s1, d0-luokkan tarvikkeista; b) palo-osaston ei-kantavilta sisäisiltä väliseiniltä;

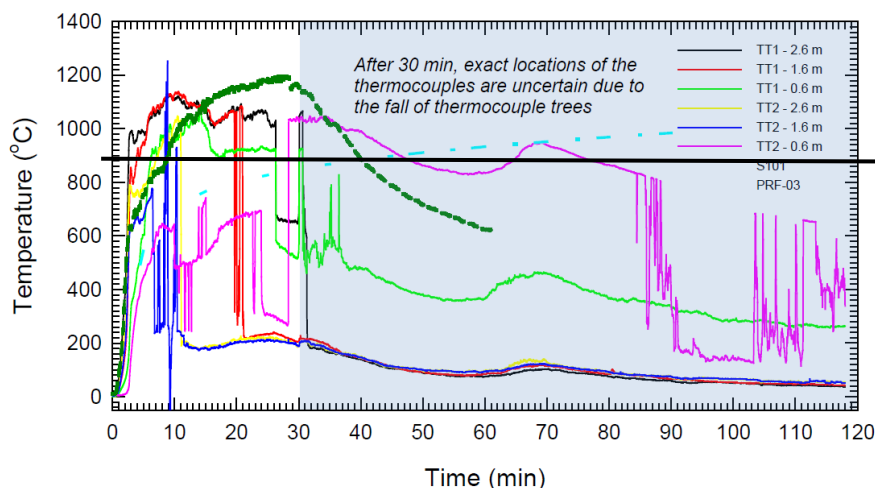
c) jos palo-osaston suojaverhoamattomien seinä- ja kattopintojen osuus on enintään 20 prosenttia seinien ja katon kokonaispinta-alasta; d) jos palo-osaston suojaverhoamattomien seinä- ja kattopintojen osuus on yli 20 prosenttia mutta enintään 80 prosenttia seinien ja katon kokonaispinta-alasta ja kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkestävyysaika on pidennetty 30 minuutilla; e) jos palo-osaston suojaverhoamattomien seinä- ja kattopintojen osuus on yli 80 prosenttia seinien ja katon kokonaispinta-alasta ja kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkestävyysaika on pidennetty 60 minuutilla.

P1-luokan yli 2-kerroksisen asuinrakennuksen, jonka runkorakenne ei ole vähintään A2-s1, d0 -luokkaa, sisäpuoliset seinä- ja kattopinnat on varustettava vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehdyllä vähintään K₂ 30 -luokan suojaverhouksella. Edellä mainittu ei koske palo-osaston ei-kantavia sisäisiä väliseiniä.

Eli palo välipohjista alaspäin olisi muuttumassa, ja uusin määräys tulee voimaan 1.1.2018. Siirtymäajan huomioiden uutta määräystä noudatetaan vuoden 2023 alusta.

Korjauskohteissa, joissa on välipohjissa palavaa eristeitä tai täyttöjä, pitäisi harkita uudestaan korjaustarvetta, koska palon lämpösäteilyn vaikutuksesta tapahtuu eristeissä kytemistä, savun muodostusta ja palamista. Tämän lisäksi 1½ tuuman lauta ei ole tiivis, ja yleensä noin 15–17 min kohdalla palosta lattialauta alkaa hiiltymään myös alapinnasta.

Alla kuvaajassa on huoneistopalon lämpötiläkäyrät, kun palokuorma oli 790 MJ/m². Tämä on testistä, joka tehtiin Kanadassa 2015 liittyen CLT rakentamiseen.



Kaavio 22. Lämpötiläkäyrät eri korkeudella huoneistopalossa /59/.

Taulukkoon 16 on kerätty polttotestistä asiat, jonka perusteella pystytään arvioimaan paloa kokonaisvaltaisesti.

Taulukko 16. Tulokset palotesteistä CLT /60/.

Table 1: Results from CLT fire resistance tests							
Wall or Floor	# of Plies	Thickness (mm)	Gypsum Board Protection	Load	Charring from Data (mm/min)	Failure Mode	Fire Resistance (min)
Wall	3	114	2 x 12.7 mm	333 kN/m	0.41	Structural	106
Wall	5	175	Unprotected	333 kN/m	0.65	Structural	113
Wall	5	105	Unprotected	72 kN/m	0.80	Structural	57
Floor	3	114	2 x 12.7 mm	2.7 kPa	-	No failure	77 Note 11
Floor	5	175	Unprotected	11.8 kPa	0.64	Integrity	96
Floor	3	105	1 x 15.9 mm	2.4 kPa	0.60	Integrity	86
Floor	5	175	1 x 15.9 mm	8.1 kPa	0.75	Integrity	124
Floor	7	245	Unprotected	14.6 kPa	0.65	Structural	178

Kaavio 22 ja taulukko 16 osoittavat että palo menee alaspäin ja hiiltymänopeus on 0,64–0,65 mm/min CTL:ssä. Lämpötilat huoneistopalossa on jopa yli 850°C, kun mitauspiste on 0,6 m korkeudella noin 8–60 min ajanjaksona.

4.4.1 Palokuorman lisäys alalaattapalkistojen kohdalla

Sahanpurun sekä kutterilastun käyttö välipohjan lämmöneristeenä yhdessä hiekan kanssa aiheuttaa palokuorman lisäyksen. Välipohjatäytteen päällä on verhoilu noin 1½ tai ohuemmasta lattialaudasta. Kappaleessa 2 on tarkemmat kuvaukset välipohjarakenteista. Yleisesti arvioituna välipohjapalkin jako oli 1–1,3 m ja mitat 0,3–0,4 m x 0,1–0,15 m, jolloin tyhjä tila olisi 0,46 m³–0,26 m³. Tähän vaikuttaa myös täyttöaste ja se oliko täytteen paikoilleen sullottuja. Karkeasti arvioiden 70 % täyttöaste tilavuudesta ja keskiarvo 0,36 m³ antaa 0,25 m³ irtotilavuuden.

Taulukko 17. Sahanpurun ja kutterilastun keskimääräisiä ominaisuuksia /61/.

Ominaisuus	Sahanpuru	Kutterinlastu
Tyypillinen kosteus, %	50–55	5–15
Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	18,9–19,2	18,9
Kuiva-tuoretiheys (kg/m ³)	380–480	380–480
Kostean polttoaineen tiheys, kg/i-m ³	250–300	80–120
Energiatiheys, MWh/i-m ³	0,4–0,7	0,5
Tuhkapitoisuus	0,4–1,1	0,4

Palokuorman lisäys (ei huomioida lautalattiaa): 0,25m³ x 380 kg/m³ x 17,83 MJ/kg = **1694 MJ/m²**. Tästä tuloksesta on vähennetty kosteuden määrä (Rh:sta johtuu), määräksi 5 kg/m².

$$q_{\text{tod}} = \frac{100q - 2,5u}{100 + u}, \text{ missä}$$

q_{tod} on kostean aineen lämpöarvo,
 q on tehollinen lämpöarvo taulukosta ja
 u on aineen kosteus painoprosenteina kuivan aineen painosta.

$$100 \times 18,9 - 2,5 \times 5,3 / 100 + 5,3 = 17,83 \text{ MJ/kg}$$

Kaava 1. Palokuorman laskenta huomioiden kosteus /28/.

Yllä oleva palokuorman lisäys on potentiaalinen tulipalossa, sillä huoneistopalossa se pitää saada syttymään kaasumaisesti ja palamaan sekä leimahtamaan. Kappaleessa 3.2 arvioin lämpötiloja alalaatan yläpinnalla, missä välipohjan täyte sijaitsee. Arvioni mukaan välipohjatäyte saadaan kytämään, kun lämpötila on 300–400°C tasoa. Altapäin kuumennettaessa se ei leimahda, koska siinä ei ole ilmaseosta, joka saisi sahanpurun ja kutterilastun syttymään. Syttyminen tapahtuu välipohjan täytteen yläpinnassa, kun siinä

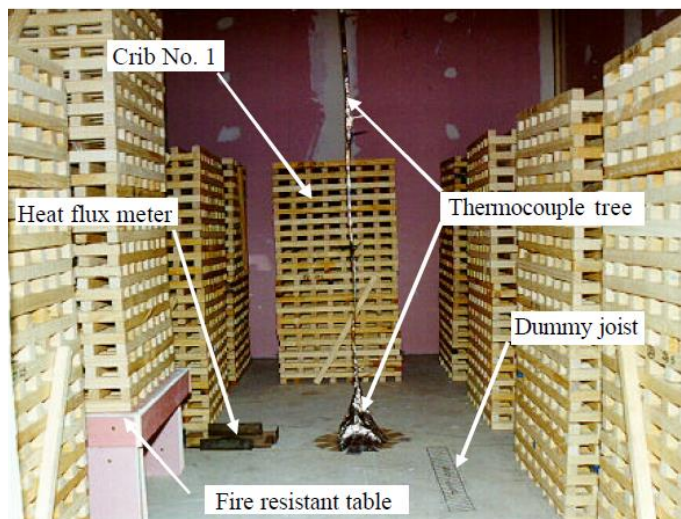
on tarpeeksi ilmaseosta. Lämmönsiirtymisen nopeutta en osaa arvioida sahanpurun ja kutterilastun lävitse yläpintaan ajanfunktiona huoneistopalon syttymiseen. Huoneistopalon pitkittyessä kuitenkin on riski savun muodostukseen yläpuolisessa huoneistossa, koska sahanpurun sekä kutterilastun sisällä tapahtuu lämpötilojen erona luonnollisia ilmavirtauksia kaikkiin suuntiin.

Ohlemiller määrittelee käsikirjatekstissä: 'Kytevä palo on hidasta, matalassa lämpötilassa tapahtuvaa liekitöntä, hehkuen palamista. Sitä ylläpitää lämpö, jota vapautuu hapen osuessa suoraan jähmeän polttoaineen pintaan.' Tärkeätä ja vaarallista kytemisessä on sen itseään ylläpitävä ominaisuus. Kun kyteminen tapahtuu hyvin lämpöä eristävässä aineessa, se voi jatkua pienellä palamisnopeudella ja energiantuotolla niin pitkiä aikoja, että kytevän kohteen olemassaoloa on vaikea huomata. Pitkien aikojen jälkeen kytevä kohde voi äkkiä muuttua liekehtiväksi ja sytyttää suuren palon. Toinen kytöpalon vaarallinen ominaisuus on, että aine palaessaan kytemällä tuottaa vaarallisia myrkyllisiä yhdisteitä huomattavasti enemmän kuin palaessaan liekillä. /71./

Erittäin kuivissa välipohjatäytteissä on mahdollista räjähdyspalo, vastaavia on syntynyt esim. sahalaitoksissa sahanpurun kanssa oikosulun tai kipinän aiheuttamana.

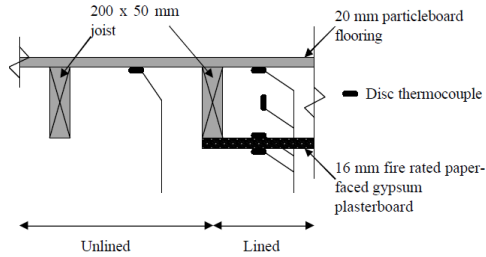
4.4.2 Palon kehitys lattiassa alaspäin palaviin täytteisiin sekä muita riskejä

Maailmalta löytyy 3-4 palokoetta, jossa on mitattu paloa alaspäin. Suurin koesarja (22 kpl:ta) löytyy Kanadasta, mutta tässä työssä käytän hyväkseni Uudessa-Seelannista tehtyä koetta vuodelta 2003.

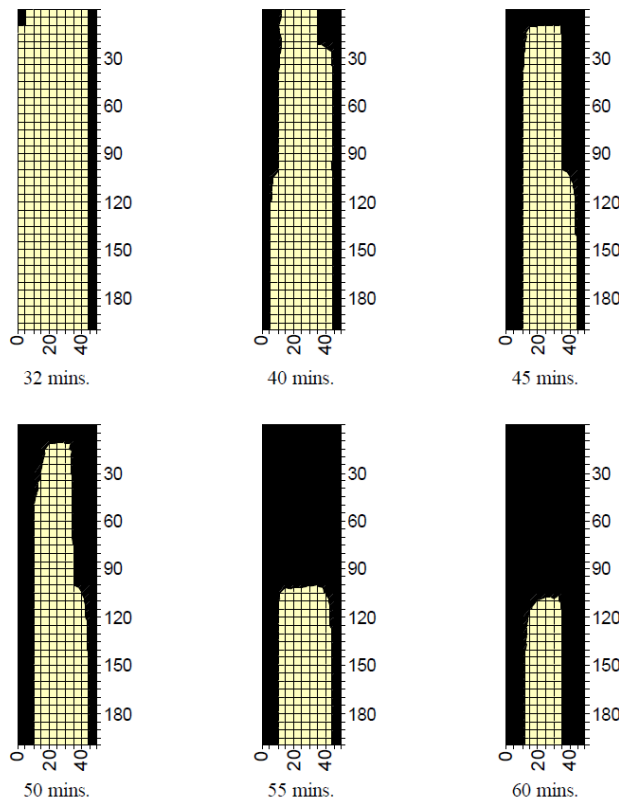


Kuva 24. Koejärjestelyt polttokokeessa /63/.

Koehuoneeseen on laitettu palokuormaa 725 MJ/m^2 ja lattiarakenne on esitetty vierisesissä rakennekuvassa 21. Lattiassa on 20 mm lastulevy ja puukoolaus $50 \times 200 \text{ mm}$ k 600. Lattian koko oli $3,6 \times 2,4 \text{ m}$. Kuormana olivat puukehikot, jotka painoivat 50 kg/pino (hyvä vertaus vanhoihin palomääräyksiin.) Lattiarakenne on rakennekuvassa 21.



Rakennekuva 21. Lattiarakenne polttokokeessa.



Kuva 25. Hiiltymä eteneminen ajanfunktiona rakenteessa/63/.

Kuvassa 25, esitetään miten puulattian palkisto hiiltyy 3 syrjältä. Tämä hiiltymää voi mieltää hieman samoin, kun vastassa olisi sahanpuru, sillä poikkeuksella, että sahanpuru leimahtaisi palamaan aikaisemmin kuin tämän puulattian palkisto. Leimahduksen estää lastulevyn palaset palkin päällä, ja lastulevyllä on huonompi lämmönjohtavuus kuin peruslautalattialla. Mänyn ja kuusen keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti on 1600 J/(kg K) ja lastulevyn 1700 J/(kg K) .

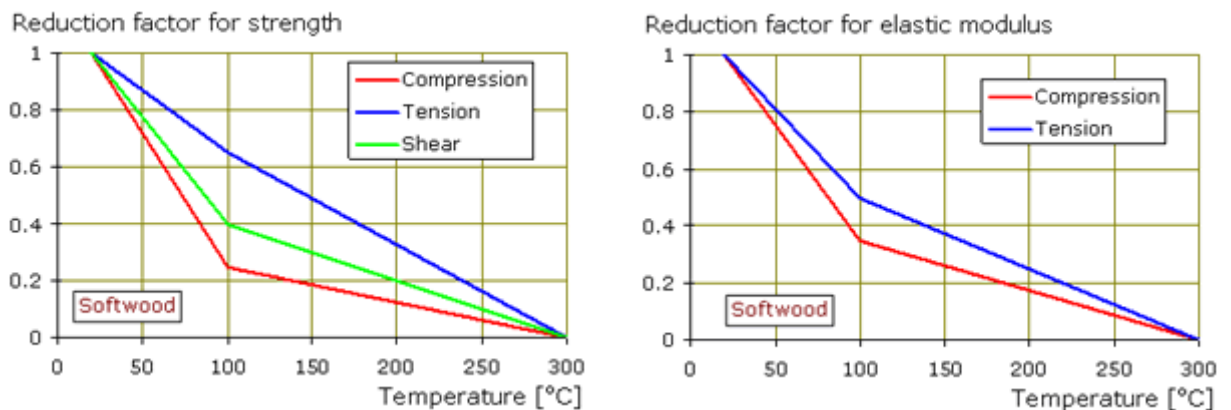
Taulukko 18. Lämpöanturit saavuttivat 300°C lämpötilan /63/.

Item	Location	Material	Charring				
			depth (mm)	Onset time (min)	Completion time (min)	Duration (min)	Rate (mm/min)
(a)	Particle-board	Floor	20	2 (estimated)	31.3 (1880 sec)	29.3	0.68
(b)	Particle-board	Ceiling	20	46.5	73.8 (4430 sec)	27.3	0.73
(c)	Dummy joist	Floor	25*	31.3	61 (3660-sec)	29.7	0.84

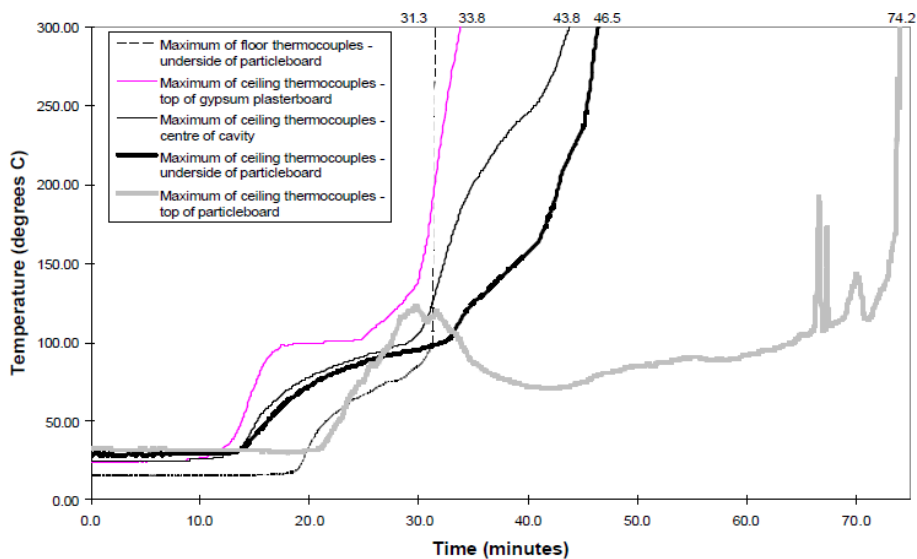
RIL 205-2-2009 taulukko 3.2, kohdassa d) antaa lautatavarakkeelle hiiltymänopeudeksi 0,9 mm/min ja muut puulevyt kuin vaneri 0,9 mm/min. Ylläolevan polttokokeen ja CLT polttokokeiden perusteella lautalattiassa käyttäisi näiden kokeiden keskiarvoa $0,6 + 0,64 + 0,68 / 3 = \mathbf{0,64 \text{ mm/min}}$.

Kun palokunta tulee paikan päälle 20 minuutin kuluessa palosta ja astuu alalaattapalkistokohteissa ponttilattian päälle, tapahtuu seuraavaa:

1½ tuumaa on 38 mm ja 1¼ on 32 mm, jolloin puuta on hiiltynyt 12,8 mm pois. Lattia-lauta on palkistonsuuntaisesti, katso kohta 2. Vapaa jänneväli on 500...600 mm ja lämmön takia puun kimmomoduuli on laskenut, mikä otetaan huomioon.

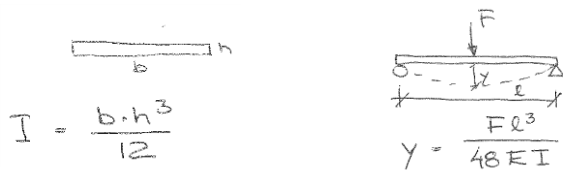


Kaavio 23. Lämmönvaikutus puun mekaanisiin arvoihin /64/.



Kaavio 24. Polttokokeessa lämpöantureiden arvoja /63/.

Alla olevalla kaavalla 2 saadaan laskettua taipumarakenteessa. Oletuksena on, ettei rakenteeseen kohdistu muuta kuormaa, kuin palomiehen massa.



$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$y = \frac{F L^3}{48 E I}$$

Kaava 2. Statiikan kaavat sekä vapaakappalekuvio.

$h = 25,2 / 19,2$ mm (jäljellä puusta)

$b = 100$ mm

$l = 600$ mm

$I = 1333358,4$ mm⁴ ja $58982,4$ mm⁴;

$F = 1000$ N ja

$E = 9000 \times 0,75 = 6750$ N/mm²

$y = 5,0$ mm ja $11,3$ mm sallittu $L/400$ eli $1,5$ mm.

Taipuma antaa hieman aihetta huomioon palomiehellä on riski tippua hiiltyneen lattialaudan lävitse. Tästä voi syntyä mahdollinen työtaturma, jolloin maankäyttö- ja rakennuslain velvoitteet kohdan 117§ pelastustyön turvallisuudesta eivät täyty. Tämä siis 20 minuutin kohdalla ja 30 minuutin kohdalla laudaa on jäljellä $18,8$ mm tai $12,8$ mm sekä välipohjatäyte kytemässä/tuleessa. Lattialaudassa on pontti, joka voi olla auki $1-2$ mm, jolloin palon lämpösäteily vaikuttaa lattialaudan liittovaikutukseen. Jos lattialauta on ehjä, niin tällöin ylläoleva palo- ja kestävyysmitoitus pitää tehdä jäykkänä levynä esimerkiksi 3 lattialaudan osalta.

Nykyisissä välipohjissa vaatimustasona alaspäin menevän palon estoksi P2-luokan rakennuksessa on K₂30 suojaverhousluokka. Tämä tarkoittaa että suojaverhouksen takana ei saa hiiltä mikään ja korkein lämpötila saa olla vain 270°C ja keskimäärin 250°C . Puurakenteiden suojaverhousluokista on tehty delegoidut päätökset, jotka vaikuttavat EN 13986 ja EN 14915 standardeihin. Taulukko 19 ilman testausta suojaverhousluokista puutuotteilla.

Taulukon 19 perusteella annetaan 26 mm ponttilaudalle suojaverhousluokka K₂ 30, kun puun tiheys on 450 kg/m³. Jos taulukkoa sovelletaan korjausrakentamiseen ja uusitaan korjauskohteissa lattiat taulukon 28 mukaan, niin 30 min kohdalla on laudasta hiiltynyt $19,2$ mm. Jäljellä on $10,8$ mm jonka pitäisi suojella palossa (lämpötila yli 800°C) rakenteita hiiltymiseltä myös kiinnikkeiden osalta

Taulukko 19. Suojaverhousluokat puutuotteilla /65/.

Tuote ²⁾	EN-tuotestandardi	Tuotetiedot ³⁾	Keskiteheys vähintään (kg/m ²)	Vähimmäispaksuus (mm)	K-luokka ⁴⁾
Kovalevy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa tai ilman ⁵⁾	800	9	K ₂ 10 ⁴⁾
OSB-levy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa tai ilman ⁶⁾	600	10	K ₂ 10 ⁴⁾
Lastulevy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁷⁾	600	10	K ₂ 10 ⁵⁾
Lastulevy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa tai ilman ⁶⁾	600	12	K ₂ 10 ⁴⁾
Vaneri	EN 13986	Pontin ja uran kanssa tai ilman ⁶⁾	450	12	K ₂ 10 ⁴⁾
Puupaneelit	EN 13986	Pontin ja uran kanssa tai ilman ⁶⁾	450	12	K ₂ 10 ⁴⁾
Lastulevy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁸⁾	600	25	K ₂ 30
OSB-levy	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁸⁾	600	30	K ₂ 30
Vaneri	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁸⁾	450	26	K ₂ 30
Puupaneelit	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁸⁾	450	26	K ₂ 30
Puupaneelit	EN 13986	Pontin ja uran kanssa ⁹⁾	450	53	K ₂ 60
Puupaneloinnit ja -verhouskset	EN 14915	Pontin ja uran kanssa ¹⁰⁾	450	15	K ₂ 10 ⁴⁾
Puupaneloinnit ja -verhouskset	EN 14915	Pontin ja uran kanssa ¹⁰⁾	450	27	K ₂ 30
Puupaneloinnit ja -verhouskset	EN 14915	Pontin ja uran kanssa ¹¹⁾	450	2 x 27 ¹²⁾	K ₂ 60

- 1) Luokka päätöksen 2000/367/EY mukaisesti.
2) Asennetaan suoraan alustalle ilman ilmarakoa.
3) Liitokset, joissa on suorakulmaiset reunat tai ponttiprofiili ja sama paksuus kuin tuotteessa, ilman välejä.
4) K₁ 10 alustoille $\geq 300 \text{ kg/m}^2$
5) Uppokantanaulan pituus vähintään 40 mm ja väli enintään 100 mm.
6) Ruuvien pituus vähintään 30 mm ja väli enintään 200 mm.
7) Ruuvien pituus vähintään 30 mm ja väli enintään 150 mm.
8) Ruuvien pituus vähintään 50 mm ja väli enintään 200 mm.
9) Ruuvien pituus vähintään 75 mm ja väli enintään 200 mm.
10) Naulan pituus vähintään 60 mm ja väli enintään 600 mm.
11) Naulan pituus vähintään 50 mm (kussakin kerroksessa) ja väli enintään 600 mm.
12) Nämä kaksi kerrosta asennetaan niin, että kerrosten pitkäsuunta on kohtisuorassa toisiinsa nähden.

Suojaverhoustestin luokitus- ja testausstandardin EN 14135 mukaan pitää täytyä seuraavat kriteerit: /62./

Suojaverhouksen, jonka luokitus on K₂, katsotaan suojaavan palolta takanaan olevan materiaalin, mikäli standardin EN 14135 mukaisessa testissä määritellyn ajan (10, 30 tai 60 minuuttia) kuluessa verhous tai sen osia ei putoa alas ja mikäli myös kaikki seuraavat vaatimukset täyttyvät:

- a) Suojaverhous, jonka takana ei ole onteloita
- kokeen aikana suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattu keskimääräinen lämpötilanousu ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu saa missään kohdassa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
 - kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa ei saa olla palanutta tai hiiltynyttä materiaalia.
- b) Suojaverhous, jonka takana on yksi tai useampi ontelo
- keskimääräinen lämpötilan nousu alustan alapinnalta sekä suojaverhouksen tulen vastakkaiselta pinnalta mitattuna ei saa olla yli 250 °C alkulämpötilaa korkeampi eikä suurin lämpötilan nousu näiden pintojen missään kohdassa saa olla yli 270 °C alkulämpötilaa korkeampi
 - kokeen jälkeen missään kohdassa alustaa tai suojaverhouksen tulen vastakkaista puolta ei saa olla palanutta tai hiiltynyttä materiaalia.

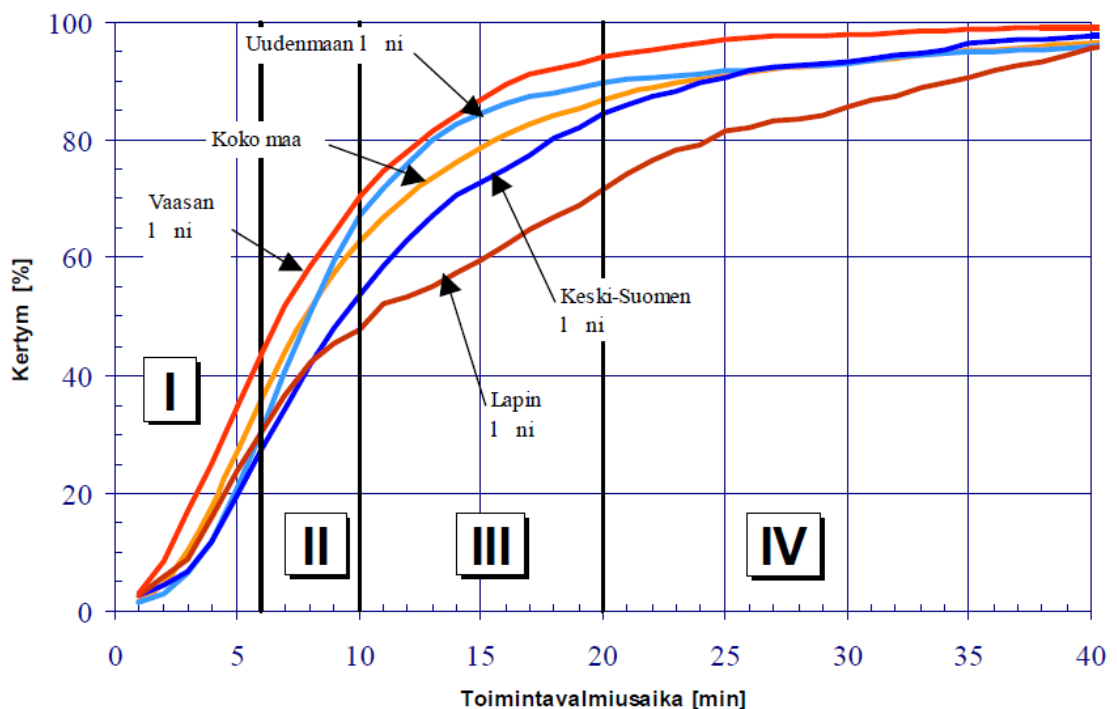
4.5. Palon todennäköisyys ja palokunnan valmiusnopeus eri paikkakunnilla

Palokunnan valmiusnopeus estää suurempia palo-onnettomuuksia. Yksittäisiä paloja ja niiden todennäköisyyksiä ei voi ennaltaehkäistä, jos asuinhuoneistoissa ei ole käytössä aktiivisia tai oikeita passiivisia palontorjuntakeinoja. Aktiiviset palontorjuntakeinot pitäisi tarkistaa ja huoltaa sekä päivittää, jos siihen liittyy ohjauksioita tai ilmoitusjärjestelmiä. Passiivisilla eli rakenteellisilla keinoilla estetään palon ja savun leviäminen

maankäyttö- ja rakennuslain 117§ b mukaisesti sekä taataan rakenteiden stabiilius palon sekä pelastustöiden aikana.

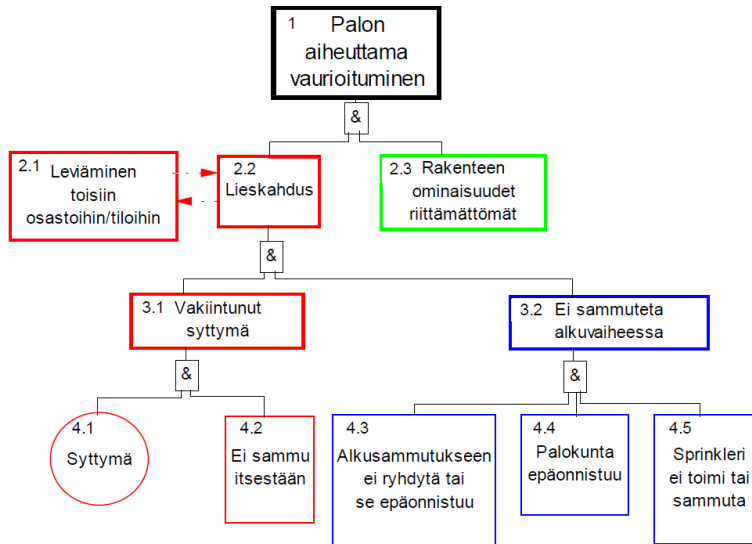
Onnettomuuden riskiä palosta laskevat luonnolliset alkutoimenpiteet, kuten alkusammutustoimet, ilmoitusnopeus kohteesta palolaitokselle, palokunnan saapumisen viive, palo-onnettomuudessa olevien uhrien toiminta (poistuminen rakennuksesta, opastaminen yms.).

Passiiviset palontorjuntakeinot mieleltään toimivuuden osalta ikuisiksi, jolloin niitä ei tarvitsisi tarkistaa tai korjata. Näitä ovat muun muassa palokatkot, asuinkerroshuoneistojen ovet (tiivyeys/palon kesto yms.). Silloin, kun passiiviset palontorjuntakeinot ovat kunnossa, ne rajoittavat palosta syntyvää vahinkoa pienemmälle alueelle ja nopeuttavat kohteessa esim. palon sammuttamista sekä henkilöiden evakointia.



Kaavio 25. Toimintavalmiusaika palokunnilla /68/.

Toimintavalmiusaika vaikuttaa myös tilastollisesti toiminnalliseen palosuunnitteluun. Tulipalon todennäköisyys ja sen muuttuminen onnettomuudeksi vaatii alla olevan prosessikulun.



Kaavio 26. Todennäköisyyksien vuokaavio palossa /68/.

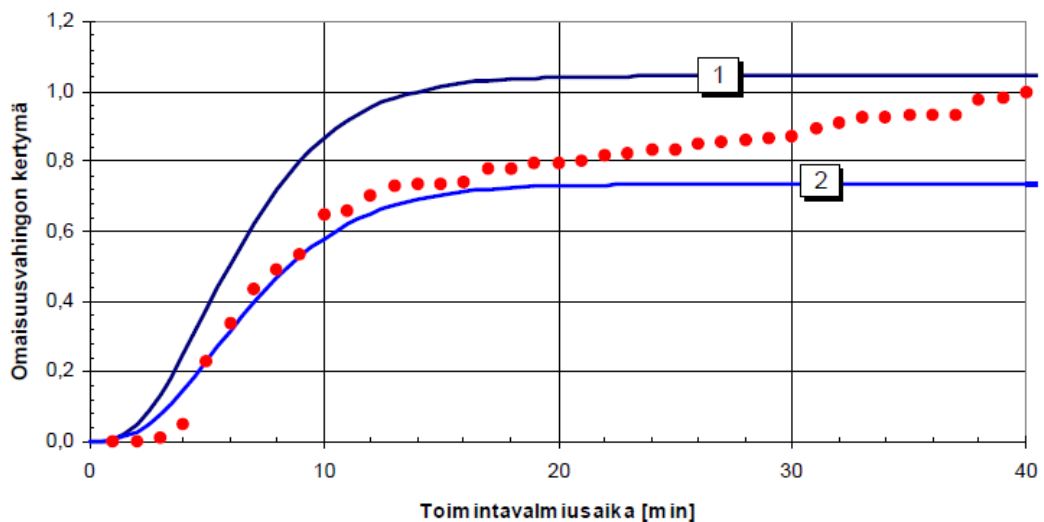
Kaavion 26 kaikki portit ovat JA-portteja, joten todennäköisyydet joka tasolla kerrotaan keskenään. Palon syttymän todennäköisyytenä pidetään arvoa $1 \times 10^{-5}/\text{m}^2$ pinta-alayksikkö kohti ($> 300 \text{ m}^2$). Syttymätaajuus vuodessa saadaan kertomalla ko. lukema palo-osaston pinta-alalla. Rakennuskannalla taulukon kuvasta 2 voi laskea teoreettisen palon syttymän todennäköisyys/vuosi. Tietyllä todennäköisyydellä syttymä (4.1) ei sammu itsestään (4.2), jolloin kertomalla todennäköisyydet keskenään saadaan tulokseksi vakiintuneen syttymän todennäköisyys 3.1. Jos alkusammutusta ei tapahdu (4.3) ja automaattinen sammutusjärjestelmä jostakin syystä toimi oletetulla tavalla (4.4) sekä palokunta epäonnistuu saapuessaan palopaikalle (4.4), tästä prosessiketjusta seuraa, että paloa ei sammuteta alkuvaiheessa 3.2. Tämän prosessin todennäköisyys saadaan kertomalla kohtien 4.3 – 4.5 todennäköisyydet. Kun syttymä on vakiintunut eikä sitä ole sammutettu alkuvaiheessa, seuraa leiskahdus. (Katso tämän lopputyön kohta 2.1 huoneistopalon kehitys). Leiskahduksen todennäköisyys saadaan laskettua kertomalla vakiintuneen syttymän todennäköisyys puuttuvalla alkusammutuksen todennäköisyydellä. Kun rakennus (2.2) leiskahtaa ja palo (2.1) leviää muihin tiloihin ja palo-osastoihin ja kun rakenteiden/rakennuksen ominaisuudet ovat riittämättömiä kestämään leiskahdus tai huoneistopalo, tästä seuraa palon aiheuttamaa vaurioitumista (1). Tämän 1 kohdan todennäköisyys saadaan kertomalla kohtien 2.2 ja 2.3 todennäköisyydet keskenään. Lopulta todennäköisyydet johtavat rakenteiden sortumaan tai tilanteeseen, jossa rakenteiden/rakennuksen korjaaminen on kallista. /68./

Kuva 26 osoittaa, että vuokaavion (kaavio 26) kaikkien osatekijöiden epäonnistuessa tuho on täydellinen. Rakennus oli tehty 1970-luvulla.



Kuva 26. Asuinkerrostalon romahtaminen Pietarissa 2002 kesken pelastustoimien /40/.

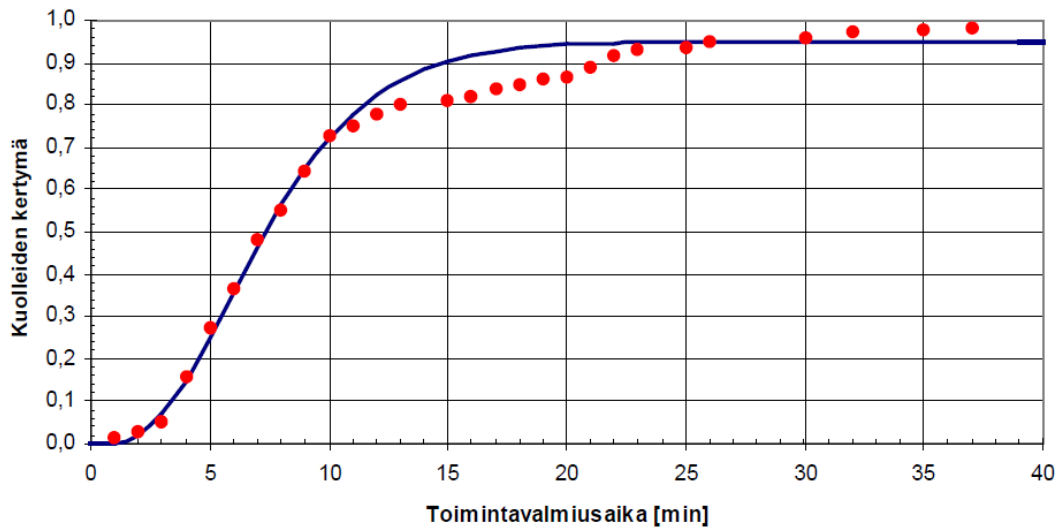
Tämän lopputyön tarkoituksena on esittää passiiviset rakenneratkaisut, joilla pienennetään todennäköistä riskiä rakenteiden/rakennuksen vaurioitumiselle. Pelastussuunnitelmaan asuinkiinteistöille ja teollisuusrakennuksille olisi hyvä tehdä kaavion 26 mukainen vuokaavio tarkastelukulmana esimerkiksi henkilöiden evakointi rakennuksessa tai muu toimenpide.



Kaavio 27. Omaisusvahinkojen teoreettiset ja todelliset kertymäfunktiot /68/.

Ylläolevia kuvaajia voi käyttää rakennuksen omaisuusvahinkosuunnitteluun. Jos kokonaisvahingon riski on 50 milj. € vuodessa ja toimintavalmiusaika on 10 min, ylempää käyrää saadaan käyttämällä (1) tulokseksi $0,87 \times 50 \text{ milj. €} = 43,5 \text{ milj. €}$. Jos toiminta-

valmiusaika olisi 9 minuuttia niin tällöin vastaavasti $0,8 \times 50 \text{ milj. €} = 40,0 \text{ milj. €}$. Näin valmiusaajan nostolla on mahdollisuus 3,5 miljoonan euron säästöön esimerkiksi aktiivisella paloilmoitusjärjestelmällä. Kakkoskäyrä on kuvaajassa ala-rajana ja punaiset pisteet todellisten tapahtumien kertymä funktio.



Kaavio 28. Palokuolemien kertymäfunktio todellinen ja teoreettinen /68/.

Omaisuusvanhinkojen lisäksi palouhrien pelastumismahdollisuudet ovat myös riippuvaisia toimintavalmiusajasta. Passiivisilla ja aktiivisilla palotorjuntamenetelmillä voidaan vaikuttaa palouhrien lukumäärään.

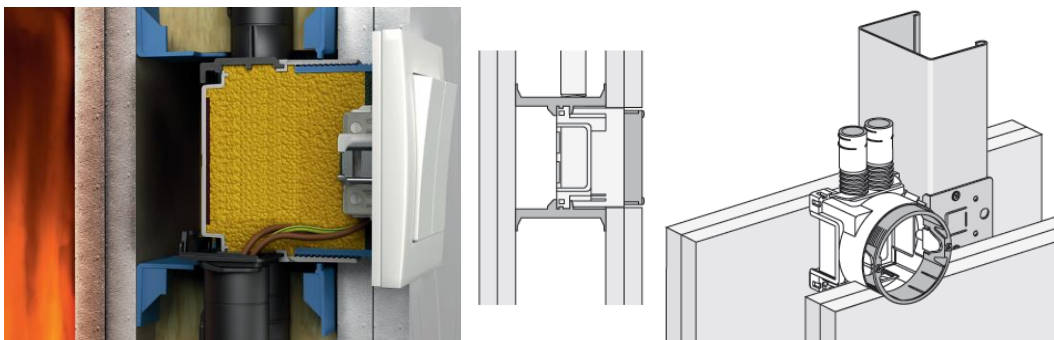
5 VÄLIPOHJIEN KORJAUKSIEN PERUSTEET

Tässä osioissa esitetään perusteet ja tutkimukset, joiden perusteella on esitetty korjaustoimenpiteet betonivälipohjille sekä muille rakennetyypeille. Tämän lisäksi tässä luvussa esitetään myös rakenneratkaisut, joilla saavutetaan korjausrakentamisessa vaaditut nykypäivän tekniset laatutasot.

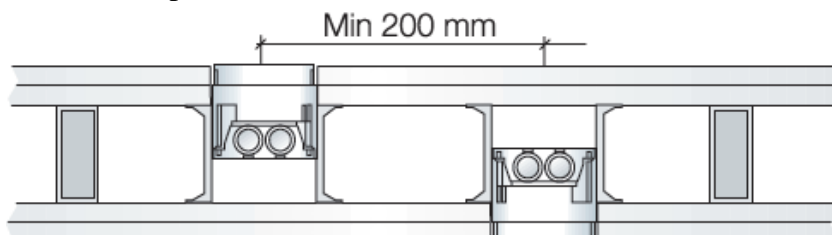
5.1. Paloasiat ja ääniasiat rakenteissa

Vanhat väliseinärakenteet, kuten ”Kapasen seinät”, puretaan yleensä pois korjauskohteista. Tämä tehdään siksi, että päästään välipohjan yläpuolen kautta poistamaan alkupe räiset välipohjatäytteet tai väliseinien sisällä menee vanha sähköistys tms. Kevytväliseinät voivat mennä alalaattapalkiston suuntaisesti palkiston päällä tai välissä poikittain. Kun kevytväliseinät uusitaan, täytyy ottaa huomioon uusien huoneistojenvälisten seinien kannatus sekä ilmatiiveys niin vaaka- kuin pystysuuntaan. Jos kohteissa jätetään 1 kiven tai ½ kiven tiiliseiniä purkamatta, niin tällöin korjausvaihtoehtoja löytyy Gyproc Käsikirjasta kohdasta korjausrakentaminen sekä ääni- että paloratkaisuiden osalta.

Gyproc käsikirjasta löytyy testattuja tuotteita ja kuvassa 27 on eräs mitä voi käyttää paloluokissa EI 30, EI 60 ja EI 90 kevytrakenteissa seinissä sähkörasioina.



Kuva 27. JP palorasia /71/.



Kuva 28. JP palorasian asennus seinässä vaakasuunnassa /71/.

Palorasian toiminta perustuu siinä olevaan palossa laajentuvaan massaan sekä tiivisteisiin. Lämpötila, jossa palomassan reagointi alkaa tapahtua, on 120°C. Rasioista kannattaa pyytää dokumentit pitkäaikaiskäyttöä varten sekä ohjeistus korjaustoimenpiteille. Kuvissa 29 on esitetty polttokokeesta kuvasarjat.



Kuvat 29. Koekappale palotestauksessa, ennen kokeen alkamista ja 60 minuutin kokeen jälkeen.

Kattopalorasian korkeus on 58 mm. Tämä on huomioitava välipohjien alapintojen ko-roissa.

Riksilevystä tehdyt hormit, joissa on paloluokitus, puretaan yleensä pois sillä ne eivät täytä nykypäivän vaatimuksia. Putki- tai sähköhormit voidaan tehdä uudestaan kuvassa 30 olevalla testatulla ratkaisulla paloluokassa EI 30. Rakenne perustuu GFL 18 palole-vyyn, johon on liimattu Isover Ultimate 4.0 mineraalivilla (paksuus 30 mm). Ultimate mineraalivillan liimauksessa on käytetty Würth palomassaa. Palokotelon sisällä ei ole tukirakenteita.



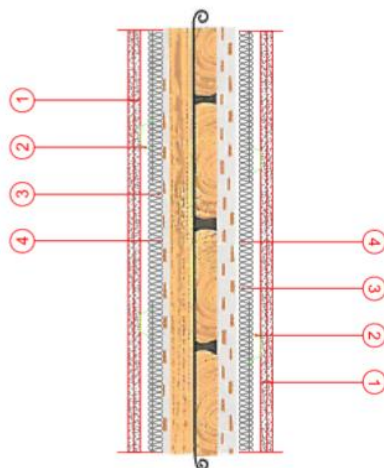
Kuvat 30. GFL 48 Palokotelo, asennus polttokokeessa ja valmis poltto varten /66/.

Palokotelo on mittatarkka, vakio pituus 1200 mm, joko L tai U muotoisena. Molemmis-
sa päässä on kotelossa reunaohennus. Kotelon jatkoskohtaan tulee Gyproc T 50/10 -
tukilista (kuvassa 30 ylin keskimmäinen kuva) tukemaan ja tiivistämään saumakohtaa.
Runkorakenteena toimii L lista 50/50 (kuva 30, alin vasen).

Taulukko 20. Palotestitulokset GFL 48 palokotelo ratkaisuihin /66/.

Property	Test result	
Integrity E**)	ΔT (number of tc)	
Temperature rise inside the fire protective modules (criterion: $\Delta T \leq 180$ °C)	Module 2, vertical & insulated (tc 1-12,40-43)	Module 3, horizontal & insulated (tc 26-35)
	30 min 10 s (tc 41)	35 min 40 s (tc 30)
Remained intact until	39 min ¹⁾	39 min ¹⁾
Insulation I	ΔT (number of tc)	
Highest temperature rise (criterion: $\Delta T \leq 180$ °C)	Module 2, vertical & insulated (tc 1-12,40-43)	Module 3, horizontal & insulated (tc 26-35)
	15 min	80 °C (43)
	30 min	178 °C (41)
	39 min	553 °C (41)
	$\Delta T \leq 180$ °C (number of tc)	30 min 10 s (tc 41)	35 min 40 s (tc 30)

Joskus kevytseinärakenteet pitää säilyttää korjauskohteissa. Tällöin kannattaa ennen korjaussuunnitelmaa selvittää väliseinän rakenne ja tiiveys ympäröiviin rakenteisiin. Pienikin halkeama rakenteen lävitse pilaa ilmatiiveyden, jolloin tehdyillä korjaustoimenpiteillä ei saavuteta oikeata teknistä tasoa esim. äänessä tai palossa. Tiiveyden voi tarkistaa ns. merkkisavulla.



PALOLUOKKA EI 60

R'w 55

Lisärakenne mp:

1. 2 x 15,4 mm GF Gyproc Palosuojalevy (levysaumot limittävä)
2. Gyproc AP 25 Akustinen jousiranka, k 400 mm
3. Puukoolaus $\geq 22 \times 45$, k 600 mm + ISOVER KL-AKU 30 mm
4. Alkuperäinen rakenne

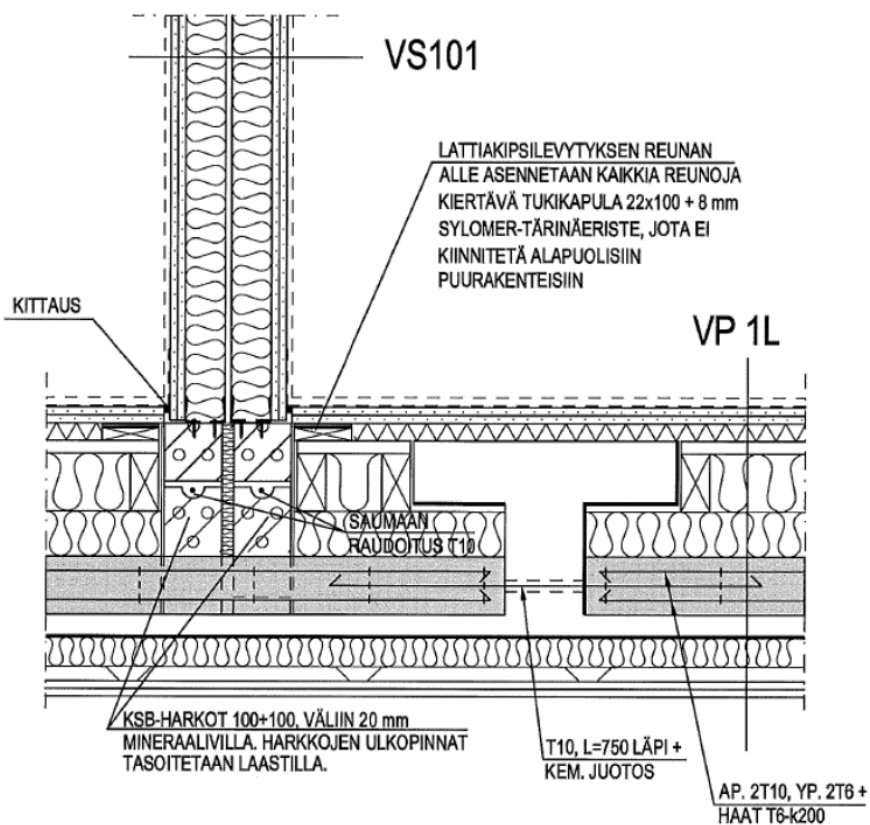
Rakennekuva 22. Cloison-seinän parannus, ”kloissoni” 1910.

Seinien ääniteknisessä parantamisessa tiiveys on tärkeä äänen sivutiesiirtymisen estämisessä.

5.2. Esimerkkikohteita vanhojen välipohjien esteettömyys- ja ääniratkaisujen osalta

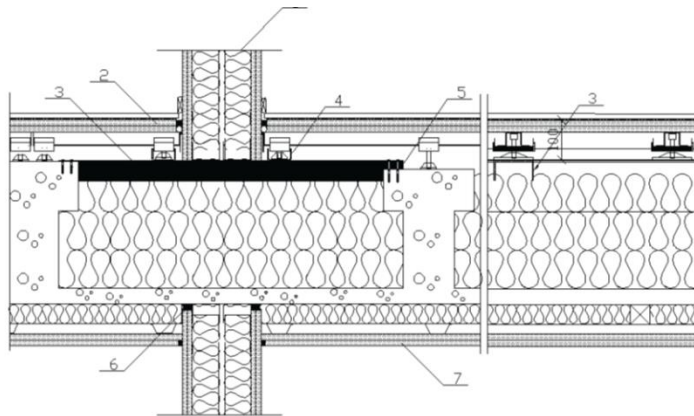
Huoneen sisällä korkoerot voi olla useita kymmeniä millimetrejä, mutta tärkein tieto esteettömyyden takia on porraskäytävän korkotaso suhteessa huoneistoihin. Seuraava asia on selvittää alapalkiston tyyppi sekä ns. vapaaväli, jotta voi alkaa suunnittelemaan rakenteita. Myös huonekorkeuden määräys 2500 mm on huomioitava.

Alla rakennekuvassa 23 esitetään teknisesti puutteellinen ja kallis korjaustapa. Välipohjarakenteeseen tuodaan taas rakennekosteutta. Rakennekuvan 23 ratkaisu on työläs ja hidas toteuttaa.



Rakennekuva 23. Välipohjarakenteen korjausvaihtoehto.

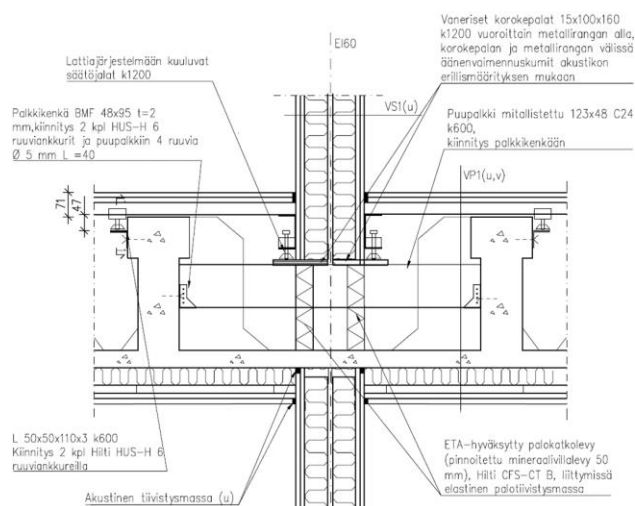
Sitten vaihtoehto rakenteelle, joka perustuu akustiseen asennuslattiaan ja kevytrakente-tekniikkaan, rakennekuva 24.



1. Huoneistojenvälinen seinä
2. Debel-lattia, madalettu ratkaisu, katso käsikirjan kohta 3.7
3. Esim. U-profiili 50/100/50 mm k 1200, ainevahvuus 3 mm, leikatut laipat työrmaalla
4. Esim. U-profiili 30/60/30mm k 1200, ainevahvuus 3 mm,
5. U-terästen tasaus vaneripaloilla
6. väliseinän tiivis liitos välipohjan alalattaan
7. alakattorakenne
 - koalaus 50 x 50 mm k 600 + mineraalivilla
 - Gyproc AP 25 (jousiranka 25) mm, k 400
 - kipsilevytyks 2x13 mm tai 2 x GF 15 paloluokan mukaan

Rakennekuva 24. Vaihtoehtoinen ratkaisu välipohjan korjaukseen /57/.

Idea rakennekuvasssa 24 on yksikertainen: otetaan U-profiili, joka laitetaan palkiston päälle, siten että laipat ovat aukileikatut. Vaneripaloilla tasataan korkeuserot ”aluslap-puina” U-profiilin laipan alla. Tästä U-profiilista saadaan kannatus asennuslattialle sekä huoneiston väliseen seiniin. Näin ei tarvita betonivaluja, muotteja, harkkomuurausta eikä puupalkistoa tärinäneristimiseen. Ratkaisu säästää kustannuksia ja myös aikaa. Rakennekuvasssa 24 oleva ratkaisun käyttö onnistuu silloin, kun korko on noin 100–150 mm välillä lattianpinnassa purkutöiden jälkeen.



Rakennekuva 25. Korko on vain 71 mm lattiasa.

Rakennekuvan 25 korjauskohteessa korko oli vain 71 mm. Tässä akustisen asennuslattian Debelin tukijalkaa ei voinut laittaa palkiston päälle vaan sivulle tuettuna. Huoneistojen väliset seinät tuettiin puupalkilla ja palkkikengillä.

Tämä rakennekuvan 25 kohde mitattiin ilmaeristävyys ja sekä askeläänet, kovalla päällysteellä ja äänissä tulokset on esitetty taulukossa 21 ja 22.

Taulukko 21. Ilmanäänen eristävydet mittaukset R'_w .

Nro	Vaaka / Pysty	Mistä	Mihin	R'_w [dB]
1	V	As. C29 MH	As. B10 MH	61
2	V	As. C29 OH+K	As. B10 OH+K	63
3	V	As. C34 OH+K	As. B15 OH+K	66
4	P	As. C37 MH3	As. C32 MH1	66
5	P	As. C36 OH+K	As. C31 OH+K	68
6	P	As. C41 OH+K	As. C37 OH+K	63

Vaativustaso oli R'_w 55 dB ja mittaus tehtiin rakennekuvan 25 mukaisesta kohdasta.

Taulukko 22. Askeläänitaso mittaukset $L'_{n,w}$.

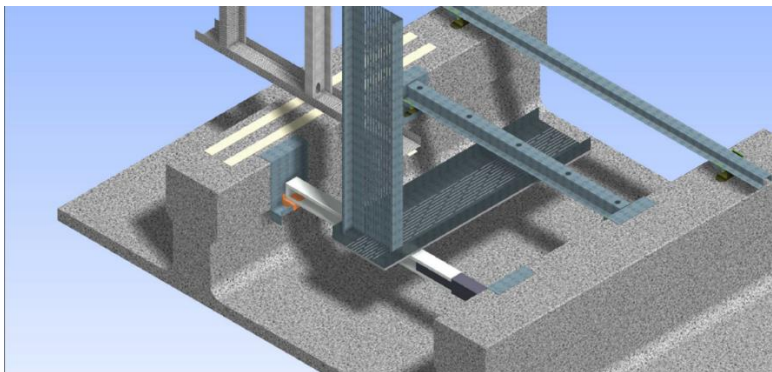
Nro	Vaaka / Pysty	Mistä	Mihin	$L'_{n,w}$ [dB]
1	V	As. C29 MH	As. B10 MH	37
2	V	As. C29 OH+K	As. B10 OH+K	31
3	V	As. C34 OH+K	As. B15 OH+K	31
4	P	As. C37 MH3	As. C32 MH1	41
5	P	As. C36 OH+K	As. C31 OH+K	40
6	P	As. C41 OH+K	As. C37 OH+K	43

Vaativustaso oli $L'_{n,w}$ 53 dB ja mittaus tehtiin rakennekuvan 25 mukaisesta kohdasta.

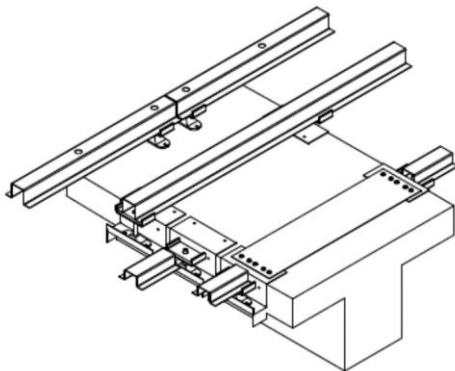
Päätelmänä voidaan todeta, että ilmanäänen- sekä askelääneneristävyys täyttyvät kohteessa. Mittaustuloksien perusteella tuleva muutos äänenmittaukseen mittaustaaajuuden pudottamisesta 50 Hz kohdalle nykyisestä 100 Hz vaikuttaa Debel asennuslattiaan 2-3 dB:tä. Tämä heikennyksen pienuus, johtuu siitä, että Debel asennuslattiajärjestelmä mitoitetaan värinämitoitusehdolla 16 Hz.

5.3. Debel asennuslattiajärjestelmän käyttö alalaattapalkistovälipohjissa

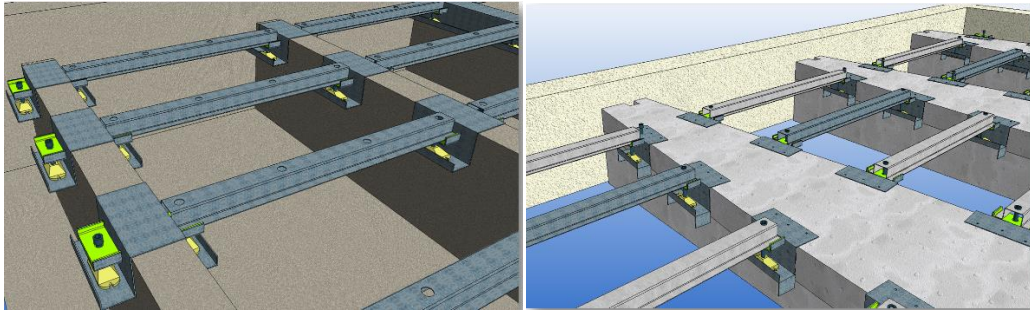
Vanhoissa alalaattapalkistossa meni palkiston ylitse 38 mm ponttilauta. Näissä kohteissa (rakennekuvat 12–13) korko on ns. tiukka, sillä lattiarakenteet ovat vielä työteknisistä syistä ”vinossa”. Korkeuseroja löytyy niin pituus- kuin poikittaissuunnassa. Tiukka korko perustelee ratkaisun, joissa joudutaan menemään alalaattapalkiston väliin tekemään kannatus, kuten rakennekuviissa 28–29 on esitetty. Tällöin Debelin hattulista katkaistaan poikki ja tupla Gyproc Lattia Lapikas GL 15 -levytyksen puristuspuoli kantaa kuormituksen betonipalkiston yli, kun ylitys on korkeintaan 300 mm pitkä. GL 15 kipsilevytyksen kokonaispaksuus on noin 32–35 mm, liiman tai saneerauslaastin takia, mikä on levytyksen välissä. Kun palkiston yläpinnan vaakasuuntainen ylitys on ollut 750 mm ja korko ainoastaan 40 mm. Näihin paikkoihin laitettiin erikoismuovikerros, jolla on hyvä dynaaminen kestävyys ja ”jousi”, jotta materiaali joustaa maksimissa 2–3 mm. Samoin paloluokka on vähintään B-s1,d0 kyseillä materiaalilla. Samassa huoneistossa oli 50 mm korkeuseroa koko lattiarakenteen osalta. Betonipalkiston päälle laitettiin 20 mm hattulista. Alla olevissa kuvissa on suunnitteluvaiheen erilaisia huonekohtaisia versioita.



Rakennekuva 26. Kipsilevytyksellä päästään palkiston ylitse.



Rakennekuva 27. Kipsilevytyksellä ei päästä enää palkiston ylitse.



Rakennekuvat 28–29. Totutuksesta, jossa vasempaan kuvaan lisättiin vielä metallihenk-selit päälle.

5.4. Palon siirtyminen alaspäin välipohjissa

Nykyiset palomääräykset edellyttävät P2 luokan rakennuksissa, että välipohja täyttää paloluokituksen suojaverhouksen osalta K₂ 30. Tämä määräys muuttuu 2018 vuoden alussa.

Alla on kuvaus testeistä, joilla testattiin lattiarakenteiden palonkestoa kantavana raken-teena huomioiden lämpötilat sekä taipumat.

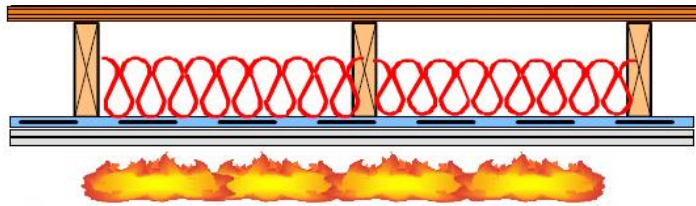


Kuvat 31–32. Uuni ja kuormitustilanne polttokokeen aikana testikappaleessa /48/.

Taulukko 23. Testitulokset polttotesteistä.

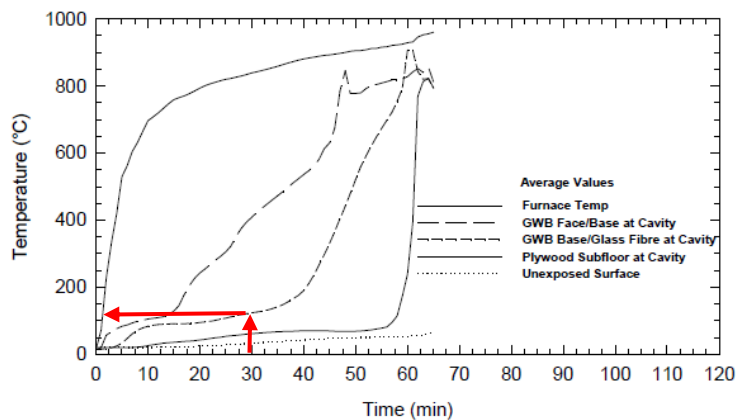
No.	Wood Joist		Ceiling Finish	Sub-Floor			Cavity Insulation			Resilient Channels	Load	Fire	Gypsum Board Fall-off Min:s			
	Depth (mm)	Spacing (mm)	Layers	Type	Thick (mm)	Layer	Type	Thick (mm)	Location	Spacing (mm)	(N/m ²)	Resistance (min.s)	Face Layer	Last	Base Layer	Last
1	235	406	1	Ply	15.5	1	***	***	***	***	3830 R	30.00	24.22	31.20	***	***
2	235	406	1	Ply	15.5	1	***	***	***	406	3830 R	45.00	42.07	47.20	***	***
3	235	406	2	Ply	15.9	1	***	***	***	406	3830 R	51.00	36.00	41.00	50.15	51.00
4	235	406	2	Ply	15.5	1	***	***	***	406	3830 R	80.00	49.42	57.30	77.43	***
5	235	406	1	Ply	15.5	1	G1	89	B	406	3830 R	36.00	26.14	31.00	***	***
6	235	406	1	Ply	15.5	1	R1	89	B	406	3830 R	60.00	26.35	32.11	***	***
7	235	406	1	Ply	15.5	1	C1	86 ⁹ /93 ^b	T	406	3830 R	59.00	34.00	38.22	***	***
8	235	406	2	Ply	15.5	1	G1	89	B	406	3830 R	67.00	44.43	48.50	57.30	62.45
9	235	406	2	Ply	15.5	1	R1	89	B	406	3830 R	72.00	48.19	53.15	56.50	63.43
10	235	406	2	Ply	15.5	1	C1	59 ⁹ /122 ²	T	406	3830 R	74.00	48.45	53.47	57.36	60.00
11	235	610	2	Ply	19.0	1	***	***	***	610	3256	58.55	47.08	55.23	54.55	***
12	235	610	2	Ply	19.0	1	G1	89	B	610	3256	57.05	47.29	51.09	51.46	52.39
13	235	610	2	Ply	19.0	1	R1	89	B	610	3256	63.33	49.29	51.51	52.38	56.25
14	235	406	2	Ply	15.5	1	***	***	***	406	5075	69.00	43.49	60.58	67.09	68.55
15	235	406	2	Ply	15.5	1	G1	89	B	406	5075	65.00	45.13	52.54	59.01	62.12
16	235	610	2	Ply	19.0	1	G1	89	B	610	3256	57.05	47.29	51.09	51.46	52.39
17	235	406	2	Ply	15.5	1	G1	89	B	610	5027	57.27	48.02	53.10	51.58	53.24
18	235	406	2	Ply	15.5	1	***	***	***	***	5027	67.10	56.06	61.10	65.32	***
19	235	406	2	Ply/GC	15.5/25.4	***	G1	89	B	406	4644	68.27	53.14	57.50	60.44	64.00
20	184	406	2	Ply	15.5	1	G1	89	B	406	3304	67.15	53.08	57.08	60.10	62.30
21	235	610	2	Ply	15.5	2	G1	89	B	610	3783	58.43	48.19	51.49	51.52	52.20
22	235	406	1	Ply	15.5	1	***	***	***	406	5123	40.49	40.43	43.00	***	***

Tarkastellaan taulukon 23 rakennenumeroa 15, joka koetilanteessa on ollut rakenneku-
van 30 mukainen.

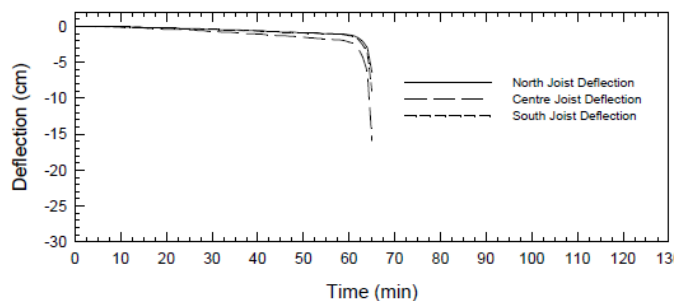


Rakennekuva 30. Testattu välipohjarakenne 15 /48/.

Alhaaltapäin kuvattuna: kaksi palokipsilevyä (paino 9,85 kg/m²/levy, Type X, 12,7 mm), puurima 14 x 58 mm jako 406 mm ja lasivillaeristeen paksuus 90 mm. Päällimmäisenä vanerilevy, jonka paksuus oli 15,5 mm. Kantavana puupalkistona 38 x 184 mm k 406 mm (taulukossa 8, virhe). Poltettavan elementin koko oli 3,9 x 4,8 m.



Kaavio 29. Lämpökäyrät rakenteesta 15 /48/.



Kaavio 30. Taipumat rakenteesta 15 /48/.

Taulukon 23 ja kaavioiden 29–30 perusteella voidaan päätellä, että palokipsilevyt ovat toimineet noin 45 min. saakka. 30 min kohdalla kipsilevyjen takana on ollut lämpötila alle 200°C, jolloin puu ei lähde vielä hiiltymään. Vertailukohtena rakenne15, jossa on ollut mukana rakenteessa lasivillaa. Korjauksissa yleensä käytetään lasivillaa tai puhall-

lusvillaa alalaattapalkiston täytteenä. Joten kyseistä koetulosta ja tulkintaa voi soveltaa käytäntöön.

Debel rakenteessa käytetään 2 x 15 mm DIR luokan kipsilevyjä, joissa neliöpaino on 15,0 kg/m². Olemme polttaneet VTT:llä seinärakenteen EI 60, jossa oli DIR mukainen 15 mm kipsilevy, jossa oli kipsimassaa 14,0 kg/m², metallirunko 66 mm k 900 + lasivil- la 66 mm ja DIR mukainen 15 mm kipsilevy. Lattia Lapikas GL 15 levy vähintään vas- taa Type X palokipsilevyä. Jos vaatimustaso on K₂ 30 suojaverhousluokka, tällöin se saavutetaan 2 x GL 15 levytyksellä välipohjissa. Jos vaade on K₂ 60 suojaverhousluok- ka, se saavutetaan 2 x GFL 18 levytyksellä, joka on esitetty VTT tutkimusraportissa VTT-R-07556 -10 taulukossa 3.1.6.2, sivu 32 /62/.

GL 15 levyn paloluokka on B-s1,d0 ja vaatimustaso suojaverhouksesta on ollut palo- luokasta A2-s1, d0, tällöin lattian voi pinnoittaa vapaasti pintapaloluokan RakMK E1 mukaisesti. Debel kohteisiin suosittelen, että GL 15 levytyksen osalta pudotetaan kar- tonkipaino 220 g/m², jolloin A2-s1, d0 täyttyy ja kompensoidaan lasikudulla kartongista erotuksessa hävityt mekaaniset ominaisuudet. Tämä asia muuttuu vuodesta 2018 alkaen, jolloin paloluokka B-s1,d0 käy suojaverhouksiin ja kartonkipaino voi olla alkuperäinen GL 15 kipsilevyssä.

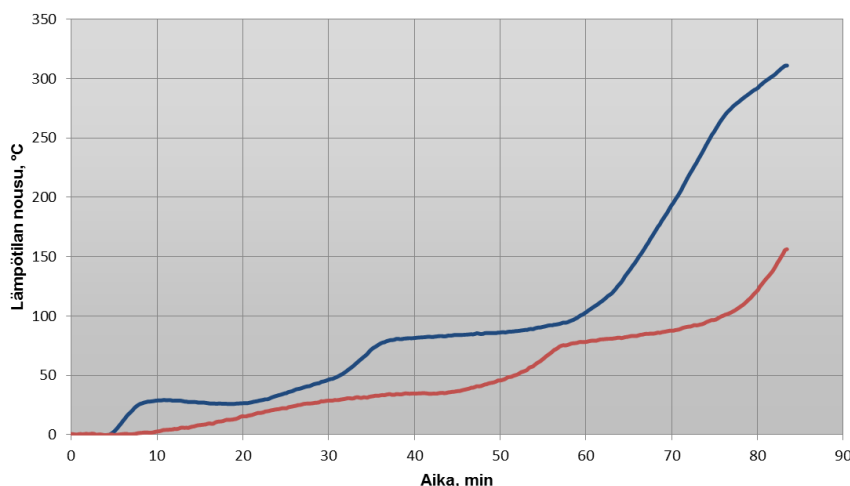
5.5. EI 30 ja K₂ 30 rakennevaihtoehdot

Rakenne koostuu GFL 18 palokipsilevystä sekä Isover Ultimate 30 mm tuotteesta. Put- tikoteloissa EI 30 paloluokkaan on poltettu GFL 18 ja Isover Ultimate 30 mm yhdis- telmärakenne. Rakenteesta on kuva 30, sivulla 83 ja taulukossa 20 testitulokset. Kotelo- rakenne oli pystyssä sekä vaaka-asennossa. Kotelorakenteesta vaakaosio oli U-mallinen ja koekappaleen sisäpuolella ei ollut nurkissa metallitukia. Polttokokeen tulirasitus pääsi vaikuttamaan kolmelta sivulta yhtä aikaa. 30 minuutin kohdalla poltosta lämpötila oli kotelon sisällä vain 80°C. Sisällä olevat sähkökaapelit olivat kunnossa. Edes kaasumais- ta paloa tai vastaavaa ei ollut havaittavissa. Tämä rakenneratkaisu toimii myös alakatto- na paloa vastaan EI 30 paloluokassa.

Yksittäinen GFL 18 palokipsilevy on testattu suojaverhousluokkaan K₂ 30. Tällöin ra- kennesuojauksessa yhdistyy myös suojaverhousvaade esimerkiksi poistumisteiden osalta.

5.6. EI 60 rakennevaihtoehdot

Alla on komposiittirakenteiden polttokoetietoa, joissa tärkeintä on lämpötilan kehitys.





Kaavio 31. Lämpötilojen nousu rakenteissa.

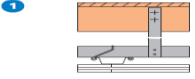
Sininen käyrä kaavioissa 7 edustaa 2 x 6 mm Glasroc F Multiboard -levyjen lämpötiloja ja alempi käyrä 3 x 6 mm Glasroc Multiboard -levy kombinaatioita. Glasroc F levytyksien välissä oli kivivilla. Nyt kun käytetään Isover Ultimate tuotetta, jonka tiheys on 60 kg/m³, niin tämä vastaa noin 110 kg/m³ kivivillaa palonkestoltaan. Polttotestissä oli ohuempi eristepaksuus ja kivivillan tiheysvaikutus oli huonompi. Palominaisuuksiltaan parempi ratkaisu saavutetaan rakenteella 12,5 Glasroc F Multiboard ja Ultimate 30 mm, joka on kiinnitetty Wurth palomassalla (W350). Tällä rakenteella saavutetaan EI 60 paloluokitus, siten että lämpötila on alle 100°C alakattoelementin takana. Alakattorakenteen takana on vielä 15 mm ilmarako (rakennekuva VP1/5), jolloin sähkökaapelit voivat olla Ultimate eristeen päällä tai 10 mm tuotteen sisällä. Tällä ei ole vaikutusta palossa.

5.7. EI 90 rakennevaihtoehdot

EN standardin 1365-2:2000 (Fire resistance tests for loadbearing elements. Floors and roofs) mukaan on poltettu alasripustettu alakattojärjestelmä.

**Table 3a – Casoline MF fire protection to timber floor constructions
Solutions to satisfy EN 1365-2: 2000**



1

Floor boarding of 21mm minimum t&g softwood or wood particle floor boarding. Solid timber joists²
38 x 195mm at 600mm centres. Casoline MF suspended ceiling fixed to joists. Ceiling linings as in table.

Detail	Board type	Ceiling lining thickness mm	Approx weight kg/m ²	Maximum MF5 support centres mm	Maximum MF7 support centres mm	System reference
90 minutes fire resistance EN						
1	Glasroc F MULTIBOARD	3 x 10	30	450	1200	G106035

² Maximum permissible timber grade of 100% load ratio C24.

NI The fire resistance and sound insulation performances are for imperforate partitions, walls and ceilings incorporating boards with joints taped and filled, or skimmed according to British Gypsum's recommendations. The quoted performances are achieved only if British Gypsum components are used throughout, and the Company's fixing recommendations are strictly observed. Any variation in the specifications should be checked with British Gypsum.

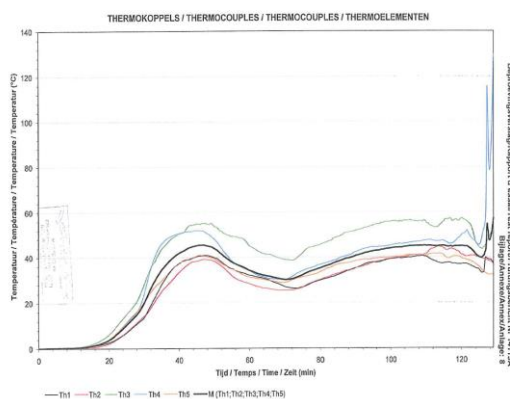
Rakennekuva 31. Alakatto EI 90 /67/.

Alakaton levytyksenä oli 3 x 10 mm Glasroc F Multiboard sekä hattulistajärjestelmä primaarit k 1200 ja sekundaarit k 450 mm.

Tämä rakenne voidaan myös tehdä yhdestä 30 mm Glasroc F Multiboard siten, että levyn saumakohtien takaa löytyvät tarpeeksi jäykät tukirakenteet. Tukilistat, jotka eivät osallistu paloon, on jäähdytetty palamattomalla eristeellä sekä rei'ityksellä Z profiilin keskellä lämmön johtumisen estämiseksi.

5.8. .EI 120 rakennevaihtoehdot

Alakatto on poltettu EI 120 paloluokkaan standardin EN 1364-2:1999 (Fire resistance tests for non-loadbearing elements. Ceilings) mukaan. Rakenteessa oli 3 x 15 Glasroc F Multiboard ja kivivilla 60 mm, jonka tiheys 33,7 kg/m³. 30 mm Ultimate mineraalivilla vastaa hyvin edellä mainittua tuotetta.



Kaavio 32. Lämpötilat alakattopoltossa EI 120.

Kaavion 32, perusteella totean, että lämpötila 120 minuutin kohdalla on maksimissaan noin 60°C.

6 VÄLIPOHJIEN KORJAUKSIEN RAKENNERATKAISUT

Rakennekuivissa VP1–VP3 on esitetty alalaattapalkistolle ja VP4 Nilcon- sekä VP5 onteloelementille korjausparannukset paloluokissa EI 30–EI 120. Näissä parannusehdotuksissa on huomioitu, kattorasioiden ja sähköjohtojen asennukset. Toinen tärkeä asia on ääneneristävyys, jota voidaan parantaa esim. Debel-lattiajärjestelmällä. Tämä lattiajärjestelmä toimii myös alas menevää paloa vastaan. Alalaattapalkistossa on tärkeää huomioida, kuinka paljon huoneistokorkoa on käytössä. Debel-lattiajärjestelmä voi lähteä betonipalkin päältä tai betonipalkiston vierestä, jolloin vain GL 15 levyt menevät ylitse ja ovat irti noin 5 mm betonipalkista. Kaksoislaattapalkistoja on purettu niin, että ylälaatta on leikattu irti, jolloin välipohja on muuttunut laippapalkistiksi. Tällöin Debel-lattiajärjestelmä on pudotettu laippapalkiston väliin. Alalaattapalkisto, joissa lattian koolaus on ollut suoraan betonipalkkien päällä, esiintyy eniten asennuskorkoa. Lattiakoolaus on ollut 2”x 4” ja sen alla huopa yms. kaistoja sekä päällä lattialauta on 1½ ”. Ontelo- tai Nilcon-elementtien päälle yleensä ei voi tehdä Debel-lattiajärjestelmää. Poikkeuksena on ollut kohde, jossa ontelon päälle tehtiin Debel-asennuslattia 250 mm korkoon, jotta saatiin kaikki LVIS-ratkaisut laitettua lattian kautta. Tällöin piti kaikki käytävät yms. nostaa samaan korkoon. Kyseessä oli toimistotalon muutos asuntokäyttöön.

Vanhoiden rakennusten huonekorkeus on 2600–3000 mm, joten EI 60 paloluokassa yläpohjan alapinnassa noin 60 mm lisärakenne sopii vielä vaatimuksen 2500 mm kanssa. Rakennekuivissa VP4 ja VP5 osalta, että Nilcon ja onteloelementin päällä on kelluva lattia. Näissä tapauksissa sallittu huonekorkeus kannattaa tarkistaa myös viranomaisilta ja huomioida porraskäytävän korkovaatimukset esim. luiskaamalla.

6.1. Elementtirakenne ja muut vaihtoehdot

Jotta korjausrakenneratkaisut ovat kilpailukykyisiä markkinoilla, ne pitää tehdä elementteinä ja toimittaa työmaalle huoneistokohtaisesti. Elementin peruskoko on 600 x 1200 mm johtuen siitä, ettei synny hukkaa valmistusprosessissa eikä elementin paino kasva liian suureksi hidastaen asennusta. Elementin paino on ratkaisusta riippuen 12,5–40,2 kg/m². Yleisin paino on 9 kg/elementti paloluokassa EI 60. Elementin pitää olla sellainen, että se soveltuu tukijärjestelmään. Elementti kiinnitetään Z-profiiliin, jonka ai-

nevuus on vähintään 0,6 mm ja teräksen lujuusluokka EN 10025 mukaan S355JR tai S355JO.

Z-profiili myötölujitetaan Gypsteel-teknologilla, jolloin profiilin jäykkyys kasvaa huomattavasti, mutta keveys säilyy asentaessa ja ruuvattavuus paranee noin 15 %, verrattuna sileään teräkseen. Tämä ruuvauksen parantaminen vaikuttaa niska- ja hartia sekä alaraajoihin kuormituksen keventämisenä asennustyössä. Asennusmukavuus myös myy tuotetta eteenpäin, mikä on etu kilpailijoihin nähden. Z-profiili kiinnitetään betoniin M6 x 30 mm ankkurilla k 400 siten, että rakennesuunnittelija tarkistaa kapasiteetin kiinnityksessä. Glasroc F Multiboardin väri on kipsinvalkoinen marmoripinta, jolloin ruuvauksessa käytetään valkopäisiä ruuveja. Lisäksi seinää pitkin menee C-profiili, johon saadaan Z-profiilit tuettua ja kiinnitettyä. Elementin pystyy tekemään alihankkija, ja vuositasolla realistinen määrä on 50 000 – 100 000 m²/vuosi. Tämä synnyttää alihankkijalle uusia työpaikkoja sekä myös alakattourakoitsijoille ja teräsprofiilien valmistukseen Suomessa.

Palonsuojaus voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään: märkäratkaisut, kuivaratkaisut sekä kombinaatoratkaisut. Olen pudottanut märkäratkaisut pois välipohjista, koska ne ovat hankalia toteuttaa esim. korjauskohteissa. Kuivaratkaisuissa ovat erilaiset eristetyypit, sementtilevyt, vermuliittilevyt, kipsilevyt, puupohjaiset tuotteet (2018 lähtien) jne. joko suorakiinnityksellä tai alakattoratkaisuina. Suoraan kilpailijoina pidän ainoastaan kivivilla- ja Promatech ratkaisuja.

6.2. Kustannusvertailut vaihtoehtojen välillä

Kustannusvertailun lähteenä on Rakennusosien kustannuksia 2016. Kuvassa 33, on esitetty perinteinen alakatto, josta puuttuu eristeen materiaalihinta ja asennuskustannus. Vertailun lähtökohdaksi olen ottanut EI 60 rakenteen, koska se on yleisin.

Paneeloinnit ja levytykset	materiaali- määrä	materiaali- kustannus €/m ²	työ- määrä tth	aputyön osuus %	työ- kustannus €/m ²	ALV 0 %
						kustannus yhteensä €/m ²
Kattojen paneeloinnit ja levytykset						
Jousiranka ja kipsilevy 13 mm, 2-kertainen levyitys	1,00 m²	19,73	0,54	25	17,45	37,18
• akustinen jousiranka	2,60 jn	10,66				
• kipsikartonkilevy 13 x 1200 x 2600 mm	1,10 m ²	4,39				
• kipsikartonkilevy 13 x 1200 x 2600 mm	1,10 m ²	4,39				
• ruuvi, kipsilevyruuvi 41 mm, teräs- ja puuranka	0,04 kg	0,29				
Jousiranka ja kipsilevy 15 mm, 2-kertainen levyitys	1,00 m²	31,11	0,54	25	17,45	48,56
• akustinen jousiranka	2,60 jn	10,66				
• kipsikartonkilevy 15 x 1200 x 2750 mm, palonsuojalevy	1,10 m ²	10,08				
• kipsikartonkilevy 15 x 1200 x 2750 mm, palonsuojalevy	1,10 m ²	10,08				
• ruuvi, kipsilevyruuvi 41 mm, teräs- ja puuranka	0,04 kg	0,29				
Kokous 50 mm, jousiranka ja kipsilevy 15 mm, 2-kertainen levyitys	1,00 m²	32,84	0,58	25	18,68	51,52
• soiro 50 x 50 mm, kuusi B	1,79 jn	1,61				
• nauha, langanauha 2,8 x 75 mm, kuumasinkitty	0,05 kg	0,12				
• akustinen jousiranka	2,60 jn	10,66				
• kipsikartonkilevy 15 x 1200 x 2750 mm, palonsuojalevy	1,10 m ²	10,08				
• kipsikartonkilevy 15 x 1200 x 2750 mm, palonsuojalevy	1,10 m ²	10,08				
• ruuvi, kipsilevyruuvi 41 mm, teräs- ja puuranka	0,04 kg	0,29				

Kuva 33. Rakennusosien kustannuksia 2016 /70/.

Lasivillan materiaalikustannus on 3,90 €/m² (alv 0 %) ja työmenekki on seinäasennuksessa 0,07 tth. Koska lasivillan asennus tapahtuu välipohjan alapintaan, työmenekin arvo nousee 0,10 tth, nostojen takia.

Taulukko 24. Kustannukset kipsilevykatosta, tavallinen ratkaisu.

Materiaalit	Materiaalimenekki	Materiaalikustannus	Työmenekki tth	aputyöosuus	työkustannus	kustannus yhteensä
	m ²	m ² /€ (alv 0%)		%	m ² /€ (alv 0%)	m ² /€ (alv 0%)
YHTEENSÄ		38,90 €	0,80	25	25,77 €	64,67 €
Rima 50 x 50, kuusi B	1,79 jm	1,61 €				
Lasivilla 50 mm	1,1 m ²	3,90 €	0,1			
Naula, panosnaula 2,8 x 75 mm kuumasinkitty	0,05 kg	0,14 €				
Akustinenjousiranka 25 mm k 400	2,6 jm	10,66 €				
GFL 15 Kipsilevy, palosuojalevy 1200 x 2750	1,1 m ²	10,08 €				
Kipsilevyruuvi 41 mm teräsrunkoon tai Hilo	0,04 kg	0,29 €				
GFL 15 Kipsilevy, palosuojalevy 1200 x 2750	1,1 m ²	10,08 €				
Kipsilevyruuvi 41 mm teräsrunkoon tai Hilo	0,04 kg	0,29 €				
Silote kipsilevyt (pohjalle ennen saumanauhaa ja ruuvien kannat)	0,2 kg	0,21 €	0,04			
Saumanauha kipsilevyt	1,0 jm	0,05 €				
Tasoite 1,5 kertaa ruiskupinta	1,0 m ²	1,59 €	0,08			
Alakaton teko			0,58			

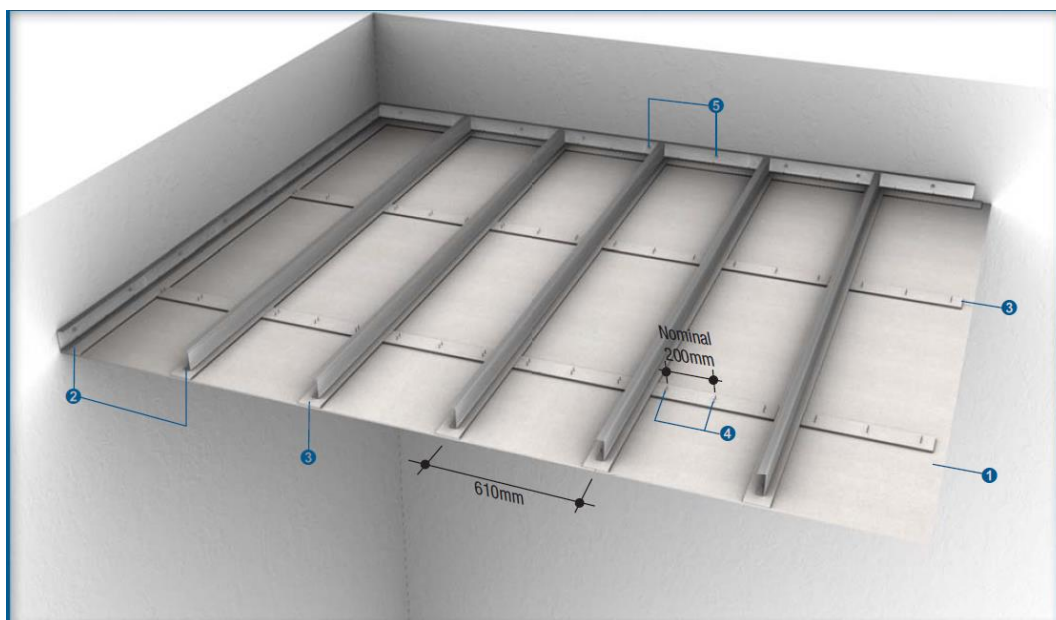
Neliöhinta asennettuna ja viimeisteltynä maksaa noin 64,67 €/m². Seuraavaksi vertailaan hintatasoa Promatect ratkaisuun, jonka rakenteet ovat esitetty kuvissa 34–35.

Fire attack from below / Non loadbearing

Fire Resistance	FRL	-/120/-
	STANDARD	BS 476: Part 22: 1987 AS 1530: Part 4: 2005
	APPROVAL	BRE CC 90656A
Acoustic	# STC # R _w	27dB 27dB
	STANDARD	ISO 140: Part 3: 1996 ISO 717: Part 1: 1996
	PREDICTED ASSESSMENT	Marshall Day 16th Aug 2007
Construction	CEILING THICKNESS	From 110mm
	CEILING MASS	From 14kg/m ²

Margin of error is generally within ±3dB

Kuva 34. Promatect periaate /17/.



Kuva 35. Promatect alakaton periaate /17/.

Promatect alakaton rakenne

1. 9 mm PROMATECT-H
2. Teräsrunko k 610 mm pituus maksimi 2600 mm C-profiili 92 x 34 x 0,8 mm ja 4000 mm asti neliöputki 100 x 100 x 2,3 mm
3. 9 mm PROMATECT-H levy 100 mm, saumojen taakse, sekä teräsrunгон
4. ruuvauskaavio k 200
5. Kiinnitysankkurit k 300 (M6 x 30 mm) ja C-profiili

Kuvassa 34 olevan katon kokonaiskorkeus on 110 mm ja rakennusmääräyskokoelman E1 mukaan polttokoe, jolla rakenne on poltettu, ei enää ole hyväksyttävä. Käytännössä näitä tyypitetään rakennusalalla vanhasta muistista. Ääneneristävyyden takia rakenteeseen on lisättävä lasivilla, jonka paksuus on vähintään 50 mm. Kun ainevahvuus on neliöputkessa 2,3 mm, niin tavalliset porakärkiset ruuvit eivät enää poraudu neliöputkeen, suositus on 2,1 mm. Ruuvien tulee olla itseporautuvia ja tämä nostaa ruuvien hintaa. Rakenteen korkeus on noin 118 mm ja paino levyistä 14,0 kg/m².

Sementtilevyn leikkaaminen ja ruuvaaminen on hitaampaa kuin kipsilevyjen. Rakennusosien kustannuksissa työmenekkien suhde seinäasennuksessa on sementtilevyllä 0,25 ja kipsilevyllä 0,18 tth/m².

Taulukko 25. Alakattokustannukset Promatect tuotteella.

Materiaalit	Materiaalimenekki	Materiaalikustannus	Työmenekki tth	aputyöosuus	työkustannus	kustannus yhteensä
	m ²	m ² €/ (alv 0%)		%	m ² €/ (alv 0%)	m ² €/ (alv 0%)
YHTEENSÄ		57,85 €	1,03	25	33,17 €	91,02 €
Lasivilla 50 mm	1,1 m ²	3,90 €	0,1			
C-profiili 100 x 100 x 2,3 mm	0,44 jm	1,66 €				
Neliöputki 100 x 100 x 2,3 mm k 610	1,79 jm	13,46 €				
Promatect 9 mm levy suikalleet 100 mm		5,87 €	0,07			
itse porautuvat ruuvit, käytetään myös neliö putken ja C-profiilin liitoksessa	0,04 kg	0,87 €				
Promatect 9 mm levy kokonainen		29,37 €	0,07			
itse porautuvat ruuvit	0,04 kg	0,87 €				
Silote (pohjalle ennen saumanauhaa ja ruuvien kannat)	0,2 kg	0,21 €	0,04			
Saumanauha	1,0 jm	0,05 €				
Tasoite 1,5 kertaa ruiskupinta	1,0 m ²	1,59 €	0,08			
Alakaton teko			0,67			

Kokonaiskustannukset ovat 91,02 €/m² (alv 0 %) alakatossa, joten kipsialakatto on halvempi vaihtoehto. Ratkaisuni kilpailee kipsialakaton kanssa paloluokassa EI 60.

Taulukko 26. Elementin kustannukset alakatossa.

Materiaalit	Materiaalimenekki	Materiaalikustannus	Työmenekki tth	aputyöosuus	työkustannus	kustannus yhteensä
	m ²	m ² €/ (alv 0%)		%	m ² €/ (alv 0%)	m ² €/ (alv 0%)
YHTEENSÄ		46,54 €	0,46	25	14,82 €	61,36 €
Z-profiili 45 mm k 600	1,79 jm	6,12 €				
Z-profiili 45 mm k 1200 poikittaiskannatin	0,9 jm	3,08 €				
C- profiili 45	0,44 jm	1,34 €				
Alakatto elementti (12,5 mm Glasroc F multiboard + Ultimate 30 mm mineraalivilla)	1,0 m ²	36,00 €				
Silote kipsilevyt (pohjalle ennen saumanauhaa ja ruuvien kannat)	0,2 kg					
Saumanauha kipsilevyt	1,0 jm					
Tasoite 1,5 kertaa ruiskupinta	1,0 m ²					
Alakaton teko			0,46			

Elementin kokonaiskustannukset ovat 61,36 €/m² (alv 0 %), joka on 3,31 €/m² (alv 0 %) halvempi ratkaisu kuin kipsialakatto vaihtoehto. Isoissa kohteissa tuolla erotuksella on kohdekohtaisesti merkitystä. Ratkaisun tehokkuutta voi parantaa, jos ne myydään komponentteina, jolloin valmiusastetta ei esiinny elementissä. Tällöin ei tosin pystytä varmentamaan, onko se kohteessa toimiva ratkaisu. Toinen asia on työergonomia ja siitä saatavat hyödyt, koska elementti on vain 600 x 1200 mm tai 600 x 600 mm. Tällöin työn suorittaja pystyy katsomaan elementin ylitse ja eikä kompastu. Kolmas asia on paino. Asentamista voisi verrata voimannostoharjoitteluun. Nyt yksi palokipsilevy koossa 1200 x 3000 mm painaa 46,1 kg ja vastaavasti elementti 45 kg samalla neliömäärällä. Kohteessa, jossa vaade on EI 60, joudutaan käyttämään kahta palokipsilevyä eli nostot on

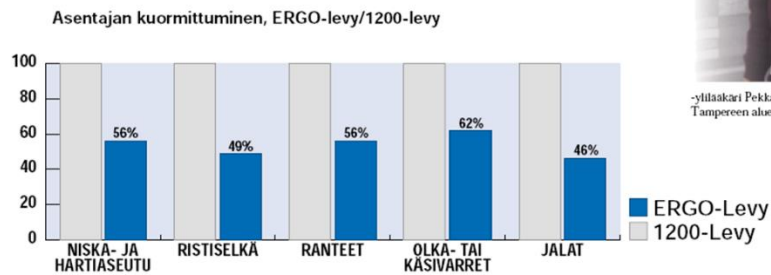
2 x 46,1 kg = 92,2 kg. Palokipsilevyä asennettaessa käytetään toki levyhissiä, mutta palokipsilevy pitää saada levyhissiin nostoilla ja siirroilla. Alla on kaaviossa 33 tutkittua tietoa 1200 / 900 kipsilevyn eroista ja siinä on vain 25 % painoero.

ERGO®-väliseinäjärjestelmä parantaa työergonomiaa

“Gyproc ERGO -kipsilevyn vaikutukset ovat merkittävät: sen käyttö vähentää asennustyöntekijän fyysistä kuormittumista sekä tuki- ja liikuntaelimestön sairastumisriskiä. Gyproc ERGO -kipsilevystä saavutettava hyöty on huomattavaa koko työyhteisölle”.



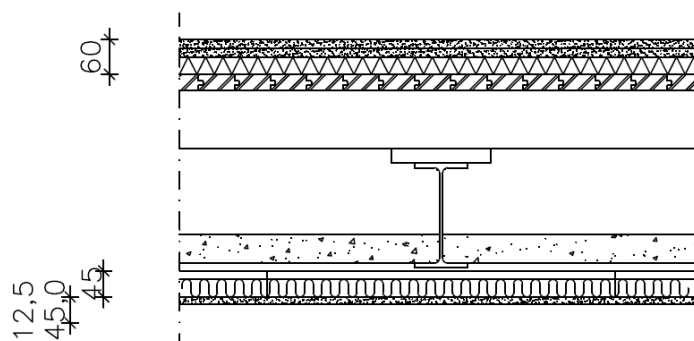
-ylilääkäri Pekka Roto,
Tampereen alue työterveyslaitos



Kaavio 33. 1200 / 900 mm kipsilevyn rasituksista.

6.3. Korjausratkaisu 1900–1915 välipohjaan

Rakennuskohde	Sisältö Vanha kerrostalon välipohja 1900 – 1915 korjaus	
Suunnittelija	Työ nro	VP1/5
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy	Päiväys	



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

Uusi rakenne:

- 30 mm 2xGyproc GL 15
- 30 mm ISOVER FLO

Vanha rakenne:

- Lauta
- Korokepuut
- Kiilaus
- Betoni, noin 80 mm
- Rappaus ja pintakäsittely

Uudet rakenne vaihtoehdot:

- EI 30
 - 30 mm ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
 - 18,0 mm Gyproc GFL 18
- EI 60
 - 30 mm ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
 - 12,5 mm Glasroc F Multiboard
- EI 90
 - 30 mm ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
 - 30 mm Glasroc F Multiboard
- EI 120
 - 30 mm ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
 - 45 mm Glasroc F Multiboard 30 mm + 15 mm

Äänen eristävyys, sivutie siirtymiä ei ole huomioitu:

- R^w > 60dB
- Lⁿ'w < 50dB (kova päällyste)
- Lⁿ'w < 50dB (joustava päällyste)

Kokonaiskustannukset EI 60 paloluokan parantamisessa noin 61,36 €/m² (alv 0 %).

Kokonaiskustannukset kelluvasta lattiasta noin 40,67 €/m² (alv 0 %).

6.4. Korjausratkaisu 1920–1940 välipohjaan

Rakennuskohde	Sisältö Vanha välipohja 1920 –1940, alalaattapalkiston korjaus	
Suunnittelija	Työ nro	VP2/5
Saint-Gobain Rakennustuotteet <input type="checkbox"/>	Päiväys	

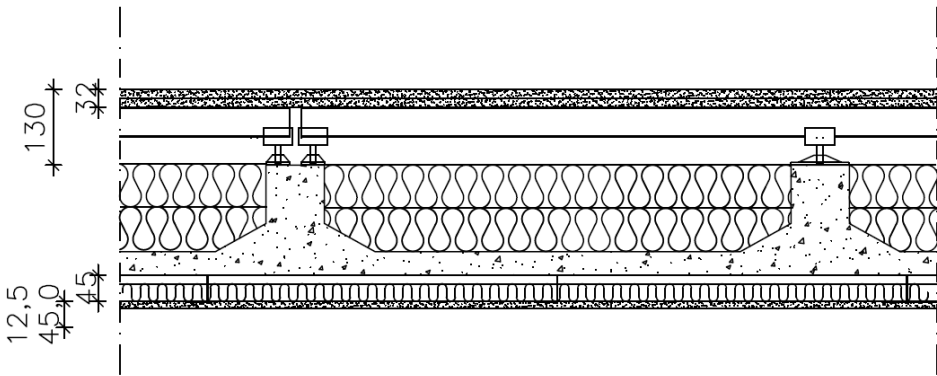
<p>RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:</p> <p><u>Uusi rakenne:</u></p> <p>32 mm Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan 2 x GYPROC lattiakipsilevy GL 15 LAPIKAS. Levyt liimataan yhteen M1-luokan liimalla tai laastilla. GL 15 levyt ovat irti palkin päältä 5 mm Levyt kiinnitetään hattuprofiileihin Gyproc Quick QM-GG 33 ja QM-GG47 ruuveilla.</p> <p>35 mm Kantava hattuprofiili HTLR 35x1,5 k400 Debelin säätöjalka ja akustiset kumit +säätöruuvi Debel tukikonsoli ja kiintys betoniin</p> <p><u>Vanha rakenne:</u></p> <p>≥ 150/200 mm Kantava alalaattapalkisto. Alalaatan paksuus ≥ 40 mm + Isover palamattomat eristeet(uusittu)</p> <p><u>Uudet rakenne vaihtoehdot:</u></p> <p>EI 30 30 mm ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200 18,0 mm Gyproc GFL 18</p> <p>EI 60 30 mm ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200 12,5 mm Glasroc F Multiboard</p> <p>EI 90 30 mm ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600 30 mm Glasroc F Multiboard</p> <p>EI 120 30 mm ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600 45 mm Glasroc F Multiboard 30 mm + 15 mm</p> <p>TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:</p> <ul style="list-style-type: none"> - DEBEL – kerroslattiarakenne soveltuu asuin-, majoitus- ja toimistokäyttöön tarkoitettuihin tiloihin tai kohteisiin, joissa kuormitukset ovat vastaavalla tasolla - DEBEL – kerroslattiarakenne on asennettava irti kantavista seinistä, hormeista ym. kiinteistä rakenteista - LVIS-asennukset on kiinnitettävä betoniin, ei DEBEL-kerroslattiarakenteisiin - LVIS-putket ja kanavat on asennettava mitoitetun piirustuksen mukaisesti - Katso tarkemmin ohjeesta "Kerroslattiajärjestelmä, DEBEL, Suunnittelu- ja asennusohjeet" <p><u>Äänen eristävyys, sivutie siirtymiä ei ole huomioitu:</u></p> <p>R'w > 60dB L'n'w < 50dB (kova päällyste) L'n'w < 50dB (joustava päällyste)</p>	

Kokonaiskustannukset EI 60 paloluokan parantamisessa noin 61,36 €/m² (alv 0 %).

Kokonaiskustannukset Debel asennuslattiasta noin 80 €/m² (alv 0 %).

6.5. Korjausratkaisu 1940–1950 välipohjaan

Rakennuskohde	Sisältö Vanha välipohja 1940 – 1950, alalaattapalkiston korjaus	
Suunnittelija	Työ nro	VP3/5
Saint-Gobain Rakennustuotteet <input type="checkbox"/>	Päiväys	



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

Uusi rakenne:

32 mm	Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaani 2 x GYPROC lattiakipsilevy GL 15 LAPIKAS. Levyt liimataan yhteen M1-luokan liimalla tai laastilla.
35 mm	Levyt kiinnitetään hattuprofiileihin Gyproc Quick QM-GG 33 ja QM-GG47 ruuveilla. Kantava hattuprofiili HTLR 35x1,5 k400 Debelin säätöjalka ja akustiset kumit +säätöruuvi

Vanha rakenne:

≥ 150/200 mm	Kantava alalaattapalkisto. Alalaatan paksuus ≥ 40 mm + Isover palamattomat eristeet(uusittu)
--------------	--

Uudet rakenne vaihtoehdot:

EI 30	
30 mm	ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
18,0 mm	Gyproc GFL 18
EI 60	
30 mm	ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
12,5 mm	Glasroc F Multiboard
EI 90	
30 mm	ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
30 mm	Glasroc F Multiboard
EI 120	
30 mm	ISOVER ULTIMATE + Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
45 mm	Glasroc F Multiboard 30 mm + 15 mm

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- DEBEL – kerroslattiarakenne soveltuu asuin-, majoitus- ja toimistokäyttöön tarkoitettuihin tiloihin tai kohteisiin, joissa kuormitukset ovat vastaavalla tasolla
- DEBEL – kerroslattiarakenne on asennettava irti kantavista seinistä, horneista ym. kiinteistä rakenteista
- LVIS-asennukset on kiinnitettävä betoniin, ei DEBEL-kerroslattiarakenteisiin
- LVIS-putket ja kanavat on asennettava mitoitettun piirustuksen mukaisesti
- Katso tarkemmin ohjeesta "Kerroslattiajärjestelmä, DEBEL, Suunnittelu- ja asennusohjeet"

Äänen eristävyys, sivutie siirtymiä ei ole huomioitu:

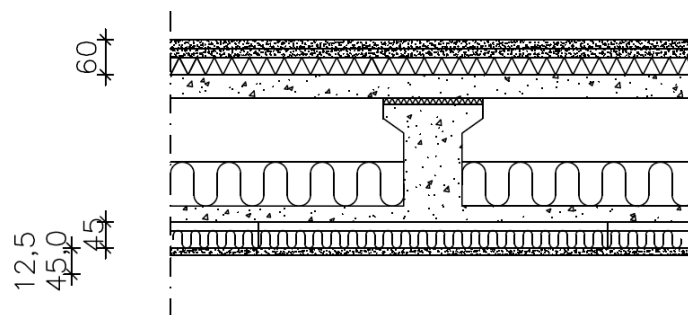
R'w > 60dB
L'n'w < 50dB (kova päällyste)
L'n'w < 50dB (joustava päällyste)

Kokonaiskustannukset EI 60 paloluokan parantamisessa noin 61,36 €/m² (alv 0 %).

Kokonaiskustannukset Debel asennuslattiasta noin 60 €/m² (alv 0 %).

6.6. Korjausratkaisu 1970–1980 välipohjaan

Rakennuskohde	Sisältö Vanha kerrostalon välipohja 1970–1980, korjaus	
Suunnittelija	Työ nro	VP4/5
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy	Päiväys	



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

	<u>Uusi rakenne:</u>
30 mm	Kipsilevytys, 2xGyproc GL 15
30 mm	ISOVER FLO
	<u>Vanha rakenne:</u>
	Päällyste
~40 mm	Kelluva lattialaatta
	Neopren eristimet
	Palkki + alkuperäinen eriste
~25 mm	Alalaatta

Uudet rakenne vaihtoehdot:

	EI 30
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
18,0 mm	Gyproc GFL 18
	EI 60
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
12,5 mm	Glasroc F Multiboard
	EI 90
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
30 mm	Glasroc F Multiboard
	EI 120
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
45 mm	Glasroc F Multiboard 30 mm + 15 mm

Äänen eristävyys, sivutie siirtymiä ei ole huomioitu:

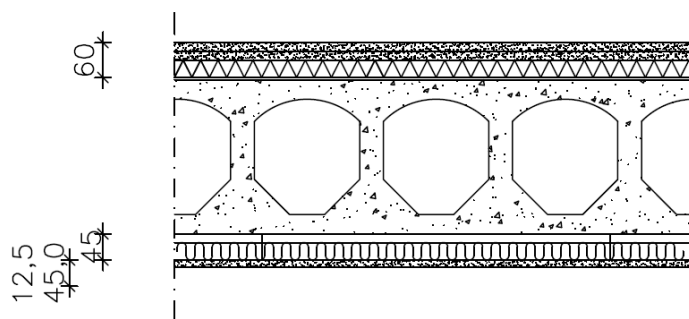
R'_w > 65dB
 L'_n'_w = 48–53dB (kova päällyste)
 L'_n'_w < 50dB (joustava päällyste)

Kokonaiskustannukset EI 60 paloluokan parantamisessa noin 61,36 €/m² (alv 0 %).

Kokonaiskustannukset kelluvasta lattiasta noin 40,67 €/m² (alv 0 %).

6.7. Korjausratkaisu 1970–1980 välipohjaan

Rakennuskohde	Sisältö Vanha kerrostalon välipohja 1970 –1980, korjaus	
Suunnittelija	Työ nro	VP5/5
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy	Päiväys	



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

	<u>Uusi rakenne:</u>
30 mm	Kipsilevytyt, 2xGyproc GL 15
30 mm	ISOVER FLO
	<u>Vanha rakenne:</u>
	Päällyste
	Tasoite
265 mm	Ontelolaatta

Uudet rakenne vaihtoehdot:

	EI 30
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
18,0 mm	Gyproc GFL 18
	EI 60
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k1200
12,5 mm	Glasroc F Multiboard
	EI 90
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
30 mm	Glasroc F Multiboard
	EI 120
30 mm	ISOVER ULTIMATE+ Z45 profiili k 600+Z45 poikittaisprofiili k600
45 mm	Glasroc F Multiboard 30 mm + 15 mm

Äänen eristävyys, sivutie siirtymiä ei ole huomioitu:

R'w > 65dB
 L'n'w < 50dB (kova päällyste)
 L'n'w < 50dB (joustava päällyste)

Huom! R'w arvo kantavan laatan paksuuden mukaan.

Kokonaiskustannukset EI 60 paloluokan parantamisessa noin 61,36 €/m² (alv 0 %).

Kokonaiskustannukset kelluvasta lattiasta noin 40,67 €/m² (alv 0 %).

7 POHDINTA

Asetettujen tavoitteiden ja haasteiden selvittämiseen sekä lähdemateriaalin etsimiseen ja tutkimiseen meni paljon aikaa. Kaikki tieto ja osaaminen tiivistyi lopulta 5 rakennekuvaan, joista selviää ratkaisujen lähtökohdat sekä perusteet. Väittäisin, että olen saavuttanut tavoitteet. Kokonaisuuksien mallintamista oppii parhaiten silloin, kun tarkastelee asioita useasta näkökulmasta ja osaa kiteyttää asian tiiviisti.

Esittämäni rakenneratkaisut voidaan viedä käytäntöön ja ne ovat osittain käytössä jo tällä hetkellä. Tämän lopputyön hyötynä oli havaita, ettei rakennetestausta palosta tarvitse suorittaa. Saint-Gobain konsernilla on jo tarvittavat polttokokeet taustalla, millä voi osoittaa alakattojen toimivuuden paloluokissa EI 30–EI 120. Esittämäni rakenneratkaisut poikkeavat palostandardien yleisestä 140°C lämpötilavaateesta. Tämän opinnäytetyön rakenneratkaisuilla pyritään hallitsemaan palolämpötilat ja pitämään ne 100°C vaaditut palonkestoajat, jotta betonirakenteissa ei tapahdu kideveden poistumisesta tapahtuvia vaurioita. Polttokokeet pitää käydä lävitse esim. VTT:n asiantuntijan tai palokonsultin kanssa ja tehdä niistä lausunnot, jotka liitetään tuotteiden laadunvalvontaan. Tällöin lausunto on myös pätevä viranomaistaholle, kuten rakennusvalvontaan. Kaikissa tuotelanseerauksissa ja uusissa toimintatavoissa menee 5 vuotta, ennen kuin niitä käytetään päivittäin rakennusalalla. Ensimmäiset kohderyhmät ovat viranomaiset ja suunnittelijat, sen jälkeen urakoitsijat.

Lopputyölläni on vaikutus rakennusalaan, yhteiskuntaan ja pienyrittäjiin. Huoneistopalojen hallinta paranee, saadaan mahdollisesti sairaspöissaoloja vähennettyä tai karsittua rakennusalan sairauseläkkeitä, parannetaan ääneneristävyyttä kohteissa ja saadaan esteettömiä tasoja aikaiseksi. Tässä sivussa voi syntyä uusia työpaikkoja eri puolille rakennussektoria.

Seuraavat kehitys- ja tutkimustarpeet ovat oikeat ergonomiset mittaukset työmaalla sekä työmenekkien mittaamiset pilottikohteessa.

LÄHTEET

- /1/ Olavi Holmijoki, 2013: Korjausrakentaminen Suomessa, Rakennustekniset kustannukset: Työterveyslaitos, Helsinki ISBN 9789522612533
- /2/ https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_suuriruhtinaskunta
- /3/ https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_asutushistoria
- /4/ Petri Neuvonen, 2006: Kerrostalot 1880 – 2000. Rakennustieto Oy, Tampere ISBN 13:978-951-682-794-3
- /5/ <http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/9historia/sosiaaliturva/tyottomyyshuolto>
- /6/ <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2012/20120081#idp5427056>
- /7/ <http://www.ym.fi/Rakentamismaarayskokoelma>
- /8/ http://energiakorjaus.info/pages/files/rakmk_old_fi/E5_1977_Kantavien_ja_osastovien_rakenteiden_palonkestavyys.pdf
- /9/ Satu Huuhka, 2016 Building 'Post-Growth' Quantifying and Characterizing Resources in the Building Stock https://tutcris.tut.fi/portal/files/8143390/huuhka_1414.pdf Tampere University of Technology ISBN 978-952-15-3812-4
- /10/ Petri Neuvonen, 2002: Kerrostalot 1880 – 1940. Rakennustieto Oy, Hämeenlinna ISBN 951-682-668-7
- /11/ https://fi.wikipedia.org/wiki/Kerrostalot_Suomessa
- /12/ Rakennusmääräyskokoelma G1Asuntosuunnittelu määräykset ja ohjeet 2005
- /13/ http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_terveellisyys_ja_esteettomyys/Rakennuksen_esteettomyys päivitetty 16.6.2016 klo 10.23
- /14/ <http://www.ukkinstituutti.fi/filebank/1555-IKINa-opas.pdf>
- /15/ <https://prontonet.fi/Pronto3/online1/OnlineTilastot.htm#>
- /16/ <http://www.pelastustoimi.fi/turvatietao/ehkaise-palon-syttyminen/tulipalon-vaarallisuus/palokuolemat>
- /17/ <http://docplayer.net/18406348-Passive-fire-protection-systems-application-technical-manual-ceilings-floors.html>

/18/ Kaija Pessa, Mikko Julin, Heikki Penttilä, Helena Pekkanen, Tuija Melin ja Pekka Rahijärvi SKANSKA JAKSAVA Rakennustyöntekijöiden fyysinen kunto, työn fyysinen kuormittavuus ja siihen vaikuttaminen. ISBN 978-951-799-211-4 Edita Prima Oy, Helsinki 2010

/19/ <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>

/20/ Valvira, Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus: Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa II. Asumisterveysasetus § 11-13, Ohje 8/2016. Dnro 2731/06.10.01/2016. Päivätty 31.8.2016

/21/ Anu Haahla ja Marja Heinonen-Guzejev, Melun terveysvaikutukset ja ympäristömelun häiritsevyys, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2012. ISBN (PDF) 978-952-272-324-6

/22/ [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess\(3871\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess(3871))

/23/ Eero Palomäki tutkimusinsinööri, arkkitehti: Rakennusmateriaalit ja rakenneratkaisut / Työterveyslaitos luentomateriaali

/24/ <http://www.aalto.fi/fi/about/campus/architecture/>

/25/ <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1920/19200026>

/26/ <https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/338901/K%C3%84SIN+TEHT%C3%84V%C3%84N+NOSTOTY%C3%96N+ARVIOINTI-lomake/53a2dd5e-072e-4f8b-addc-75d136adaa2b>

/27/ Juho Keitaanniemi, Teräsbetonirakenteiden palomitoitus korjausrakentamisessa. Diplomityö, TTY 2012

/28/ Heikkilä-Kauppinen, Marja; Kauppinen, Timo. Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjausrakentamisessa. Ympäristöopas 39. ISBN:978-952-11-1375-8. Korjattupainos 2003, <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40357>

/29/

http://www.hel.fi/static/tieke/digitoidut_asiakirjat/helsingin_kaupungin_kunnalliset_asetuskokoelmat/pdf/Kunnallinen_asetuskokoelma_1936.pdf

/30/

http://www.hel.fi/static/tieke/digitoidut_asiakirjat/helsingin_kaupungin_kunnalliset_asetuskokoelmat/pdf/Kunnallinen_asetuskokoelma_1962.pdf

/31/ Jenni Malinen, Kaksoislaattapalkistorakenteen tutkimus- ja korjausmenetelmät, Aalto yliopisto 2015-12-14, sivut: 89+3.

https://aalto.doc.aalto.fi/bitstream/handle/.../master_Malinen_Jenni_2015.pdf?...2...y

/32/ Tekijät: ins. Osmo Pousi, ins. Heikki Kankkunen, rak.mest. Jaakko Laine, dipl.ins Ben Lindmark sekä sihteerinä dipl.ins Ilkka Lukkariniemi. Asiantuntijat: dipl.ins Antti

Pekkola (rakenteellinen tarkastelu) ja arkkitehti Alpo Halme (ääneneritys). BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, korvaa vuoden 1974 julkaisun.

/33/ www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf

/34/ Esa Kokki <http://www.spek.fi/loader.aspx?id=40be1d91-a7c6-480e-a47a-9ba79c9aed3d> Palotutkimuspäivät 2011, Pelastusopisto, PL 1122, 70821 Kuopio: Palokuolemat ja ihmisen pelastamiset tulipaloissa 2007–2010

/35/ Esko Mikkola <http://www.spek.fi/loader.aspx?id=40be1d91-a7c6-480e-a47a-9ba79c9aed3d> Palotutkimuspäivät 2011, VTT, PL 1000, 02044 VTT: Palokuormien merkityksestä ja muutoksista

/36/ Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen. Asuinkerrostalojen ääneneristävyyden vertailu vanhojen mittaustulosten perusteella. YMPÄRISTÖHALLINNON OHJEITA 1 | 2014, www.ym.fi/julkaisut ISBN 978-952-11-4255-0 (PDF)

/37/ Jukka Lahdensivu, Satu Huuhka, Petri Annila, Jussa Pikkuvirta, Arto Köliö & Toni Pakkala. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 162. Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet 2015.

/38/ Arkkitehti Alpo Halme ja Kehityspäällikkö Seppo Leimala. Gyproc-Kevytrakennetekniikka, Välipohjien ääneneristyksen parantaminen. Huhtikuu 1998

/39/ Panu Kaila: Talotohtori 1997, ISBN 951-0-19420-4

/40/ http://www.civil.canterbury.ac.nz/fire/fe_research_reps.shtml

/41/ National Research Canada, Factors affecting temperature of fire-exposed concrete slabs, by t-t. Lie and G. Williams-Leir Reprinted from Fire and Materials Vol. 3, No. 2, June 1979, p* 74 – 79. DBR Paper No. 884 Division of Building Research

/42/ Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings. U.S. Department of Commerce Gary Locke, Secretary National Institute of Standards and Technology Patrick D. Gallagher, Director 2010

/43/ Standard EN 13381-3:2015 "Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Part 3: Applied protection to concrete members", 2015

/44/ Mikkola E Tutkimusraportti Nro RTE1461/05: Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun soveltaminen P1-paloluokan asuinkerrostalojen julkisivujen puuverhoiluun, 2011

/45/ Heat transfer analysis for fire-exposed concrete slab- beam assemblies, Article January 1991, National Research Canada Internal Report No. 605

/46/ Katariina Laine, Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Diplomityö, TTY 2010

/47/ Unto Siikanen, professori. Puurakennuksen palotekninen suunnittelu, Tampereen teknillinen korkeakoulu

/48/ Sultan, M.A. Fire resistance of wood joists floor assemblies, NRCC-48685. Fire Technology, 44, pp. 383-417, January 01, 2008, DOI: 10.1007/s10694-007-0038-0

/49/ Kantamattoman puurunkoisen ulkoseinän ja betonisen ontelolaattaväli­pohjan liitoksen palotekninen toimivuus – polttokoe VTT:n palolaboratoriossa 28.8.2008, testausraportti VTT-xxxxx

/50/ Suomen Betoniyhdistys r.y by 201, betonitekniikan oppikirja materiaalit, työsuoritus, laatutekniikka. 2 painos 1985 ISBN 951-9365-00-1

/51/ Fire resistance assessment of concrete structures, Workshop ‘Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes’ – Brussels, 27-28 November 2012, Fabienne Robert CERIB. Linkki: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2012_11_WS_fire/presentations/06-ROBERT-EC-FireDesign-WS.pdf

/52/ Betonitekniikan oppikirja 2004, Suomen betoniyhdistys 2005. 5. uud. p. ISBN: 952-5075-61-3

/53/ Fire Spalling of Concrete Theoretical and Experimental Studies, Robert Jansson Doctoral thesis in Concrete structures, stockholm, sweden 2013

/54/ Jukka Hietaniemi. Rakenteiden toiminta tulipalossa opas paloteknisen suunnittelun tueksi, VTT päivitetty 6.5.2007

/55/ Guide for Determining the Fire (Reapproved 1994) Endurance of Concrete Elements Reported by ACI Committee 21

/56/ <http://www.giatecscientific.com/product/giatec-icor/english-icor/>

/57/ Arto Hyttinen, Jarkko Rissanen, Petri Lindroos, Harri Kemppainen ja Mikael Nyholm. Gyproc Käsikirja, syyskuu 2016. ISBN 978-952-67737-3-5

/58/ www.eurocodes.fi/1992/.../Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf

/59/ Full-scale Mass Timber Shaft Demonstration Fire-Final Report. April 8, 2015.
<http://cwc.ca/building-solutions/tall-buildings/research/>

/60/ <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ci-ic/article/v17n4-4>

/61/ Eija . Alakangas. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, Espoo 2000

/62/ Esko Mikkola, Teemu Karhula, Peter Grönberg ja Joonas Ryyänen. VTT-R-07556-10 tutkimusraportti. Yksinkertaistetut vaatimukset P2- paloluokan asuin- ja työpaikka-kerrostalon palo-osaston kantavien rakenteiden suojaukselle ja toiminnallisen palomitoituksen ohjeiden selkeytys

/63/ Behaviour of Light Timber-Framed Floors Subjected to Fire Attack From Above, The work reported here was jointly funded by the Building Research Levy and the Foundation for Research, Science and Technology from the Research for Industry Fund. 2003, P. Whiting. ISSN: 0113-3675

/64/

<http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/structures/strucfire/materialInFire/Timber/mechanicalProperties.htm>

/65/ Kirsi Martinkauppi Lainsäädäntöneuvos, Paloseminaari 17 – Paloturvallisuus ja standardisointi, 11.2.2015

/66/ VVT-S- xxx testausraportti

/67/ The Fire Book, Passive fire protection solutions, Saint-Gobain British Gypsum January 2011 FB-08-02

/68/ Kati Tillander & Olavi Keski-Rahkonen. Palokunnan saatavuuden merkitys rakennuksen paloriskitarkastelussa. VTT tiedotteita 2013, Espoo 2000. ISBN 951-38-5634-8

/69/ Explosive spalling of concrete in fire. A dissertation submitted to ETH ZURICH for the degree of Doctor of Sciences presented by Eike Wolfram Heinrich Klingsch Dipl.-Ing. Germany 2014

/70/ Mittaviiva Oy. ROK 2016. Rakennusosien kustannuksia. ISBN 978-952-267-131-8

/71/ Topi Sikanen ja Olavi Keski-Rahkonen (eläkkeellä VTT:ltä), Kytevän palon liekkiin leimahtaminen, Palotutkimuksen päivät 2011