

Konsta Rosvall

BETONIRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2015

## BETONIRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Rosvall, Konsta  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2015  
Ohjaaja: Sandberg, Rauno  
Sivumäärä: 47  
Liitteitä: 1

Asiasanat: teräsbetonirakenteet, palomitoitus, standardipalo, Eurokoodi

---

Tämä insinööri työ tehtiin A-Insinöörit Oy:lle. Insinööri työn tarkoituksena oli luoda A-Insinöörit Oy:lle jokapäiväiseen betonirakenteiden suunnittelu- ja tarkastustyöhön työkalu, jolla suunnittelija helpottaa työskentelyään.

Insinööri työn osana tehtiin helppokäyttöinen asiakirja, josta löytyy betonirakenteiden palomitoitukseen tarvittavat tiedot. Asiakirjassa on lueteltuna betonirakenteiden minimi paksuudet ja keskiöetäisyydet.

Tähän työhön on sisälletty myös palomitoitusta koskevat määräykset ja ohjeet, palotilan lämpötilan kehityksen määrittämisperiaatteet ja paloturvallisuusvaatimukset. Työssä perehdyttiin syvällisemmin teräsbetonirakenteiden palomitoitukseen standardipalossa Eurokoodien osan SFS-EN 1992-1-2 mukaan.

Työssä todettiin että eurokoodien tulkitseminen on todella työtä vaativaa jos niihin ei ole ketään apuna. Sekä jo poistuneet Suomen Rakentamismääräyskokoelman B – osien mitoitusmenetelmiä voi käyttää toistaiseksi.

Insinööri työ soveltuu hyvin teräsbetonirakenteiden palomitoituksen opetus- ja perehdyttämismateriaalina myös A-Insinöörit Oy:lle.

## CONCRETE STRUCTURAL FIRE DESIGN

Rosvall, Konsta

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

September 2015

Supervisor: Sandberg, Rauno

Number of pages: 47

Appendices: 1

Keywords: reinforced concrete structures, fire design, standard fire, Eurocodes

---

This thesis was made for A-Insinöörit Oy. The purpose of thesis was to create for A-Insinöörit Oy for everyday concrete structural planning and audit tool that allows the designer to facilitate its work.

Easy-to-use document, where you will find the necessary concrete structures fire design details were made as part of the thesis. The document are listed of concrete structures, a minimum thicknesses and steel center distance.

This work is also contained within the regulations concerning fire design and instructions, the combustion chamber temperature and determining the development of fire safety. Thesis were studied accurate reinforced concrete structures fire designing with standard fire according to the part of the Eurocode SFS-EN 1992-1-2

It was noticed that the Eurocodes Interpreting is really labor intensive if they have no one to open. Already allayed Finnish Code of Building Regulations B - methods for the design of parts may be used until further notice.

Final Project is well suited for reinforced concrete structures fire design educational and introductory material for A-Insinöörit Oy.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	LAINSÄÄDÄNTÖ, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET .....	7
2.1	Pelastuslaki .....	7
2.2	Maankäyttö- ja rakennuslaki ja – asetus.....	8
2.3	Rakentamismääräyskokoelma .....	9
2.4	Eurokoodi .....	11
3	MITOITUKSEN KULKU .....	12
3.1	Paloturvallisuusvaatimusten täyttäminen .....	12
3.2	Mitoitusmenettelyt .....	13
3.3	Palotilan lämpötilan kehitys .....	14
3.4	Standardipalo .....	15
4	TERÄSBETONIN PALONKESTÄVYYS .....	17
4.1	Yleistä.....	17
4.2	Betonin termomekaaniset ja termiset ominaisuudet .....	19
4.2.1	Lujuusominaisuudet .....	20
4.2.2	Muodonmuutos ominaisuudet .....	22
4.2.3	Lohkeilu .....	22
4.3	Betoniterästen termomekaaniset ominaisuudet .....	24
4.3.1	Lujuus ja kimmokerroin .....	24
5	BETONIRAKENTEIDEN PALOMITOITUS .....	26
5.1	Pilarit .....	27
5.2	Seinät .....	29
5.2.1	Ei-kantavat osastoivat seinät.....	29
5.2.2	Kantavat umpiseinät.....	29
5.2.3	Palomuurit .....	30
5.3	Palkit.....	31
5.3.1	Vapaasti tuetut palkit.....	34
5.3.2	Jatkuvat palkit .....	35
5.3.3	Kaikilta sivuilta altistuva palkki .....	38
5.4	Laatat .....	39
5.4.1	Vapaasti tuetut umpilaatat .....	40
5.4.2	Jatkuvat umpilaatat.....	41
5.4.3	Pilarilaatat .....	42
5.4.4	Ripilaatat .....	43

6 YHTEENVETO.....	46
LÄHTEET.....	48
LIITTEET	

Liite 1. Betonirakenteiden palomitoitus -opas

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tehdä A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle palomitoitusta ja tarkastustyötä helpottavat ohjeet jokapäiväiseen työhön. Työn päätarkoituksena on tehdä nykyisten monimutkaisten eurokoodien mukaan tiivistelmä joka helpottaa suunnittelijaa löytämään palomitoitukseen liittyvät tekniset asiakirjat helposti. Insinööriyön laajuus rajattiin teräsbetonirakenteiden palomitoitukseen.

Koska teräsbetonirakenteiden palomitoitus on mitoitettu eurokoodeissa jo taulukkomuotoon, niin betonirakenteista tehdään ohjeet jolla suunnittelija pystyy nopeasti palomitoituksen kannalta suunnittelemaan ja tarkastamaan rakenteet. Työhön sisälletään lähdeviitteet mistä löytää kyseisen teknisen asiakirjan.

Palomitoitus tapahtuu yleisimmällä lämpötilankehityskäyrällä, eli standardipalokäyrällä. Kun käytetään standardipalokäyrää, se johtaa aina rakenteiden mitoituksen varmalle puolelle. Siinä lämpötilankehitys on aluksi jyrkkä ja nousee n. 700 °C jonka jälkeen lämpökehitys jatkaa nousua maltillisemmin.

Työssä keskitytään rakentamisessa yleisimpiin rakenteisiin, eli pilareihin, palkkeihin, seiniin, sekä laatastoihin. Teräsbetonirakenteiden palonkestävyysluokkia käsitellään EI 30–240 ja R(EI) 30–240. Taulukot eivät päde korkealujuusbetoneille, eli C55/67...C100/115.

## 2 LAINSÄÄDÄNTÖ, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

Suomessa on rakentamiseen liittyviä määräyksiä ja ohjeita aina lakipykälistä rakentamista koskeviin teknisiin asiakirjoihin saakka. Tämän luvun tarkoituksena on selvittää betonirakenteita koskevia lakipykälä ja teknisiä asiakirjojen sisällöltään ja hierarkialtaan.

Tämän insinööriyön keskeiset rakentamista ohjaavat lait ja määräykset koskevat pääosin palotilanteen turvallisuutta ja paloturvallisuuden täyttämistä.

Pelastuslaissa ja maankäyttö- ja rakennuslaissa ja –asetuksissa määrätään paloturvallisuuden minimi ehdot jotka rakentamisessa täytyy täytyä. Rakentamismääräyskokoelmissa on ohjeet ja määräykset miten lain määräämät ehdot täytetään. Eurokoodissa määrätään rakenteiden palomitoitusmenetelmät, sekä rakenteiden varmuuskerrotoimet ja kuormitukset. Olemme vielä rakentamismääräyskokoelmien B-osan ja eurokoodien siirtymisvaiheessa, joka tuo toisia vertaillessa ristiriitaisia tuloksia. Tässä insinööriyössä ei oteta siirtymävaiheen ristiriitaisiin tuloksiin kantaa.

Suomessa tapahtuu kaikkiaan noin 12 000 – 15 000 tulipaloa vuosittain. Näistä rakennuspaloja on noin 3 500, eli noin 10 rakennuspaloa päivittäin. Tulipalossa menehtyy vuosittain keskimäärin 100 henkeä /1/. Jonka johdosta rakennuksen paloturvallisuus on hyvin tärkeätä ottaa huomioon.

Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin tämän insinööriyön paloturvallisuuden vaikuttavista laista ja ohjeista.

### 2.1 Pelastuslaki

Ylin rakennusten palomitoitusta ja palosuunnittelua ohjaava määräys on pelastuslaki. Maankäyttö- ja rakennuslaki ja –asetus ohjeineen ja määräyksineen tarkentavat sitä. Sitä sovelletaan tulipalojen ja muiden suurten onnettomuuksien ehkäisyyn, väestönsuojeluun ja pelastustoimintaan. Pelastuslaissa määrätään seuraavaa:

*”Rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnanharjoittajan on osaltaan huolehdittava siitä, että rakennus, rakennelma ja sen ympäristö pidetään sellaisessa kunnossa, että rakennuksessa olevat henkilöt pystyvät tulipalossa poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaadaan pelastaa muulla tavoin ja pelastustoiminta on tulipalon tai muun onnettomuuden sattuessa mahdollista, sekä pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon” /2, 9 §/.*

## 2.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki ja – asetus

Maankäyttö- ja rakennuslaissa ja – asetuksissa sisältävät määräyksiä koskien muun muassa kaavoitusta, tonttijakoa, kuntien rakennusjärjestystä, ranta-alueiden suunnittelua ja rakentamista, yhdyskuntarakentamiseen liittyvästä lunastamisista, rakentamiseen liittyvistä luvista ja valvonnasta. Laki koskee siis alueiden käyttöä, rakennusten suunnittelua ja rakentamista. Maankäyttö- ja rakennuslaissa ei sisällä palosuunniteluun liittyviä määräyksiä. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määrätään seuraavaa:

*”Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta varten tarvittavia tarkempia säännöksiä rakennuksen kantavien rakenteiden suunnittelusta ja mitoituksesta” /3, 117a §/.*

Ympäristöministeriö on asettanut asetuksen 17.6.2014 kantavista rakenteista (477/2014), jossa määrätään seuraavan laisesti:

*”Rakennuksen kantavia ja jäykistäviä rakenteita koskevat olennaiset tekniset vaatimukset täytyvät, kun rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan eurokoodien sekä niitä koskevien ympäristöministeriön asetuksina annettujen kansallisten valintojen mukaan. Rakennuspaikan olosuhteet tulee ottaa huomioon suunnittelussa” /4, 3 §/.*

Rakennushankkeeseen ryhtyvän henkilön on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava erin laisilla ratkaisuilla. Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan



ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, rakennuksesta poistumisen turvaaminen, henkilöiden pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on rajoitettava. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja, joista lisää kerrotaan Suomen RakMK E1 osassa /3, 117b §/

Toisin sanoen laki määrää että rakenteet suunnitellaan kestäväksi tietyn ajan paloa, niin että rakenteiden rasitus ei ylitä niiden kapasiteettia palon aikana. Kapasiteetin säilyttämiseksi rakenteita voidaan myös palosuojata.

### 2.3 Rakentamismääräyskokoelma

Rakentamismääräyskokoelma (RakMK) on kokoelma ohjeita ja määräyksiä, jotka pohjautuvat maankäyttö- ja rakentamislakiin. Niiden avulla pyritään varmistamaan rakentamisen riittävä laatu ja turvallisuustaso.

Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmissa olevat rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Sekä ministeriön antamat ohjeet ovat nimensä mukaan ohjeellisia. Uuden rakennuksen rakentaessa, RakMK määräykset koskevat kyseistä rakennusta. Korjaus- ja muutostyössä määräyksiä on sovellettu vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa ovat edellyttäneet (ellei määräyksissä ole toisin määrätty). Rakentamista koskevien määräykset ovat tehty joustavaksi siten kuin se rakennuksen erityispiirteet ja ominaisuudet huomioon ottaen on mahdollista /5/.

1.9.2014 tulivat ympäristöministeriön asetukset rakennuksen kantavista rakenteista ja pohjarakenteista voimaan. Asetus kumosi samalla kantavien rakenteiden suunnittelua koskevat rakentamismääräyskokoelman B-osat, jotka oli annettu ministeriön asetuksella /5/.

Tällä hetkellä voimassa olevat eurokoodien kansalliset liitteet, jotka on annettu ministeriön asetuksen tai asetuksen muutoksen liitteinä, ovat voimassa kunnes asian-

omainen kansallinen liite päivitetään. Voimassa olevissa kansallisissa liitteissä on eräiltä osin viitattu nyt kumottuihin rakentamismääräyskokoelman B-osiin. Käytännössä viittauksia voidaan soveltaa, kunnes kansallinen liite päivitetään /5/.

Rakennusten paloturvallisuutta käsitellään RakMK E-sarjassa (Rakenteellinen paloturvallisuus). Rakenteiden palomitoitus toteutetaan eurokoodien avulla.

Rakentamismääräyskokoelmissa rakennukset jaetaan kolmeen eri paloluokkaan, P1, P2 ja P3. P1 paloluokkaan kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden tulee kestää palotilanne sortumatta. P1-luokan rakennuksessa ei ole asetettu kokoa tai henkilömäärää rajoittavia vaatimuksia. Paloluokkaan P2 kuuluvan rakennuksen paloturvallisuus saavutetaan asettamalla vaatimuksia käytettäville pintamateriaaleille, lisäksi rajoittamalla kerroslukua ja henkilömäärää käyttötavasta riippuen. Paloluokkaan P2 rakennukselle asetetut vaatimukset kantavien rakenteiden kestävyys suhteen ovat matalampia kuin paloluokan P1 rakennuksessa. P3-luokan rakennukselle ei aseteta vaatimuksia kantavien rakenteiden palonkeston suhteen, vaan riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla kerroslukua ja henkilömäärää käyttötavasta riippuen /6, s. 10/.

Rakennuksen paloluokka vaikuttaa myös edellä mainittujen seikkojen lisäksi myös palo-osastointiin käyttötavasta riippuen, jonka avulla palon leviämistä rajoitetaan eri osiin rakennuksessa /6, s. 12/.

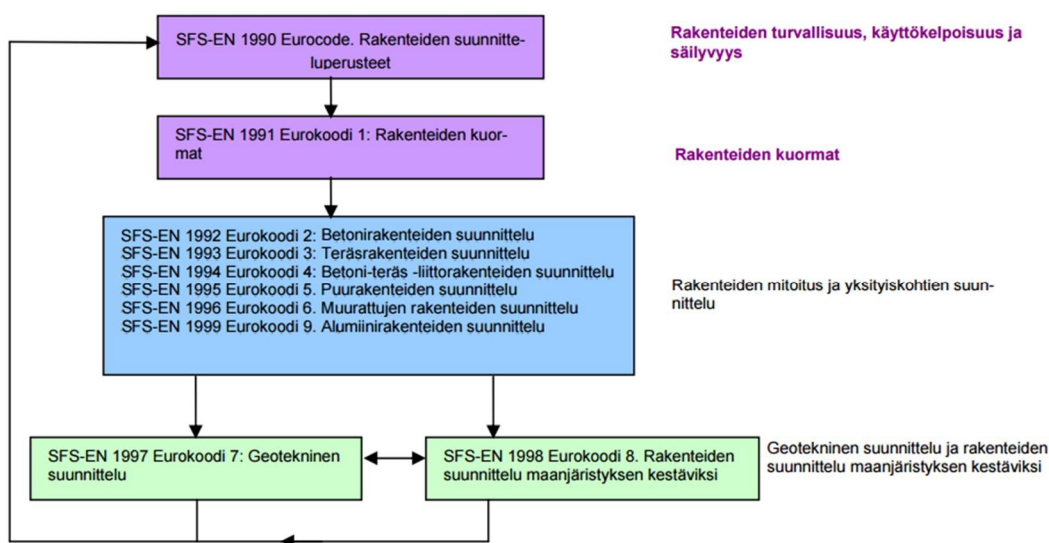
Kantavien rakenteiden rakennusosan vaatimukset ilmaistaan paloluokkavaatimuksella, kuten esimerkiksi R60, missä R merkitsee kantavuusvaatimusta ja lukuarvot ilmaisevat palonkestävyyssajan minuuteissa. Jos kantavalta rakenteelta vaaditaan tiiviyden E ja eristävyyden I suhteen pidempää palonkesto-aikaa kuin kantavuuden R suhteen, niin käytetään pidempää palonkestävyyssajaa kantavuusvaatimuksessa myös. Kantavan rakenteen mitoitus voi perustua joko standardoituun lämpötila-aikakäyrään (standartipalo) perustuvaan luokitukseen tai oletetun palonkehityksen mukaisiin rasituksiin /6, s. 15/.

## 2.4 Eurokoodi

Kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja kutsutaan Eurokoodeiksi. Ne on laatinut Eurooppalainen standardisoiemisjärjestö CEN Euroopan komission toimeksiannosta. Eurokoodit on kehitetty eurooppalaisen rakennusteollisuuden kilpailun ja kilpailukyvyn parantamiseksi sekä Euroopan Unionin alueella sekä muualla maailmassa. Yhteisillä määräyksillä pyritään poistamaan kaupan teknisiä esteitä ja edesauttamaan Euroopan Unionin integraatiota sekä parantamaan sisämarkkinoiden toimintaa /7/.

Eurokoodit kattavat varmuuden määrittämisperiaatteet, erilaiset kuormat kuten hyöty-, lumi- ja tuuli-, lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormat. Rakennusmateriaaleille on omat yksityiskohtaiset suunnitteluohjeet. Eurokoodisarja sisältää 58 erillistä osaa tällä hetkellä. Standardien soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden (NA) laatimista. Suomessa näiden kansallisten liitteiden laatimisesta vastaa Ympäristöministeriö. Eurokoodeja voidaan siis käyttää vain yhdessä kansallisten liitteiden kanssa /7/.

Tähän insinööriyöhön liittyy seuraavat eurokoodit: rakenteiden palorasitusta käsitellään eurokoodin osassa EN 1991-1-2 (Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset) sekä betonirakenteiden palomitoitus eurokoodien osassa EN 1992-1-2, (Rakenteiden palomitoitus) /7/.



Kuva 1. Eurokoodien rakenne /7/

### 3 MITOITUKSEN KULKU

#### 3.1 Paloturvallisuusvaatimusten täyttäminen

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa E1 on esitetty rakennuksen paloturvallisuusvaatimukset, mitä laki määrää maankäyttö- ja rakentamislaisissa. Osan E1 mukaan kantavien rakenteiden tulee kestää palon sattuessa niille asetetun vähimmäisajan. Muut paloturvallisuutta koskevat vaatimukset liittyvät henkilöturvallisuuteen, palon leviämisen rajoittamiseen, pelastustoiminnan mahdollistamiseen ja turvaamiseen sekä aineellisten tuhojen minimointiin. Seuraavassa on lueteltu olennaiset rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt vaatimukset /6, s. 8/:

- Rakennuksen kantavat rakenteet tulee kestämään niille asetetut vähimmäisajat rakenteen sortumatta.
- Savun ja palon kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua.
- Rakennuksen lähirakennuksiin palon leviäminen on rajoitettu.
- Henkilöiden tulee päästä poistumaan rakennuksesta palon sattuessa, tai heidät voidaan pelastaa muulla tavalla.
- Sekä pelastushenkilöstön turvallisuus on taattu rakentamisessa.

Mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen RakMK E1 mukaisia määräyksiä ja ohjeita koskien paloluokkia ja lukuarvoja, niin se katsotaan täyttävän paloturvallisuusvaatimukset. Suunnittelussa käytetään menetelmiä, joiden kelpoisuus on osoitettu. Koe- ja laskentamenetelmien voidaan olettaa myös täyttävän kelpoisuusvaatimukset eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisina, mikäli sovellus on ko. menetelmän pätevyysalueella /6, s. 8/.

Rakenteiden palomitoitus menetelmä määrätään eurokoodeissa. Standardin osassa EN 1991-1-2 esitetään palolle altistettujen rakennusten rakennesuunnittelua varten lämpörasitukset ja mekaaniset kuormat /8, s. 10/.

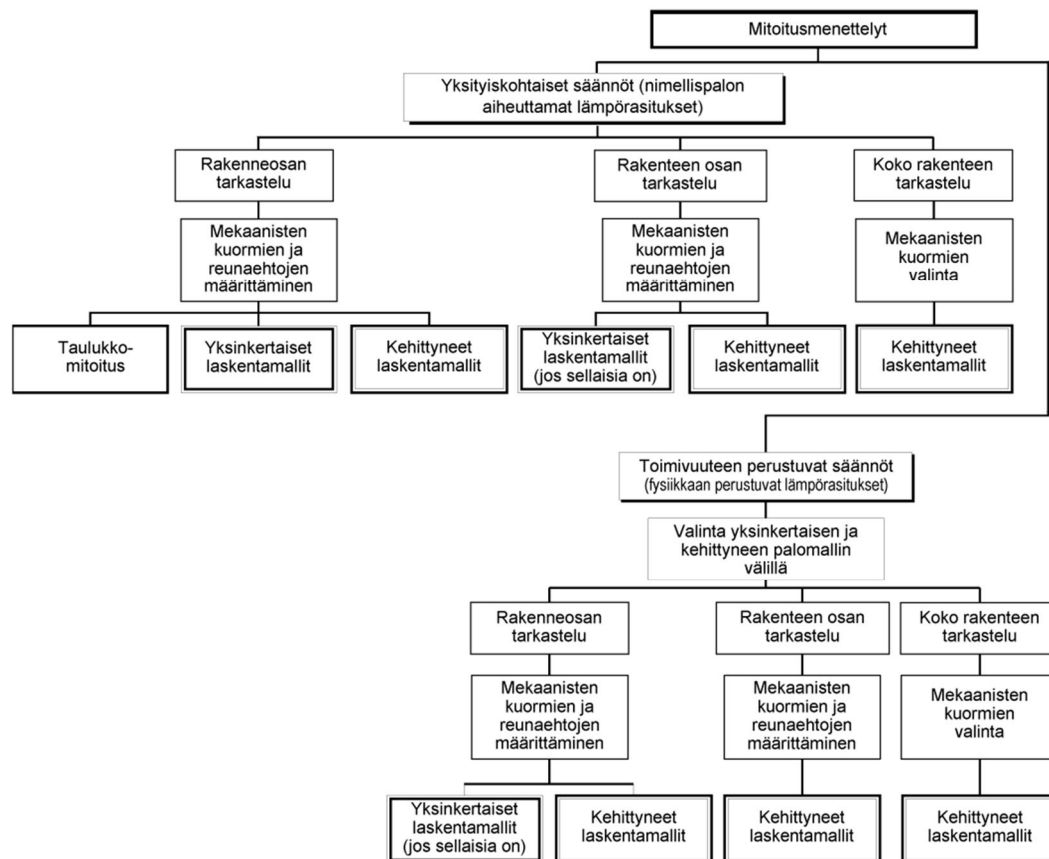
Eurokoodi standardin EN 1992 osa 1-2 koskee betonirakenteiden suunnittelua tulipalosta aiheutuvassa onnettomuustilanteessa. Standardin osa on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä standardien EN 1991-1-2 (Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset) ja EN 1992-1-1 (Betonirakenteiden suunnittelu) kanssa /8, s. 10/.

### 3.2 Mitoitusmenettelyt

Rakenteen täydellisessä laskennallisessa palomitoituksessa otetaan huomioon rakenejärjestelmän toiminta korkeissa lämpötiloissa, mahdollinen lämmölle altistuminen sekä aktiivisten ja passiivisten palosuojausjärjestelmien edulliset vaikutukset samoin kuin näihin kolmeen tekijään liittyvät epävarmuudet ja rakenteen merkitys /9, s. 12/.

Tällä hetkellä voidaan riittävän toimivuuden määrittämiseen käyttää menettelytapaa, jonka avulla otetaan huomioon eräitä, ellei jopa kaikkia, näistä parametreista ja osoitetaan, että rakenteella tai sen osilla on riittävä toimivuus rakennuksen todellisessa palossa. Jos menettelytapa perustuu nimellispaloon (standardipaloon), niin luokitusjärjestelmässä, jonka avulla selvitetään tietyn palonkestävyyssajan saavuttaminen, on otettu kuitenkin huomioon edellä esitetyt tekijät ja epävarmuudet /9, s. 12/.

Seuraavassa esitetään standardin EN 1991 osan 1-2 soveltuminen kaaviona. Kaaviossa käsittelytavat jaetaan kahteen ryhmään, joita ovat yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuva käsittelytapa ja toimivuuteen perustuva käsittelytapa. Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuvassa käsittelytavassa käytetään nimellispaloa lämpörasitusten selvittämiseen. Toimivuuteen perustuvassa käsittelytavassa, jossa käytetään apuna paloturvallisuussuunnittelua, lämpörasitukset määritetään fysikaalisten ja kemiallisten parametrien perusteella /9, s. 12/



Kuva 2. Vaihtoehtoiset mitoitussuunnitelmat /8, s. 9/

### 3.3 Palotilan lämpötilan kehitys

Kaikkien rakennusmateriaalien lujuusominaisuudet heikkenevät, joita käytetään rakentamisessa lämpötilan noustessa. Lujuuden heikentyminen tulee huomioida rakenteiden kantavuuden mitoituksessa. Rakenteen lämpötilan nousuun vaikuttaa voimakkaasti palotilan lämpötilan kehitys. Osastoivien seinien ja välipohjien tulee estää liekkien ja kuumien kaasujen läpäisy ja palonvastaisten pintojen liiallinen lämpötilan nousu.

Lämpötilan oletetaan kehittyvän joko nimellisen lämpötilakäyrän (standardipalokäyrä) tai toiminnallisen palomitoituksen perusteella saadun oletetun lämpötilan kehityksen mukaisesti arvioitaessa rakenteiden palonkestävyysaika. Hiilivetykäyrää voidaan tarvita esimerkiksi tunnelirakenteiden palomitoituksessa. Korotettua hiilivetykäyrää on käytössä Keski-Euroopassa /9, s. 40–42/.

Erilaisia nimellisiä mitoituspaloikäyriä ovat standardipalokäyrä, ulkopuolisen palon käyrä ja hiilivetykäyrä /9, s. 40–42/.

### 3.4 Standardipalo

Mitointuspaloista standardipalolla tarkoitetaan erityisesti rakennusaineiden ja rakenteiden paloluokittelua ja testausta varten kehitettyä aika-lämpötiläkäyrää.

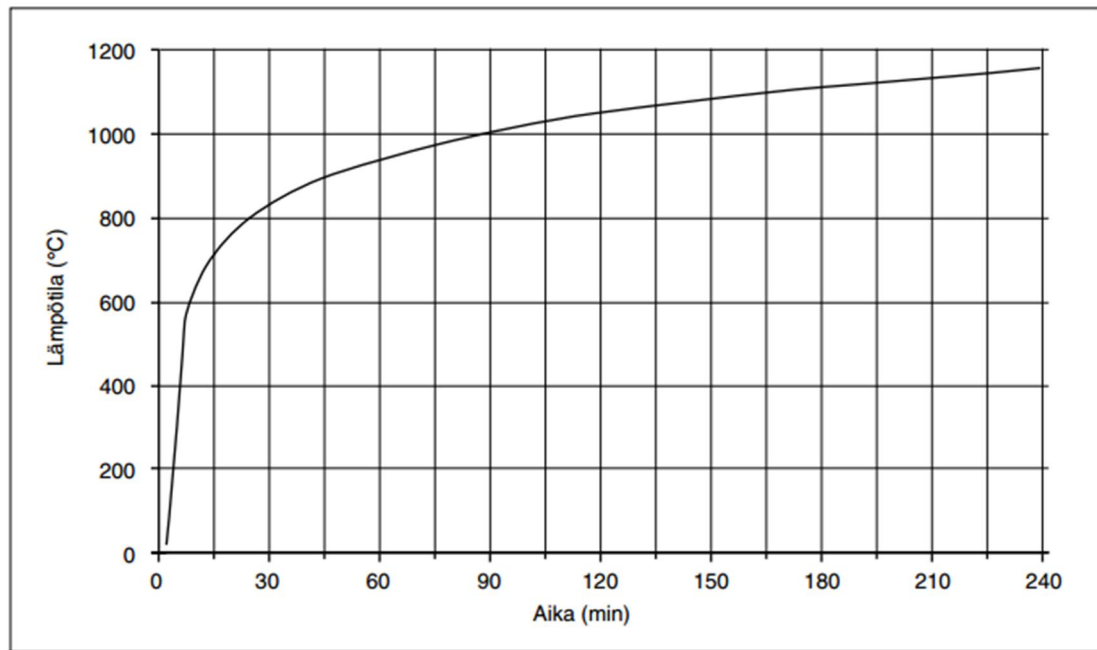
Todellisella tulipalolla on ominaisuuksia, joita standardipalokäyrässä ei oteta huomioon. Standardipalokäyrässä lämpötila nousee jyrkästi hyvin korkeaksi koko palotilassa jonka jälkeen se jatkaa hitaampaa nousua aina tarkastelun lopettamiseen saakka. Standardipalossa ei oteta huomioon palotilan geometriaa, palokuorman tyyppiä, määrää ja sijaintia, palon saamaa hapen määrää, eikä palon hiipumisvaihetta huomioon. Standardipaloa käyttäessä palomitoituksessa oletetaan että palo vaikuttaa koko tilassa riippumatta tilan koosta eikä tulipalon oleteta loppuvan koskaan. Standardipaloa käyttö mitoituspalona johtaakin usein rakenteiden kantavuuden varmalle puolelle, eli ylimitoitetaan rakenne. Ylimitoitus aiheutuu siitä, että standardipalon tulee kattaa rasituksiltaan kaikki palotilanteiden variaatiot. Se soveltuu parhaiten pienten ja tavanomaisten tilojen palomitoitukseen.

Toiminnalliseen palonkehitykseen perustuvan palomitoituksen tehdessä, voidaan säästää kustannuksissa rakennusmateriaaleissa. Mutta toiminnallisen palonkehitykseen perustuvaan laskenta on hyvin vaikea suorittaa ja edellyttää kehittyneiden tietokoneohjelmistojen käyttöä. Siksi tavanomaisten ja helppojen tilojen palomitoitus tehdään käyttäen standardipaloskenaariota /9/.

Standardilämpötila-aikakäyrä ISO-834 lasketaan kaavasta 1 /10, s. 190/:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$

jossa	$\theta_g$	kaasun lämpötila palotilassa [°C]
	20	alkulämpötila [°C] (normaali huonelämpötila)
	t	aika [min]



Kuva 3. ISO-834 – standardin mukainen lämpötila-aikakäyrä /10, s. 109/



## 4 TERÄSBETONIN PALONKESTÄVYYS

### 4.1 Yleistä

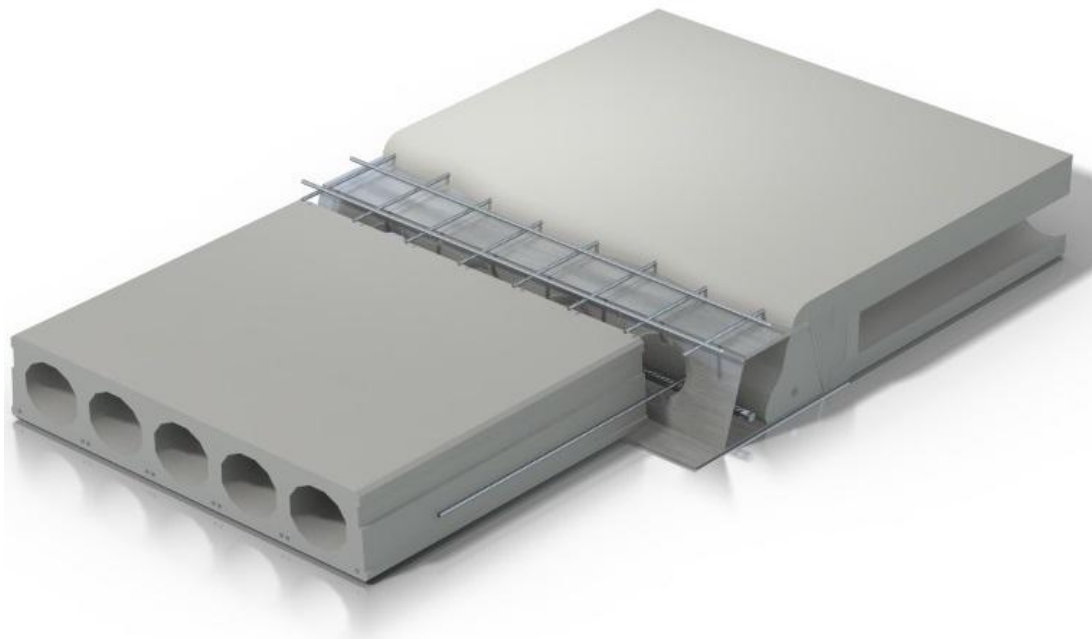
Kun arvioidaan betonin käyttäytymistä tulipalotilanteessa, on tarkasteltava koko teräsbetonirakennetta, eikä vain pelkkää betonia. Betonirakenteen muotoilu, mitat, liitokset ja materiaaliominaisuudet määräävät rakenteen käyttäytymisen palotilanteessa suurimmaksi osaksi. Pitkäkestoisessa tulipalossa betonirakenteet voivat menettää kantavuutensa (R) kuormia vastaan tai osastoivuutensa (EI) palon leviämisen estämiseksi /10, s. 108/.

Palotilan lyhytaikainen korkea kuumuus ei vaikuta merkittävästi betonirakenteiden kapasiteettiin, mikäli betonirakenteessa ei tapahdu räjähdysmäistä tuhoisaa lohkeilua, sillä betonirakenteen sisäosa lämpiää verrattain hitaasti. Tulipalon kestäessä pitkään, niin betonipoikkileikkaus ehtii kuumentua myös sisäosastaan, jolloin raudoitteiden ja betonin lujuuden heikkeneminen voi johtaa teräsbetonirakenteen kantokyvyn menetykseen /10, s. 108/.

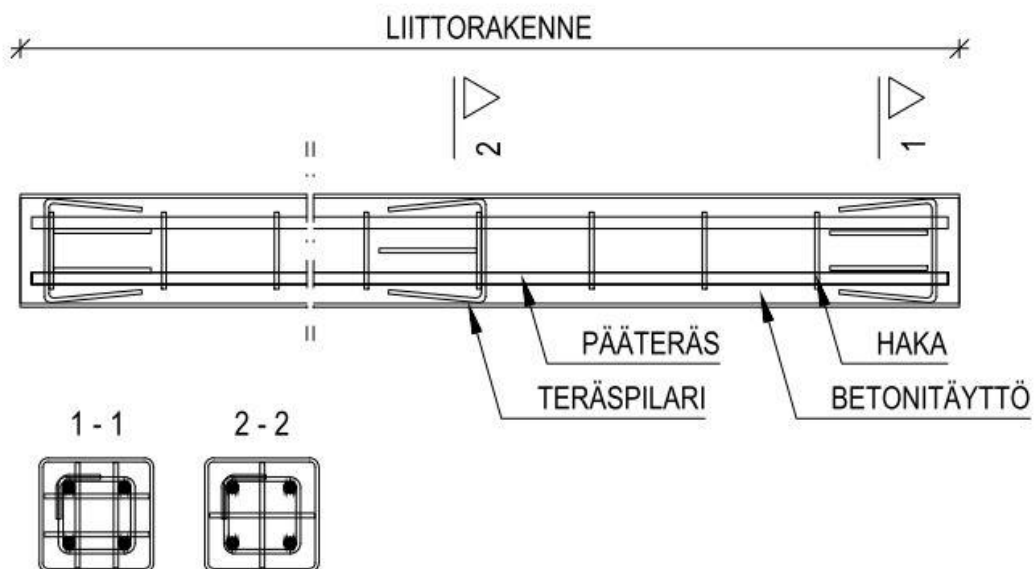
Pitkään kestäneen tulipalon jälkeen betonille ja betonirakenteen raudoitteen väliselle tartunnalle on ominaista rakenteen jäähtymisen jälkeen, että niiden lujuudet ovat vielä pienemmät kuin tulipalon aikana rakenteen ollessa kuumentuneet. Teräsbetonin raudoitteiden lujuudet eivät sen sijaan laske tulipalon aikaisesta lujuudesta, mutta voivat tulipalon jälkeen laskea /10, s. 109/.

Esimerkiksi teräsrakenteiden palosuojauksessa käytetään betonia sen suuren lämpökapasiteetin johdosta. Betonilla voidaan verhoilla teräs tai teräsputkipilareiden sisään voidaan valaa teräsbetonirakenne palonkesto-ominaisuuksien parantamiseksi. Tällaiset liittorakenteet ovat yleistyneet rakennusten rungoissa juuri siksi, että betonin palosuojausvaikutus palotilanteessa voidaan hyödyntää hyvin. Teräksen ja betonin lämpölaajenemiskerroin on lähes samansuuruinen, joten lämpötilan muuttuessa betonin ja teräksen muodostama liittorakenne toimii hyvin /10, s. 109/.

Kuvassa 4 on esitetty matalien välipohjarakenteiden liittopalkkijärjestelmä, kuvassa on Delttapalkki ja ontelolaatasto. Kuvassa 5 on esitetty betonin ja betoniteräksen käyttöä teräspilarin palonkestoajan kasvattamisessa.



Kuva 4. Liittorakenne delttapalkista sekä ontelolaatastosta /12/



Kuva 5. Esimerkki teräspilarin palon suojauksesta, teräspilari jonka sisällä on betoni-täyttö ja betoniteräkset

Betonirakenteet säilyttävät lämpökapasiteettinsa ansiosta kuumina melko pitkäänkin varsinaisen tulipalon jäähtymisvaiheen jälkeen. Kun palotilan lämpötila alkaa laskea, niin betonirakenne jopa kuumenee sisäosistaan vielä jonkin aikaa. Jos kuumia betonirakenteita jäähdytetään kylmällä vesisuihkulla, voivat betonirakenteet lohkeilla vaarallisen syvältä tulipalon jäähtymisvaiheessa, koska kuumat betonirakenteet ovat herkkiä halkeilemaan kun sitä jäähdytetään nopeasti kylmällä vesisuihkulla /10, s. 110/.

#### 4.2 Betonin termomekaaniset ja termiset ominaisuudet

Korkean lämpötilan vaikutus betonin ominaisuuksiin eri ilmiöiden kautta voidaan jaotella seuraavasti:

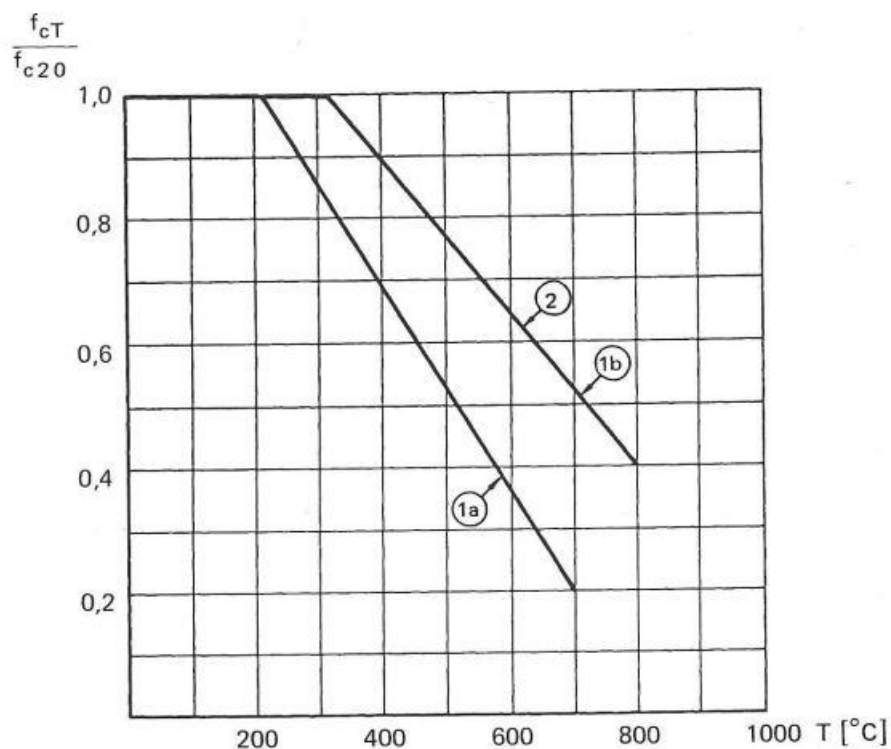
1. Kemialliset ja fysikaaliset muutokset kiviaineksessa ja sementtiliimassa (taulukko 1). Kalkkikiven käyttö runkoaineen joukossa parantaa betonin palonkestävyyttä, koska se on stabiili tulipalossa. Kvartsipitoinen kiviaines taas heikentää betonin lujuusominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa. Sulamispisteinä voidaan pitää betonilla 1300...1500 °C runkoaineen laadusta riippuen /10, s.110/.
2. Kiviaineksen ja sementtiliiman terminen yhteensopimattomuus aiheuttaa sisäisiä jännityksiä: koska betonina kiviaineksella ja sementtikivellä on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet, aiheuttavat suuret lämpötilamuutokset sisäisiä jännityksiä, jopa suuria halkeamia /10, s.111/.
3. Sisäisiä jännityksiä aiheuttaa myös lämpötilan epätasainen jakautuminen /10, s.111/.

Lämpötila-alue °C	Vallitseva reaktio	Reaktiotyyppi
20...300	Huokosveden poistuminen	Veden poistuminen
300...490	Adsorboituneen veden poistuminen	Veden poistuminen
490...540	Kalsiumhydroksidin hajoaminen	Hajoaminen
573	Kvartsin kiderakenteen muutos	Muutos
580...750	$\beta$ -dikalsiumsilikaatin muodostuminen	Hajoaminen

Taulukko 1. Betonissa tapahtuvat reaktiot eri lämpötiloissa /10, s.110/

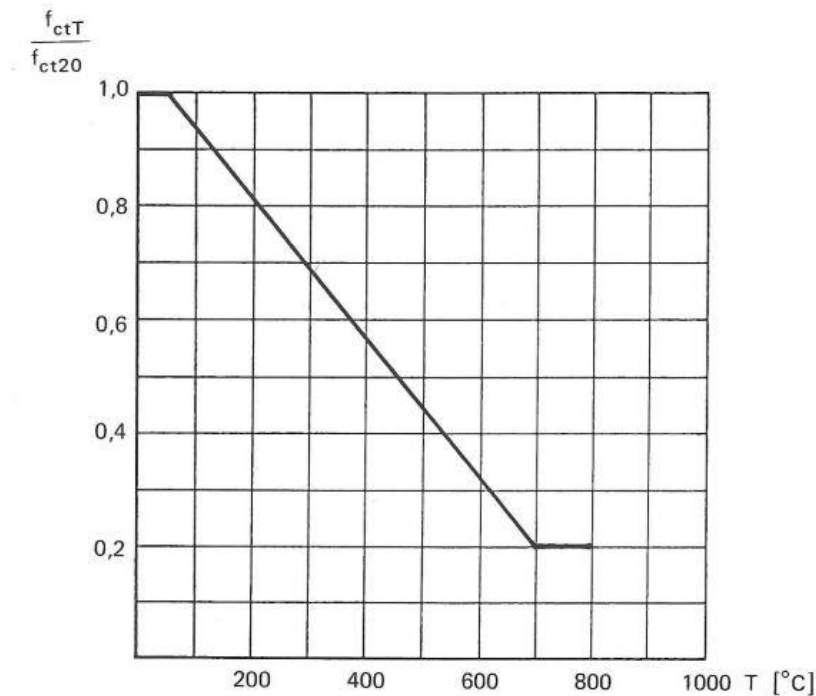
#### 4.2.1 Lujuusominaisuudet

Rakenteen tulee myös tulipalotilanteessa kantaa siihen kohdistuvat kuormitukset, jonka vuoksi paloteknisessä suunnittelussa on huomioitava betonin lujuuden heikkeneminen lämpötilan kohotessa. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty betonin puristus- ja vetolujuuden lämpötilariippuvuudet /10, s.111/.



Kuva 6. Lämpötilan vaikutus betonin puristuslujuuteen /10, s.111/

Jossa,	1a	tavallinen betoni, kuormitusaste 0 % kuutiolajuudesta +20 °C:ssa
	1b	tavallinen betoni, kuormitusaste 30 % kuutiolajuudesta +20 °C:ssa
	2	kevytsorabetoni, kuormitusaste 0...30 % kuutiolajuudesta +20 °C:ssa
	$f_{cT}$	betonin puristuslujuus lämpötilassa T
	$f_{c20}$	betonin puristuslujuus +20 °C:ssa



Kuva 7. Lämpötilan vaikutus tavallisen betonin vetolujuuteen /10, s.112/

Jossa,  $f_{ctT}$  betonin vetolujuus lämpötilassa T  
 $f_{ct20}$  betonin vetolujuus +20 °C:ssa

Kun betoni kuumenee, siitä pyrkii poistumaan kosteus, sen kiviaines laajenee, mutta samalla sen sementtikivi kutistuu. On aivan ilmeistä, ettei tällainen epähomogeeninen materiaali voi säilyä ehjänä, vaan siihen muodostuu ainakin mikrohalkeamia. Tulipalossa kuumentunut betoni voi olla paljon lujempaa tulipalon alkuvaiheessa kuin ennen tulipaloa. Sen sijaan betonin lujuus laskee tulipalon aikaisesta lujuudesta kun se viilentyy käyttölämpötilaansa. Tulipalon jälkeiseen lujuuteen vaikuttavat mm. kiviaines, sementin ja kiviaineksen sekoitussuhde, sementti, olosuhteet betonin viilentymisen jälkeen ja viilentymisnopeus. Rakenteen lämmittäminen kertaalleen noin 200 °C lämpötilaan ja tämän jälkeinen hidus jäähtytys alentaa loppulujuutta noin 25 %. Alhaisen lujuuden (C25/30...C50/60) omaavilla betoneilla tapahtuu suhteellisesti vähemmän lujuuden alentumista korkeissa lämpötiloissa kuin korkealujuuksisilla betoneilla (C55/67...C100/115) /10, s.112/.

Tulipalon jälkeen voidaan tulipalonaikaista betonin lämpötilaa päätellä sen värin perusteella taulukon 2 mukaisesti /10, s.112/.

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

Taulukko 2. Tulipalon lämpötilan arviointi betonin väristä /10, s.112/

#### 4.2.2 Muodonmuutos ominaisuudet

Muodonmuutoksien takia rakenteet tulee suunnitella niin, että muodonmuutokset eivät kasva liian suuriksi tulipalotilanteessa. Lämpölaajeneminen teräsbetonirakenteissa on varsin voimakasta korkeissa lämpötiloissa. Lämpölaajenemisilmiö otetaan huomioon suunnitteleamalla rakenteisiin sopivat liikuntasaumot. Lämpötilan betonissa noustessa sen viruma kasvaa ja voi tulla merkittäväksi erittäin korkeissa lämpötiloissa /10, s.113/.

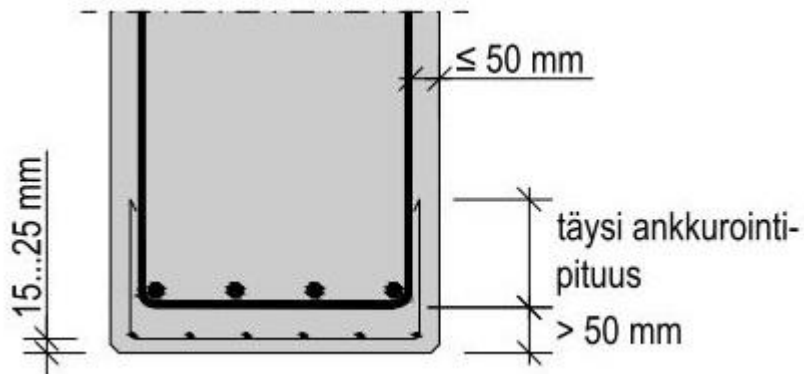
#### 4.2.3 Lohkeilu

Kantavissa rakenteissa teräksiä suojaa betonipeite liian suurelta lämpötilanousulta. Jotta betonipeite voi suojata raudoitusta, täytyisi sen pysyä paikoillaan vahingoittumattomana. Lämpötilan kohotessa nopeasti betonissa, niin sillä on taipumusta lohkeilla voimakkaasti. Joten lohkeilu aiheuttaa oleellisen vaaran kantaville rakenteille palotilanteessa. Monista maailmanlaajuisista polttokokeista huolimatta täysin aukotonta teoriaa lohkeilun syihin ei ole pystytty johtamaan. Lohkeilu voi edetä asteittain tai se voi tapahtua räjähdysmäisesti /10, s. 113/.

Kosteuspitoisuutta pidetään päätekijänä palon alkuvaiheessa tapahtuvaan lohkeiluun betonissa. Mikäli betonissa oleva kosteus ei pääse riittävästi kulkeutumaan betonirakenteen sisäosien kylmempiin huokosiin, niin veden lämpötila nousee niin korkeaksi että se höyrystyy. Höyryn lämpölaajeneminen on estetty, niin syntyy nopeasti kasvava höyrynpaine. Kuumentuneen pintakerroksen ja vesihöyryllä kyllästetyn kerroksen väliin syntyy jännitystila, joka aiheuttaa kuumentuneen kuivan kerroksen irtoamisen räjähdysmäisesti ja aiheuttaen voimakkaan äänen. Ohuilla betonirakenteilla, joissa

tuli pääsee vaikuttamaan molemmilta puolilta, syntyvä räjähdysmäinen lohkeilu on voimakasta./10, s. 113–114/.

Betonista valmistettujen palkkirakenteiden pintalohkeilua voidaan vähentää käyttämällä kuvan 8 mukaista lisäraudoitusta, kun suojabetonipaksuus ylittää 50 mm.



Kuva 8. Lohkeilun estäminen. Jos rakenteen pintaa lähinnä olevan raudoituksen betonipeitteen paksuus on suurempi kuin 50 mm, on käytettävä lohkeilua vähentävää lisäraudoitusta. Lisäraudoitus sijoitetaan 15...25 mm:n etäisyydelle rakenteen pinnasta. Lisäraudoituksena voidaan käyttää teräsverkkoa tai ristiin asetettua raudoitusta, jonka lankapaksuus on vähintään 2,5 mm ja jakoväli 50x50...150x150mm. /10, s. 114/

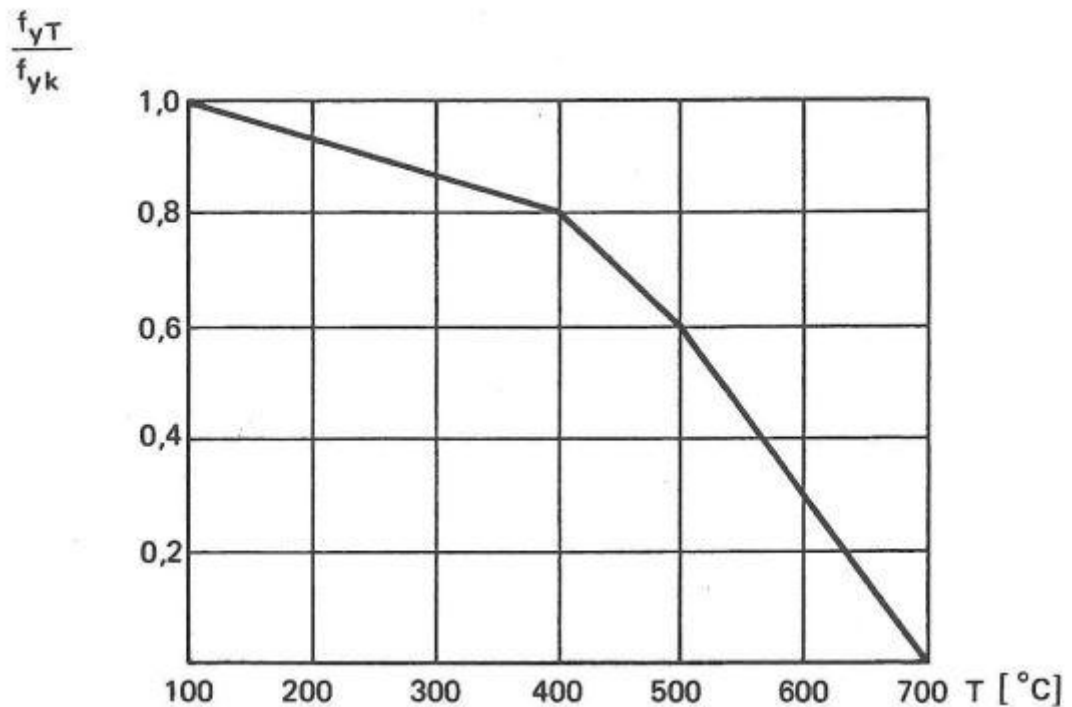
Lohkeilua lisäävästi vaikuttavat tekijät:

- Suuri kosteuspitoisuus
- lämpölaajenemiserot kuuman pintakerroksen ja kylmän sisäkerroksen välillä
- suuri puristusjännitys
- ohut poikkileikkaus ja äkilliset poikkileikkauksen muutokset
- palolle alttiiden pintojen osuus poikkileikkauksen piiristä
- nopea palotilan lämpötilan nousu
- tiheä raudoitus helpottaa halkeamapinnan muodostumista
- kvartsipitoinen kiviaines
- alhainen huokoisuus

### 4.3 Betoniterästen termomekaaniset ominaisuudet

#### 4.3.1 Lujuus ja kimmokerroin

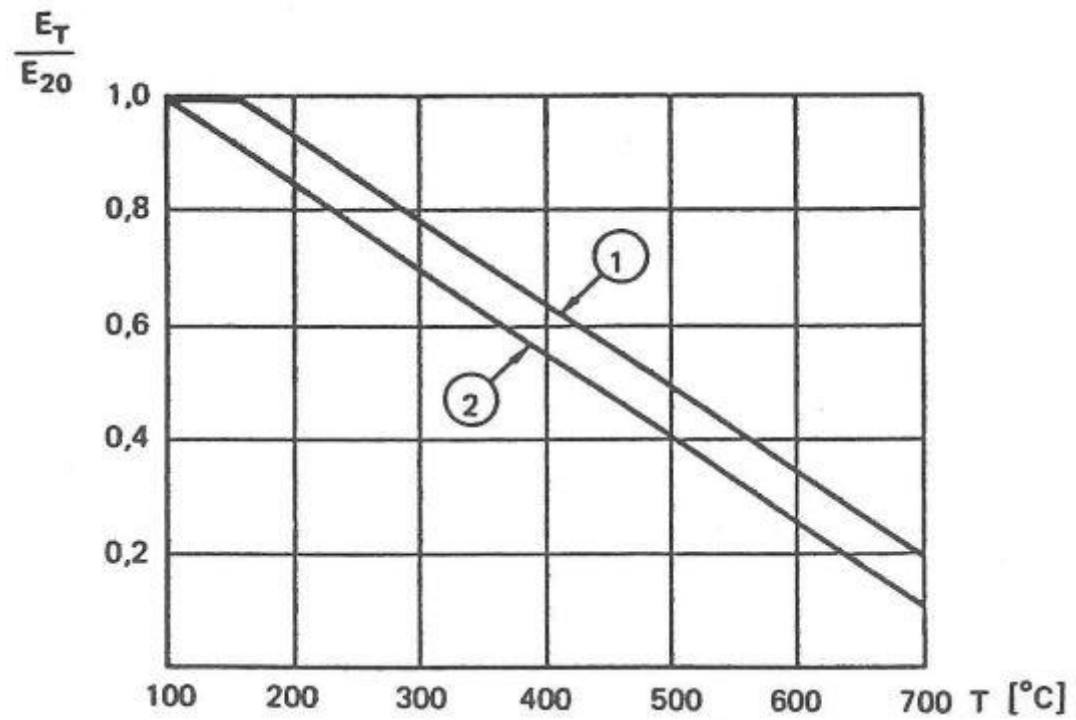
Teräksen lujuus ja kimmokerroin heikkenevät lämpötilan noustessa. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty betoni- ja jänneterästen mekaanisten ominaisuuksien riippuvuus lämpötilasta. Teräksen lämpötila pyritään pitämään kantavissa rakenteissa yleisesti alle 500 °C. Ainoa keino estää raudoitteiden lämpötilanousua, on sijoittaa ne etäälle palolle alttiista betonipinnasta /10, s.115–116/.



Kuva 9. Lämpötilan vaikutus betoniteräksen lujuuteen /10, s.116/

Jossa  $F_{yT}$  betoniteräksen lujuus lämpötilassa T  
 $F_{yk}$  betoniteräksen ominaislujuus, joka on myötölujuus tai 0,2-rajaa vastaava lujuus +20 °C:ssa





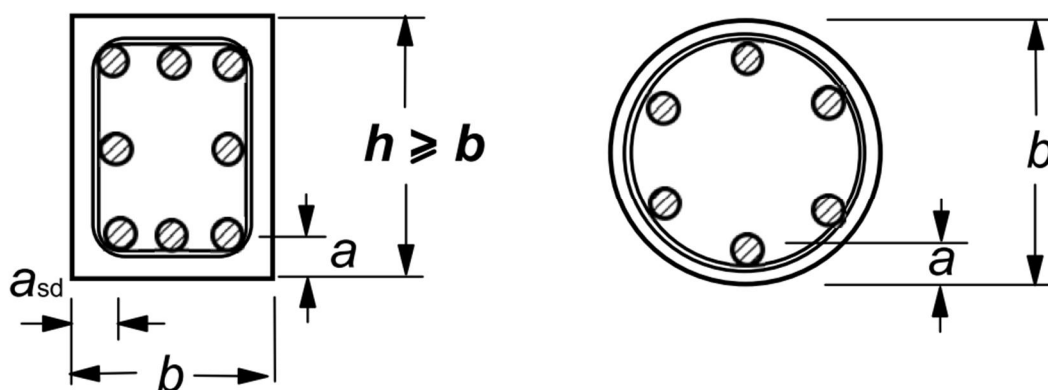
Kuva 10. Lämpötilan vaikutus betoniteräksen (1) ja jänneteräksen (2) kimmomoduliin /10, s.116/

Jossa  $E_T$  teräksen kimmokerroin lämpötilassa T  
 $E_{20}$  teräksen kimmokerroin +20 °C:ssa

## 5 BETONIRAKENTEIDEN PALOMITOITUS

Tulipalotilanteen korkealla lämpötilalla on haitallisia vaikutuksia betonirakenteeseen. Se aiheuttaa raudoituksen ja betonin kimmokertoimen ja lujuuden alenemisen ja betonin lohkeamisriskin. Betonirakenteille on käytössä useita palomitoitusmenetelmiä, joista taulukkomitoitus on yksinkertaisin. Taulukoissa esitettävät keskiöetäisyyden vähimmäisarvot ( $a$ , kaava 2 ja kuva 11) tarkoittavat pääraudoituksen keskipisteen etäisyyttä lähimmäistä palolle alttiista betonipinnasta. Keskiöetäisyys määritetään rakenteessa nimellisten mittojen perusteella ja sen määrittelyssä otetaan huomioon betonipeitteen ( $c_{nom}$ ), hakaraudoituksen ( $\phi_{haka}$ ) ja mahdollisen asennus raudoituksen ( $\phi_{työtanko}$ ) ottama tila /11, s. 64–65/.

$$a = c_{nom} + (\phi_{työtanko}) + \phi_{haka} + \frac{1}{2} \phi_{päätanko} \quad (2)$$



Kuva 11. Rakenneosien poikkileikkauksia, joista näkyy nimellinen keskiöetäisyys  $a$  /11, s. 37/.

Palkeille ja pilareille asetetaan vain luokan R mukaisia kantavuusvaatimuksia. Seinille ja laatoille voidaan asettaa myös REI mukaisia kantavuusvaatimuksia. Kestoajika tarkoittaa rakenteen kykyä hoitaa vaadittu tehtävä standardipalotilanteessa. Kestoajat asetetaan tavallisesti puolen tunnin välein 30, 60, 90, 120, 180 ja 240min /11, s. 65/.

Tulipalo on onnettomuustilanne, jossa kuormitus ( $E_{d,fi}$ ) on mitoitus sääntöjen mukaan pienempi kuin normaalitilanteen kuormitus ( $E_{R,d}$ ). Kuormien suhde eli  $ns$ . ”mitoitus-

kuormatason pienennyskerroin” on enintään  $\eta_{fi} = 0,7$ . Tämä arvo on varmalla puolella ja sitä on käytetty mitoitusaulukkojen laatimisessa /11, s. 66/.

$$\eta_{fi} = \frac{E_d \cdot f_i}{E_d} \leq 0,7 \quad (3)$$

Mitoitusaulukoihin on lisäksi laskettu arvoja alhaisemmalla kuormitustasolla, joka on ilmaistu suhdeluvulla  $\mu_{fi}$  (=hyväksikäyttöaste palotilanteessa). Seuraavassa yhtälössä suhde  $N_{Ed}/N_{Rd}$  on rakenteen käyttöaste normaalilämpötilassa /11, s. 66/.

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed \cdot fi}}{N_{Rd}} = \frac{\eta_{fi} \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} \quad (4)$$

## 5.1 Pilarit

Eurokoodeissa pilareille on kaksi erin laista palonkestävyyden taulukkomitoitusmenetelmää, menetelmät A ja B. Insinööriyössä käsitellään vain taulukkomitoitusmenetelmää A ja sen ehtoja. Taulukkomitoituksessa A soveltuu vain jäykistettyjen teräsbetoni- ja jännebetonipilareiden palomitoitukseen, jotka ovat pääasiallisesti puristuksen alaisena.

Taulukossa 3 on esitetty menetelmän A mukaiset pilarin vähimmäismitat  $b_{min}$  ja keskiöetäisyyden  $a$  vähimmäisarvot. Pilarin poikkileikkaus voi olla suorakaide tai pyöreä.

Taulukkomitoitusmenetelmän A käytön ehtoina ovat /8, s. 38/:

- nurjahduspituus  $L_{0,fi} \leq 3,0$  m
- kuormituksen epäkeskisyys palotilanteessa  $e \leq 0,4$  h
- raudoituksen määrä  $A_s < 0,04 A_c$

jossa	h	pilarin suurempi sivumitta
	$A_c$	pilarin poikkileikkauspinta-ala

Jäykistetyissä rakennuksissa, joissa vaadittava standardipaloaltistus on yli 30 minuuttia, voidaan nurjahduspituutena  $l_{0,fi}$  käyttää  $0,5 \cdot l$  välikerroksissa ja ylimmässä kerroksessa  $0,5 \cdot l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 \cdot l$ . Kaavassa 1 on pilarin todellinen pituus keskeltä keskelle /8, s. 38/.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys $b_{min}$ / päätankojen keskiöetäisyys $a$			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdeltä sivulta			Altistus yhdeltä sivulta
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40*	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*	175/35
R 180	350/45*	350/63*	450/70	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70
* Vähintään 8 tankoa Jännitetyille pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.				

Taulukko 3. Pilarin vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s. 39/

## 5.2 Seinät

### 5.2.1 Ei-kantavat osastoivat seinät

Kun seinän palonkestävyydeltä vaaditaan vain eristävyyskriteerin I tai tiiviyskriteerin E täyttäminen tai molempien täyttämistä, niin edellytetään seinän vähimmäispaksuus olevan taulukon 4 mukainen. Seinän raudoitteen keskiöetäisyyteen ei ole määrääviä tekijöitä. Jos käytetään kalkkipitoisia kiviaineksia, voidaan taulukon 4 mukaisia vähimmäispaksuuksia pienentää 10 % /8, s. 41/.

Seinän vapaan korkeuden suhde seinän paksuuteen on rajoitettu arvoon 40, jotta lämmön aiheuttaman liiallisen muodonmuutoksen ja siitä seuraavan laatan ja seinän välisen tiiviuden menettämisen välttämiseksi /8, s. 41/.

Standardipalonkestävyys	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Taulukko 4. Ei-kantavien seinien (osastoivien seinien) vähimmäispaksuus /8, s. 42/

### 5.2.2 Kantavat umpiseinät

Kantavilla teräsbetoniseinille voidaan katsoa olevan riittävä palonkestävyys, jos noudatetaan taulukon 5 arvoja /8, s. 42/. Kohdan 5.2.1 ei-kantavien seinien ehdot koskevat myös kantavia umpiseiniä.

Seinän vapaan korkeuden suhde seinän paksuuteen on rajoitettu arvoon 40, jotta lämmön aiheuttaman liiallisen muodonmuutoksen ja siitä seuraavan laatan ja seinän välisen tiiviiden menettämisen välttämiseksi /8, s. 41/.

Taulukon 5 mukaisia seinien vähimmäispaksuuksia voidaan käyttää myös raudoittamattomien betoniseinien kohdalla EN 1992-1-1 luvun 12 mukaan /8, s. 42/

Standardipalonestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Seinän paksuus / keskiöetäisyys			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 5. Kantavien betoniseinien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s.42/

### 5.2.3 Palomuurit

Palomuri on pystysuora rakenneosa jolle asetetaan standardin EN 1363 osan 2 mukainen kestävyys. Silloin kun pystysuoralle osastoivalle kantavalle tai ei-kantavalle rakenneosalle asetetaan iskunkestävyysvaatimus M kohtien 5.2.1 ja 5.2.2 lisäksi, edellytetään normaalibetonilta vähintään seuraavia vähimmäispaksuuksia /8, s. 43/:

- 200 mm raudoittamaton seinä
- 140 mm raudoitettu kantava seinä
- 120 mm raudoitettu ei-kantava seinä

Sekä kantavan palomuurin raudoituksen keskiöetäisyyden edellytetään olevan vähintään 25 mm /8, s. 43/.

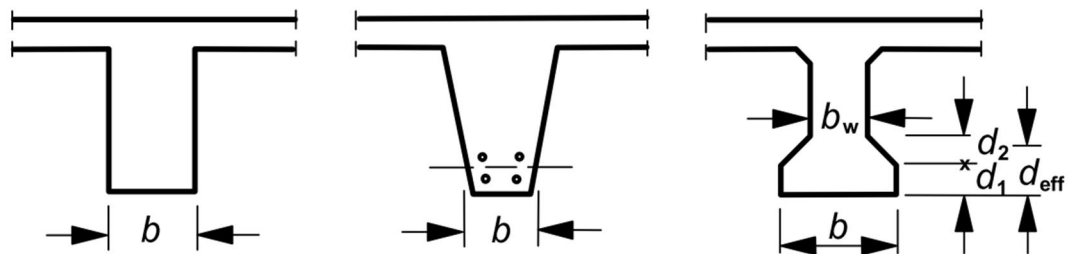
### 5.3 Palkit

Teräsbetoni- ja jännebetonipalkkien vähimmäismitat on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Taulukko 6 on laadittu vapaasti tuetuille yksiaukkoisille palkeille ja taulukko 7 on laadittu jatkuville palkeille.

Taulukot 6 ja 7 soveltuvat palkeille, joka voi altistua kolmelta eri sivulta ja on kuvan 12 mukainen poikkileikkaus. Eli yläpinnan eristeenä ovat laatat tai muut rakenneosat, joiden eristävyys jatkuu koko palonkestävyysajan. Kaikilta sivuilta altistuva palkki käsitellään luvussa 5.3.3. /8, s. 43/.

Palkin vähimmäismitat on esitetty kuvassa 12 seuraavilla mitoilla:

- palkin leveydelle
- palkin uuman leveydelle
- palkin raudoituksen keskiöetäisyydelle



(a) Vakioleveys (b) Korkeussuunnassa levenevä (c) I-poikkileikkaus

Kuva 12. Erityyppisten palkkipoikkileikkausten mittojen määrittely /8, s.43/

Mahdolliset palkin uuman lävistävät reiät eivät vaikuta palonkestävyyteen, mikäli palkin jäännöspoikkileikkaus ala on kaavan 5 mukainen /8, s. 44/:

$$A_c = 2b_{min}^2 \quad (5)$$

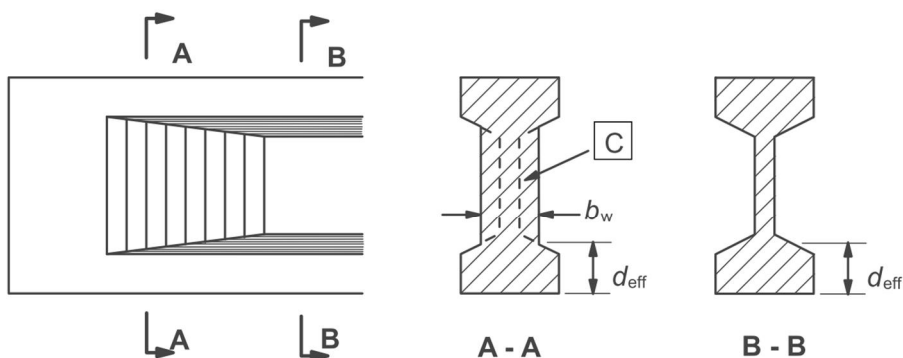
jossa  $A_c$  palkin vetoalueelle jäljelle jäävä poikkileikkauksen ala  
 $b_{min}$  vähimmäisleveys taulukosta 6

Palkeilla joilla on muuttuva poikkileikkaus, niin leveyden vähimmäisarvo  $b$  viittaa vetorausituksen painopisteeseen kuva 12b. I-palkin alalaipan tehollinen korkeus  $d_{eff}$  kuvan 12 ja kaavan 6 mukaan on vähintään /8, s. 43/:

$$d_{eff} = d_1 + 0,5d_2 \geq b_{min} \quad (6)$$

jossa  $b_{min}$  taulukon 6 ja 7 mukainen palkin leveyden vähimmäisarvo

Tätä sääntöä ei tarvitse soveltaa, jos todellisen poikkileikkauksen sisään voidaan piirtää kuvitteellinen poikkileikkaus, kuten kuvassa 13 on esitetty, joka täyttää palonkestävyyden vähimmäisvaatimukset ja jonka sisällä on koko raudoitus /8, s. 43/.



C Kuvitteellinen poikkileikkaus

Kuva 13. Kuvitteellisen poikkileikkauksen vaatimukset täyttävä I-palkki, jolla on muuttuva uuman paksuus  $b_w$  /8, s. 44/

Kun alalaipan todellinen leveys  $b$  on suurempi kuin  $1,4b_w$  ( $b_w$  merkitsee uuman todellista leveyttä) ja  $b \cdot d_{eff} < 2 \cdot b_{min}^2$ , raudoituksen tai jänneteräksen keskiöetäisyyttä suurennetaan kaavalla 7 arvoon /8, s. 44/:

$$a_{eff} = a \left( 1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{min}} * \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a \quad (7)$$

jossa  $d_{eff}$  I-palkin alalaipan tehollinen korkeus, kaava 6  
 $b_{min}$  I-palkin vähimmäisleveys taulukon 6 tai 7 mukaan



Näiden lisäksi on esitetty vaatimus nurkkatankojen (tai – jänteen tai – langan) keskiöetäisyydelle  $a_{sd}$ , kun raudoitus on yhdessä kerroksessa. Koska lämpötilakeskittyä syntyy palkkien alanurkkiin. Palkin leveyden  $b_{min}$  ollessa taulukossa 6 sarakkeen 4 ja taulukossa 7 sarakkeen 3 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa. Muuten  $a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$  /8, s. 44/.

Eurokoodejen palkkien taulukkomitoituksessa on annettu uuman paksuus WA, WB ja WC luokissa. Kussakin maassa käytettävän luokan valinta voidaan esittää kansallisessa liitteessä /8, s. 43/. Suomen kansallisessa liitteessä on valittu luokaksi WC /13/.

## 5.3.1 Vapaasti tuetut palkit

Taulukosta 6 saadaan vapaasti tuettujen palkkien keskiöetäisyyden vähimmäisarvot alapintaan ja sivuihin sekä palkin leveyden vähimmäisarvot standardipalokestävyyden ollessa välillä R30... R240.

Standardipalokestävyys	Vähimmäismitat (mm)				
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden $a$ ja palkin leveyden $b_{\min}$ mahdolliset yhdistelmät				
1	2	3	4	5	6
R 30	$b_{\min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80
R 60	$b_{\min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100
R 90	$b_{\min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	100
R 120	$b_{\min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	120
R 180	$b_{\min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	140
R 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	160

$a_{sd} = a + 10$   
 $a_{sd}$  on nurkkatankojen (tai -jänteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivuilta, kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden  $b_{\min}$  ollessa sarakkeen 4 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 6. Vapaasti tuettujen teräsbetoni- ja jännebetonipalkkien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s.46/

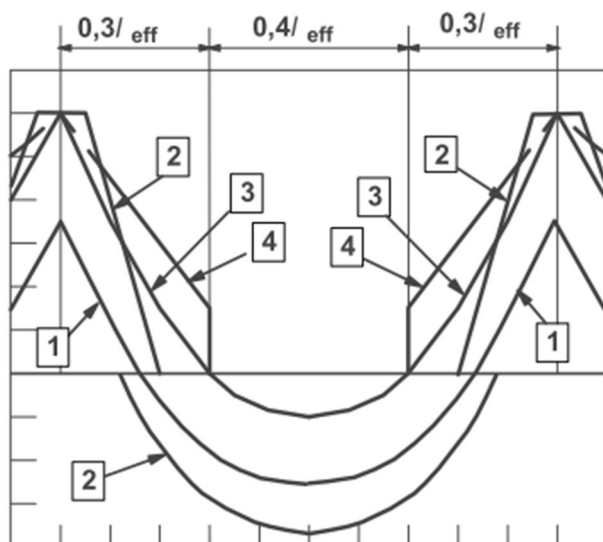
### 5.3.2 Jatkuvat palkit

Taulukosta 7 saadaan jatkuvien palkkien keskiöetäisyyden vähimmäisarvot alapintaan ja sivuihin sekä palkin leveyden vähimmäisarvot standardipalokestävyuden ollessa välillä R30...R240.

Kun palonkestävyys vaatimus on vähintään R90, edellytetään yläpinnan raudoituksen poikkileikkausalan olevan jokaisen välituen kohdalla tuen keskiviivalta etäisyyteen  $0,3 \cdot l_{eff}$  asti (standardin SFS-EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti määritettynä) vähintään kaavan 8 mukainen (kuva 14) /8, s. 44/:

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) * \left(1 - 2,5 * \frac{x}{l_{eff}}\right) \quad (8)$$

jossa	x	etäisyys tarkasteltavasta poikkileikkauksesta tuen keskiviivalle, kun $x \leq 0,3 \cdot l_{eff}$
	$A_{s,req}(0)$	tuen kohdalla tarvittava yläpinnan raudoituksen poikkileikkausala standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti
	$A_{s,req}(x)$	tarkasteltavan tuen keskiviivalta etäisyydellä (x) vaadittava yläpinnan raudoituksen vähimmäisala, mutta vähintään standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaan vaadittu $A_s(x)$
	$l_{eff}$	tehollinen jännemitta, jos viereisten jänteiden tehollinen jännemitta on suurempi, käytetään tätä arvoa



Kuva 14. Tukien lähellä vaadittavan kestävyuden määrittämiseen käytettävä minimi- ja maksimimomenttipintojen yhdistelmä palotilanteessa /8, s. 45/

Selite:

1. Taivutusmomenttipinta palotilanteessa hetkellä  $t = 0$  vaikuttaville kuormille
2. Minimi- ja maksimimomenttipintojen yhdistelmä, jonka perusteella taivutuksen edellyttämä vetorauskoitus mitoitetaan standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti
3. Taivutusmomenttipinta palotilanteessa
4. Kaavan 8 edellyttämä minimimomenttipinta, jonka perusteella yläpinnan vähimmäisraudoitus tuen lähellä mitoitetaan.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)				
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden a ja palkin leveyden $b_{min}$ mahdolliset yhdistelmät				Uuman paksuus $b_w$
1	2	3	4	5	6
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$	160 12*			80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12*			100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25	450 35	500 30	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35	550 50	600 40	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	650 60	700 50	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60			160

$a_{sd} = a + 10$   
 $a_{sd}$  on nurkkatankojen (tai -jänteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivulta, kun raudoitus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden  $b_{min}$  ollessa sarakkeen 3 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 7. Jatkuvien teräsbetoni- tai jännebetonipalkkien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s. 47/

Jatkuvan teräsbetonisen palkin leveyttä ja uuman paksuutta tulee leventää ensimmäisellä välituella standardipalonkestävyyksillä R120 – R240 taulukon 8 mukaisesti betonin puristus- ja leikkausmurron estämiseksi, jos kumpikin seuraavan sivun ehdoista pätee /8, s. 48/:

- 1) Reunatuella ei ole taivutuskestävyyttä joko liitoksessa tai palkissa
- 2)  $V_{ed} > 2/3V_{Rd,max}$  ensimmäisellä välituella, kun  $V_{Ed}$  on leikkausvoiman mitoitusarvo normaalilämpötilassa ja  $V_{Rd,max}$  on ristikkomallin puristussauvojen leikkauskestävyyden mitoitusarvo standardin EN 1992-1-1 luvun 6 mukaan.

Standardipalonkestävyys	Palkin vähimmäisleveys $b_{min}$ (mm) ja uuman vähimmäispaksuus $b_w$ (mm)
1	2
R 120	220
R 180	380
R 240	480

Taulukko 8. Teräsbetoniset ja jännebetoniset jatkuvat I-palkit; suurennettu palkin leveys ja uuman paksuus /8, s. 48/

### 5.3.3 Kaikilta sivuilta altistuva palkki

Taulukoita 6, 7 ja 8 voidaan käyttää seuraavin ehdoin /8, s. 48/:

- palkin korkeuden edellytetään olevan vähintään vastaava palonkestävyyden perusteella vaadittava vähimmäisleveys
- palkin poikkileikkauksen pinta-alaksi  $A_c$  edellytetään vähintään olevan kaavan 9 mukainen

$$A_c = 2 b_{min}^2 \quad (9)$$

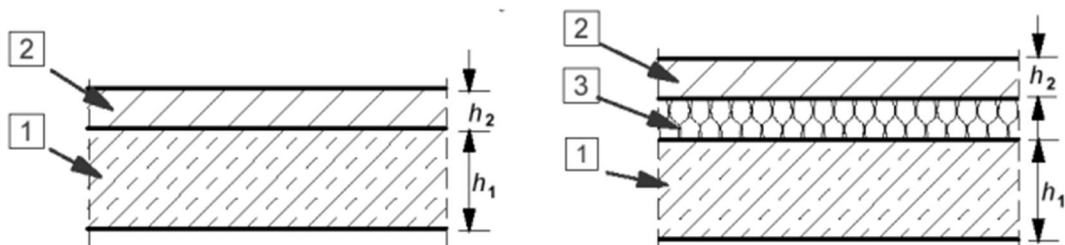
jossa  $b_{min}$  taulukoiden 6, 7 ja 8 mukainen

## 5.4 Laatat

Taulukoissa 9-12 on esitetty laatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot sekä raudoituksen keskiöetäisyydet a erikseen yhteen suuntaan kantavalle ja ristiin kantavalle laatalle. Ristiin kantavalle laatalle keskiöetäisyydet on annettu kahdelle jännemittojen suhteen alueelle. Ristiin kantavissa laatoissa keskiöetäisyys a määritetään pintaa lähempänä olevan raudoituksen mukaan. Taulukoiden mukainen vähimmäispaksuus  $h_s$  takaa riittävän osastoivuuden (kriteerit E ja I). Jos vaaditaan vain kantavuutta (kriteeri R), voidaan käyttää standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisen mitoituksen edellyttämää laatan paksuutta /8, s. 48/.

T-palkkien ja TT-laattojen laippoihin koskee myös kohtien 5.4.1 ja 5.4.2 ehdot /8, s. 48/.

Laattojen paksuudessa otetaan huomioon kantavan laatan lisäksi palamattomat pintakerrokset kuvan 15 ja kaavan 10 mukaisesti.



Kuva 15. Betonilaatta ja lattian pintakerrokset. Kuvassa 1 on betonilaatta, 2 on pintakerros (palamaton) ja 3 on ääneneristys (mahdollisesti palavaa) /8, s. 49/

$$h_s = h_1 + h_2 \quad (10)$$

Jossa	$h_s$	taulukon 9-12 mukainen laatan paksuus
	$h_1$	betonilaatta
	$h_2$	palamaton pintakerros

## 5.4.1 Vapaasti tuetut umpilaatat

Taulukossa 9 on esitetty laatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot, sekä raudoituksen keskiöetäisyyden  $a$  vapaasti tuetun laatan alapinnasta standardipalonkestävyyden ollessa välillä R30 – R240. Ristiin kantavissa laatoissa  $a$  merkitsee raudoituksen alemman kerroksen keskiöetäisyyttä.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Laatan paksuus $h_s$ (mm)	Keskiöetäisyys $a$		
		Yhteen suuntaan kantava	Ristiin kantava	
			$l_y / l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y / l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_y$  ja  $l_x$  ovat ristiin kantavan laatan jännemitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä  $l_y$  on pitempi jännemitta.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiöetäisyys  $a$  ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

Taulukko 9. Vapaasti tuettujen, yhteen suuntaan kantavien ja ristiin kantavien teräs- betoni- ja jännebetonilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyksien vähimmäisarvot /8, s. 49/



#### 5.4.2 Jatkuvat umpilaatat

Taulukon 9 sarakkeiden 2 ja 4 arvoja sovelletaan myös yhteen suuntaan kantaviin ja ristiin kantaviin jatkuviin laattoihin.

Taulukkoa 9 ja seuraavia sääntöjä sovelletaan laatoille, kun momentin uudelleen jakautuminen on normaalilämpötilamitoituksessa enintään 15 %. Ellei momentin uudelleen jakautumista lasketa tarkemmin ja jos uudelleen jakautuminen ylittää 15 % tai jos yksityiskohtien suunnittelussa ei noudateta edellisiä sääntöjä, käsitellään jokaista jatkuvan laatan jännettä vapaasti tuettuna laattana käyttämällä taulukon 9 sarakkeita 2, 3, 4 tai 5 /8, s. 50/.

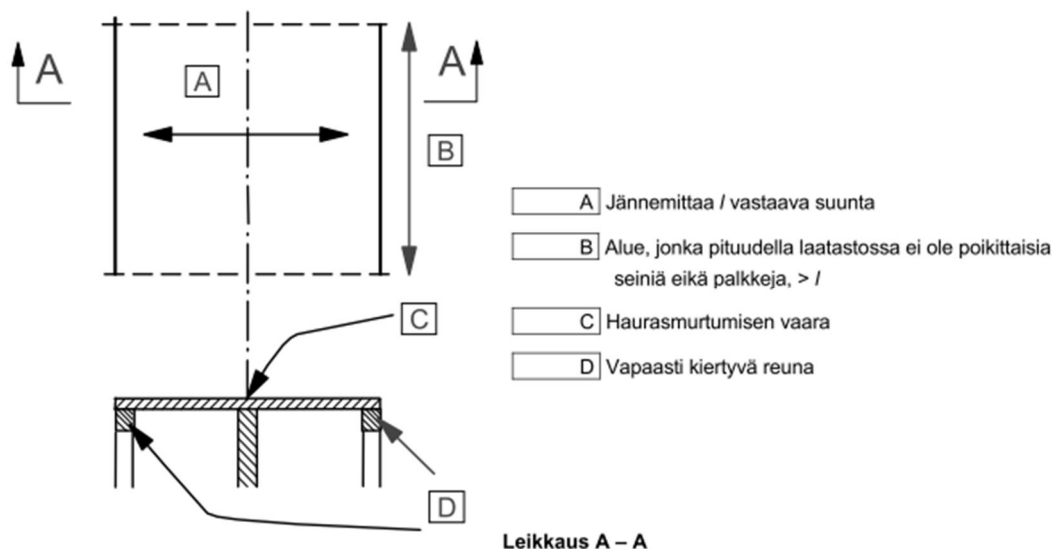
Kun palonkestävyys vaatimus on vähintään R90, edellytetään yläpinnan raudoituksen poikkileikkausalan olevan jokaisen välituen kohdalla tuen keskiviivalta etäisyyteen  $0,3 \cdot l_{\text{eff}}$  asti (standardin SFS-EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti määritettynä) vähintään kaavan 8 mukainen (kuva 14, s. 36) /8, s. 44/:

Välituen kohdalla on yläpinnan vähimmäisraudoitus oltava kaavan 11 mukainen, jos jokin seuraavista ehdoista on voimassa /8, s. 50/:

- 1) Käytetään kylmämuokattua raudoitusta.
- 2) Kaksiaukkoiset jatkuvat laatat pääsevät vapaasti kiertymään reunatuilla standardin EN 1992-1-1 mitoitusääntöjen mukaan tai asianmukaisten yksityiskohtien suunnittelua koskevien ohjeiden mukaisesti (ks. esim. standardin EN 1992-1-1 lukua 9).
- 3) Kuormien vaikutukset eivät pääse jakautumaan uudelleen jännemitan suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa kuten esim. poikittaisille seinille tai muille jänteen suuntaisille tuille, joita ei ole otettu huomioon suunnittelussa. (ks. kuva 16)

$$A_s \geq 0,005 A_c \tag{11}$$

jossa  $A_s$  yläpinnan vähimmäisraudoitus  
 $A_c$  betonin poikkileikkausala



Kuva 16. Laatastoja, joissa edellytetään edellisen kaavan 11 mukaista vähimmäisraudoitusta /8, s. 50/

#### 5.4.3 Pilarilaatat

Taulukossa 10 on esitetty pilarilaatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot, sekä raudoituksen keskiöetäisyyden  $a$  laatan alapintaa lähempänä olevaa raudoitetta standardipalonkestävyyden ollessa välillä R30 – R240.

Kun standardipalonkestävyys on REI 90 tai suurempi, edellytetään, että vähintään 20 % standardin EN 1992-1-1 edellyttämästä yläpinnan kokonaisraudoituksesta välitukien kohdalla kummassakin suunnassa jatkuu koko jännemitan pituudella. Tämä raudoitus sijoitetaan pilarikaistalle /8, s. 50/.

Edellä mainittua sääntö koskee pilarilaattoja, joissa momentin uudelleen jakautuminen standardin EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti on enintään 15 %. Muuten keskiöetäisyyksien vähimmäisarvoina käytetään yhteen suuntaan kantavan laatan arvoja (taulukon 9 sarake 3) ja vähimmäispaksuuksia taulukon 10 arvoja /8, s. 50/.

Laatan vähimmäispaksuuksia ei pienennetä (esim. ottamalla lattian pintakerroksia huomioon.) /8, s. 50/.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)	
	Laatan paksuus $h_s$	Keskiöetäisyys $a$
1	2	3
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 10. Teräsbetoni- tai jännebetonipilarilaatan vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s.51/

#### 5.4.4 Ripalaatat

Yhteen suuntaan kantavan teräsbetoni- tai jännebetoniripalaatan palonkestävyyden määrittämisessä noudatetaan kohtia 5.3.1 ja 5.3.2 ripojen osalta, sekä kohdan 5.4.2 ja taulukon 9 sarakkeita 2 ja 5 laippojen osalta. Ripalaatoille, joiden rauditus sijoittuu useaan kerrokseen, noudatetaan eurokoodin SFS-1992-1-2 kohtaa 5.2 (15) /8, s. 51/.

Ristiin kantavalla teräsbetoni- tai jännebetoniripalaatalla voidaan katsoa olevan riittävä palonkestävyys, jos käytetään taulukoiden 11 ja 12 arvoja. Jatkuvissa ripalaatoissa yläpinnan rauditus sijoitetaan laipan yläpuoliskoon.

Taulukot 11 ja 12 arvot ovat voimassa ripalaatoille, joihin kohdistuu pääasiassa tasaisesti jakautunutta kuormaa.

Standardipalon- kestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Ripojen leveyden $b_{\min}$ ja keskiöetäisyyden $a$ mahdollisia yhdistelmiä			Laatan paksuus $h_s$ ja keskiöetäisyys $a$ laipassa
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 15^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 35$	120 25	$\geq 200$ 15*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 45$	160 40	$\geq 250$ 30	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 60$	190 55	$\geq 300$ 40	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 220$ $a = 75$	260 70	$\geq 410$ 60	$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 75	$\geq 500$ 70	$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
$a_{sd}$ merkitsee raudoituksen keskiön ja rivan palolle altistuneen poikittaisen pinnan välistä etäisyyttä.				
Jännitetyille pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.				
* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.				

Taulukko 11. Vapaasti tuettujen, ristiin kantavien teräsbetoni- ja jännebetoniripalaat-  
tojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /8, s. 52/

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Ripojen leveyden $b_{\min}$ ja keskiötäisyyden $a$ mahdollisia yhdistelmiä			Laatan paksuus $h_s$ ja keskiötäisyys $a$ laipassa
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 10^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 25$	120 15*	$\geq 200$ 10*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 35$	160 25	$\geq 250$ 15*	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 45$	190 40	$\geq 300$ 30	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h_s = 175$ $a = 40$

$a_{sd} = a + 10$   
 $a_{sd}$  merkitsee raudoituksen keskiön ja rivan palolle altistuneen poikittaisen pinnan välistä etäisyyttä.

Jännitetyille pilareilla keskiötäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 12. Ristiin kantavien, teräsbetoni- ja jännebetoniripalaattojen, joilla on ainakin yksi jäykästi kiinnitetty reuna, vähimmäismitat ja keskiötäisyyden vähimmäisarvot /8, s. 53/

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää omaa tietämystä palomitoitukseen liittyviä lainsäädäntöjä, määräyksiä ja Eurokoodeja. Sekä tehdä A-Insinöörit Oy:lle suunnittelijan työtä helpottava dokumentti. Dokumenttia selkeytettiin niin että ne löytyvät selkeästi yhdestä dokumentista ilman muuta turhaa tietoa.

Eurokoodeista on pyritty tekemään kattavampi normisto, jotta sen avulla voitaisiin suunnitella koko Euroopan alueelle rakenteita. Tästä syystä standardin tekstit ovat usein liian ympäröityjä ja viittauksia on paljon standardin sisälle ja muihin standardeihin. Eli standardit olisi hyvä tuntea hyvin kun niitä alkaa käyttämään, muuten se vie liikaa aikaa työn ohessa kun opiskelee standardien hierarkiaa. Itsenäinen opiskelu on haastavaa, kun Eurokoodit kannanotot ovat liian usein ympäröityjä.

Standardipalon käyttö mitoittavana tulipalona johtaa lähes aina rakenteiden kantavuuden varmalle puolelle, eli ylimitoitetaan rakenne. Ylimitoitus aiheutuu siitä, että standardipalon tulee kattaa rasituksiltaan kaikki palotilanteiden variaatiot. Eli dimensiot ovat oikeaan tulipaloon tarvittaviin dimensioihin verrattuna turhankin suuria ja rakennuskustannukset nousevat. Toiminnallisella palomitoituksella dimensiot saataisiin pienemmiksi, jolla säästettäisiin rakennuskustannuksissa paljon suurissa rakennuksissa. Mutta toiminnallinen palomitoitus on aina aikaa vievää, joka sitten taas maksaa paljon. Eli pienissä kohteissa eurokoodeista saadaan nopeasti hankittua oikeat dimensiot rakenteille ja suurempiin ja monimutkaisempiin rakenteisiin olisi hyvä käyttää toiminnallista palomitoitusta.

Eurokoodien taulukoiden ja ehtojen tulkitseminen on työlästä ja niissä meni minulta runsaasti aikaa, jonka vuoksi toivon että liitteenä oleva dokumentista olisi paljon apua A-Insinöörien suunnittelijoiden arkipäiväisessä työssä. Eurokoodeissa on paljon muutakin asiaa mitä suunnittelija ei tarvitse, niin dokumentista tein sellaisen että siinä ei ole mitään ylimääräistä tietoa, jota ei tarvitse arkipäiväisessä työssä. Olen jo omassa lyhyessä suunnittelijaurassani tarvinnut tämän insinöörityön aiheen sisältämiä asiaa paljon ja tulen tarvitsemaan niiden ymmärtämistä tarvitsemaan myös tule-

vaisuudessakin. Insinööriyössä on ollut lähes kaikki uutta asiaa minulle, joten tämä on ollut todella kehittävä työ minulle.

Liitteenä olevassa dokumentissa on samat asiat kuin insinööriyössäkin. Dokumentti on tehty vastaamaan A-Insinöörit Oy:n asiakirjoja.

## LÄHTEET

- /1/ Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön www-sivut. Viitattu 23.03.2015  
<http://www.spek.fi/>
- /2/ Pelastuslaki. 2011. 29.4.2011/379
- /3/ Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. 5.2.1999/132
- /4/ Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. 2014.  
17.06.2014/477
- /5/ Ympäristöministeriön www-sivut. Viitattu 09.03.2015  
<http://www.ym.fi/>
- /6/ Suomen RakMK E1. 2002. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.
- /7/ Eurokoodi help desk:n www-sivut. Viitattu 10.03.2015  
<http://www.eurocodes.fi/>
- /8/ SFS-EN 1992-1-2 + AC. Eurocode 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus 2004 Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 16.03.2015.
- /9/ SFS-EN 1991-1-2 + AC. Eurocode 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. 2004 Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 16.03.2015.  
<http://www.sfs.fi/>
- /10/ Suomen Betoniyhdistys ry, 2005. Betonitekniikan oppikirja by 201. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy
- /11/ Suomen Betoniyhdistys ry, 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja by 211 – osa 1. Tampere: Multiprint Oy
- /12/ Peikko Group:n www-sivut. Viitattu 14.08.2015  
<http://www.peikko.fi/>
- /13/ Ympäristöministeriön asetus Eurocode – standardien soveltamisesta talonrakentamisessa, liite 8. 2007. 15.10.2007



## Betonirakenteiden palomitoitus -opas

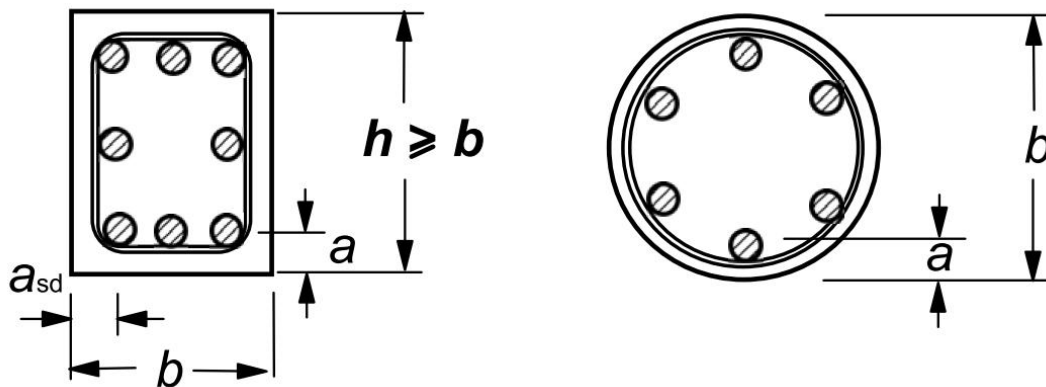
### Sisällysluettelo

1	Betonirakenteiden mitoitus .....	2
1.1	Yleistä.....	2
1.2	Pilarit.....	3
1.3	Seinät .....	4
1.3.1	Ei-kantavat osastoivat seinät.....	4
1.3.2	Kantavat umpiseinät.....	4
1.4	Palomuurit.....	5
1.5	Palkit.....	5
1.5.1	Vapaasti tuetut palkit.....	7
1.5.2	Jatkuvat palkit .....	8
1.5.3	Kaikilta sivuilta altistuva palkki .....	10
1.6	Laatat.....	11
1.6.1	Vapaasti tuetut umpilaatat.....	12
1.6.2	Jatkuvat umpilaatat .....	13
1.6.3	Pilarilaatat .....	14
1.6.4	Ripalaatat.....	15
	LÄHTEET.....	17

## 1 Betonirakenteiden mitoitus

### 1.1 Yleistä

Tulipalotilanteen korkealla lämpötilalla on haitallisia vaikutuksia betonirakenteeseen. Se aiheuttaa raudituksen ja betonin kimmokertoimen ja lujuuden alenemisen ja betonin lohkeamisriskin. Betonirakenteille on käytössä useita palomitoitusmenetelmiä, joista taulukkomitoitus on yksinkertaisin. Taulukoissa esitettävät keskiöetäisyyden vähimmäisarvot ( $a$ , kuva 1) tarkoittavat pääraudoituksen keskipisteen etäisyyttä lähimmäistä palolle alttiista betonipinnasta. Keskiöetäisyys määritetään rakenteessa nimellisten mittojen perusteella ja sen määrittelyssä otetaan huomioon betonipeitteen ( $c_{nom}$ ), hakaraudituksen ( $\emptyset_{haka}$ ) ja mahdollisen asennus raudituksen ( $\emptyset_{työtanko}$ ) ottama tila /1, s. 64-65/.



Kuva 1. Rakenneosien poikkileikkauksia, joista näkyy nimellinen keskiöetäisyys  $a$  /1, s. 37/.

Palkeille ja pilareille asetetaan vain luokan R mukaisia kantavuusvaatimuksia. Seinille ja laatoille voidaan asettaa myös REI mukaisia kantavuusvaatimuksia. Kestoajat asetetaan tavallisesti puolen tunnin välein 30, 60, 90, 120, 180 ja 240min /1, s. 65/.

Tulipalo on onnettomuustilanne, jossa kuormitus ( $E_{d,fi}$ ) on mitoitusääntöjen mukaan pienempi kuin normaalitilanteen kuormitus ( $E_{R,d}$ ). Kuormien suhde eli ns. "mitoituskuormatason pienennyskerroin" on enintään  $\eta_{fi} = 0,7$ . Tämä arvo on varmalla puolella ja sitä on käytetty mitoitusaulukkojen laatimisessa /1, s. 66/.

$$\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \leq 0,7 \quad (1)$$

Mitoitustaulukoihin on lisäksi laskettu arvoja alhaisemmalla kuormitustasolla, joka on ilmaistu suhdeluvulla  $\mu_{fi}$  (=hyväksikäyttöaste palotilanteessa). Seuraavassa yhtälössä suhde  $N_{Ed}/N_{Rd}$  on rakenteen käyttöaste normaali- lämpötilassa /1, s. 66/.

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{\eta_{fi} \cdot N_{Ed}}{N_{Rd}} \quad (2)$$

## 1.2 Pilarit

Eurokoodeissa pilareille on kaksi erilaista palonkestävyyden taulukkomitoitusmenetelmää, menetelmät A ja B. Insinööriyössä käsitellään vain taulukkomitoitusmenetelmää A ja sen ehtoja. Taulukkomitoituksessa A soveltuu vain jäykistettyjen teräsbetoni- ja jännebetonipilareiden palomitoitukseen, jotka ovat pääasiallisesti puristuksen alaisena.

Taulukossa 1 on esitetty menetelmän A mukaiset pilarin vähimmäismitat  $b_{min}$  ja keskiöetäisyyden  $a$  vähimmäisarvot. Pilarin poikkileikkaus voi olla suorakaide tai pyöreä.

Taulukkomitoitusmenetelmän A käytön ehtoina ovat /2, s. 38/:

- nurjahduspituus  $L_{0,fi} \leq 3,0$  m
- kuormituksen epäkeskisyyden palotilanteessa  $e \leq 0,4$  h
- raudituksen määrä  $A_s < 0,04 A_c$

jossa  $h$  pilarin suurempi sivumitta  
 $A_c$  pilarin poikkileikkauspinta-ala

Jäykistetyissä rakennuksissa, joissa vaadittava standardipaloaltistus on yli 30 minuuttia, voidaan nurjahduspituutena  $l_{0,fi}$  käyttää  $0,5 \cdot l$  välikerroksissa ja ylimmissä kerroksissa  $0,5 \cdot l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 \cdot l$ . Kaavassa  $l$  on pilarin todellinen pituus keskeltä keskelle /2, s. 38/.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys $b_{min}$ / päätankojen keskiöetäisyys $a$			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdeltä sivulta			Altistus yhdeltä sivulta
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40*	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*	175/35
R 180	350/45*	350/63*	450/70	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70

\* Vähintään 8 tankoa

Jännitetyille pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

Taulukko 1. Pilarin vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s. 39/

### A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Satakunnankatu 23 A  
 33210 Tampere  
 Puh. 0207 911 777  
 Fax 0207 911 778

E-mail:  
 etunimi.sukunimi@ains.fi  
 Internet:  
 www.ains.fi

### 1.3 Seinät

#### 1.3.1 Ei-kantavat osastoivat seinät

Kun seinän palonkestävyydeltä vaaditaan vain eristävyyskriteerin I tai tiiviykskriteerin E täyttäminen tai molempien täyttämistä, niin edellytetään seinän vähimmäispaksuus olevan taulukon 4 mukainen. Seinän raudoitteen keskiöetäisyyteen ei ole määrääviä tekijöitä. Jos käytetään kalkkipitoisia kiviaineksia, voidaan taulukon 4 mukaisia vähimmäispaksuuksia pienentää 10 % /2, s. 41/.

Seinän vapaan korkeuden suhde seinän paksuuteen on rajoitettu arvoon 40, jotta lämmön aiheuttaman liiallisen muodonmuutoksen ja siitä seuraavan laatan ja seinän välisen tiiviiden menettämisen välttämiseksi /2, s. 41/.

Standardipalonkestävyys	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Taulukko 2. Ei-kantavien seinien (osastoivien seinien) vähimmäispaksuus /2, s. 42/

#### 1.3.2 Kantavat umpiseinät

Kantavilla teräsbetoniseinille voidaan katsoa olevan riittävä palonkestävyys, jos noudatetaan taulukon 3 arvoja /2, s. 42/. Kohdan 2.3.1 ei-kantavien seinien ehdot koskevat myös kantavia umpiseiniä.

Seinän vapaan korkeuden suhde seinän paksuuteen on rajoitettu arvoon 40, jotta lämmön aiheuttaman liiallisen muodonmuutoksen ja siitä seuraavan laatan ja seinän välisen tiiviiden menettämisen välttämiseksi /2, s. 41/.

Taulukon 3 mukaisia seinien vähimmäispaksuuksia voidaan käyttää myös raudoittamattomien betoniseinien kohdalla EN 1992-1-1 luvun 12 mukaan /2, s. 42/

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Seinän paksuus / keskiöetäisyys			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 3. Kantavien betoniseinien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s.42/

### 1.4 Palomuurit

Palomuuuri on pystysuora rakenneosa jolle asetetaan standardin EN 1363 osan 2 mukainen kestävyys. Silloin kun pystysuoralle osastoivalle kantavalle tai ei-kantavalle rakenneosalle asetetaan iskunkestävyysvaatimus M kohtien 2.3.1 ja 2.3.2 lisäksi, edellytetään normaalibetonilta vähintään seuraavia vähimmäispaksuuksia /2, s. 43/:

- 200 mm raudoittamaton seinä
- 140 mm raudoitettu kantava seinä
- 120 mm raudoitettu ei-kantava seinä

Sekä kantavan palomuurin raudoituksen keskiöetäisyyden edellytetään olevan vähintään 25 mm /2, s. 43/.

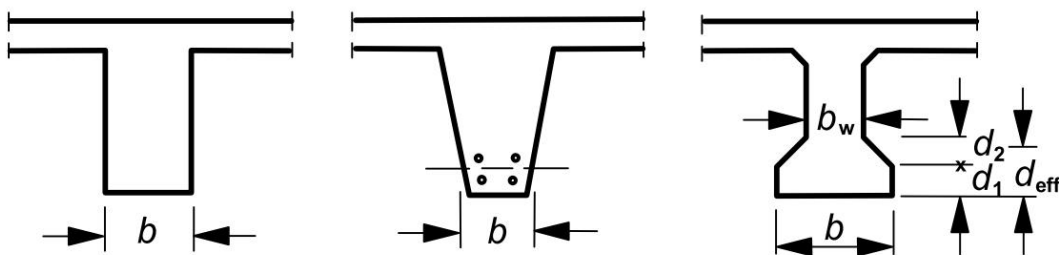
### 1.5 Palkit

Teräsbetoni- ja jännebetonipalkkien vähimmäismitat on esitetty taulukoissa 4 ja 6. Taulukko 4 on laadittu vapaasti tuetuille yksiaukkoisille palkeille ja taulukko 5 on laadittu jatkuville palkeille.

Taulukot 4 ja 5 soveltuvat palkeille, joka voi altistua kolmelta eri sivulta ja on kuvan 12 mukainen poikkileikkaus. Eli yläpinnan eristeenä ovat laatat tai muut rakenneosat, joiden eristävyys jatkuu koko palonkestävyyssajan. Kaikkialta sivuilta altistuva palkki käsitellään luvussa 4.3.3. /2, s. 43/.

Palkin vähimmäismitat on esitetty kuvassa 2 seuraavilla mitoilla:

- palkin leveydelle
- palkin uuman leveydelle
- palkin raudoituksen keskiöetäisyydelle



(a) Vakioleveys (b) Korkeussuunnassa levenevä (c) I-poikkileikkaus

Kuva 2. Erityyppisten palkkipoikkileikkausten mittojen määrittely /2, s.43/

Mahdolliset palkin uuman lävistävät reiät eivät vaikuta palonkestävyyteen, mikäli palkin jäännöspoikkileikkaus ala on kaavan 3 mukainen /2, s. 44/:

$$A_c = 2b_{min}^2 \tag{3}$$

jossa  $A_c$  palkin vetoalueelle jäljelle jäävä poikkileikkauksen ala  
 $b_{min}$  vähimmäisleveys taulukosta 4

Palkeilla joilla on muuttuva poikkileikkaus, niin leveyden vähimmäisarvo  $b$  viittaa vetoraudoituksen painopisteeseen (kuva 2b). I-palkin alalaipan tehollinen korkeus  $d_{eff}$  kuvan 2 ja kaavan 4 mukaan on vähintään /2, s. 43/:

$$d_{eff} = d_1 + 0,5d_2 \geq b_{min} \tag{4}$$

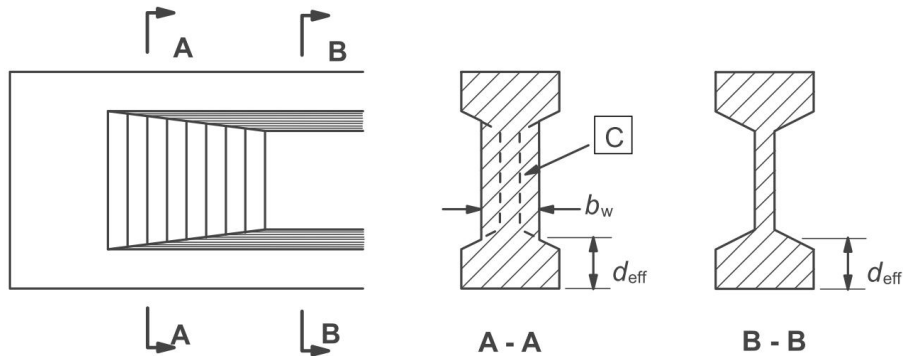
jossa  $b_{min}$  taulukon 2 ja 3 mukainen palkin leveyden vähimmäisarvo

**A-Insinöörit Suunnittelu Oy**

Satakunnankatu 23 A  
 33210 Tampere  
 Puh. 0207 911 777  
 Fax 0207 911 778

E-mail:  
 etunimi.sukunimi@ains.fi  
 Internet:  
 www.ains.fi

Tätä sääntöä ei tarvitse soveltaa, jos todellisen poikkileikkauksen sisään voidaan piirtää kuvitteellinen poikkileikkaus kuten kuvassa 3 on esitetty, joka täyttää palonkestävyyden vähimmäisvaatimukset ja jonka sisällä on koko rauditus /2, s. 43/.



C Kuvitteellinen poikkileikkaus

Kuva 3. Kuvitteellisen poikkileikkauksen vaatimukset täyttävä I-palkki, jolla on muuttuva uuman paksuus  $b_w$  /2, s. 44/

Kun alalaipan todellinen leveys  $b$  on suurempi kuin  $1,4b_w$  ( $b_w$  merkitsee uuman todellista leveyttä) ja  $b \cdot d_{eff} < 2 \cdot b_{min}^2$ , raudituksen tai jänneteräksen keskiöetäisyyttä suurennetaan kaavalla 5 arvoon /2, s. 44/:

$$a_{eff} = a \left( 1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{min}} \cdot \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a \quad (5)$$

jossa  $d_{eff}$  I-palkin alalaipan tehollinen korkeus, kaava 4  
 $b_{min}$  I-palkin vähimmäisleveys taulukon 4 tai 5 mukaan

Näiden lisäksi on esitetty vaatimus nurkkatankojen (tai – jänteen tai – langan) keskiöetäisyydelle  $a_{sd}$ , kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Koska lämpötilakeskittymiä syntyy palkkien alanurkkiin. Palkin leveyden  $b_{min}$  ollessa taulukossa 4 sarakkeen 4 ja taulukossa 5 sarakkeen 3 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa. Muuten  $a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$  /2, s. 44/.

Eurokoodejen palkkien taulukkomitoituksessa on annettu uuman paksuus WA, WB ja WC luokissa. Kussakin maassa käytettävän luokan valinta voidaan esittää kansallisessa liitteessä /2, s. 43/. Suomen kansallisessa liitteessä on valittu luokaksi WC /3/.

**1.5.1 Vapaasti tuetut palkit**

Taulukosta 4 saadaan vapaasti tuettujen palkkien keskiöetäisyyden vähimmäisarvot alapintaan ja sivuihin sekä palkin leveyden vähimmäisarvot standardipalokestävyden ollessa välillä R30...R240.

Standardipalon-kestävyys	Vähimmäismitat (mm)				
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden $a$ ja palkin leveyden $b_{min}$ mahdolliset yhdistelmät				
1	2	3	4	5	6
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	160

$a_{sd} = a + 10$

$a_{sd}$  on nurkkatankojen (tai -jätteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivuilta, kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden  $b_{min}$  ollessa sarakkeen 4 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 4. Vapaasti tuettujen teräsbetoni- ja jännebetonipalkkien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s.46/

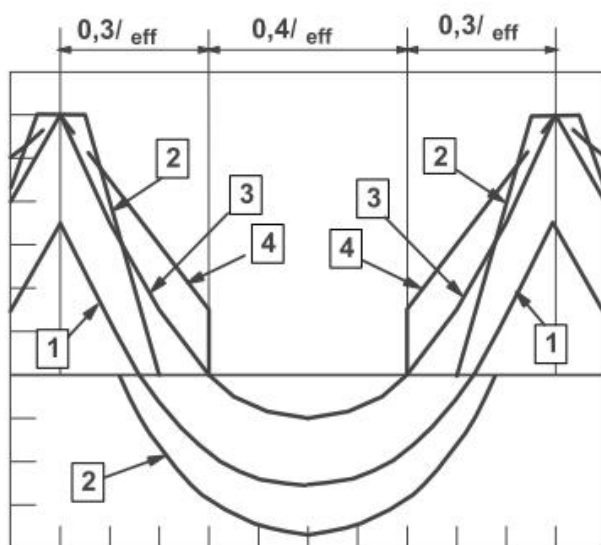
## 1.5.2 Jatkuvat palkit

Taulukosta 5 saadaan jatkuvien palkkien keskiöetäisyyden vähimmäisarvot alapintaan ja sivuihin sekä palkin leveyden vähimmäisarvot standardipalokestävyuden ollessa välillä R30...R240.

Kun palonkestävyys vaatimus on vähintään R90, edellytetään yläpinnan raudoituksen poikkileikkausalan olevan jokaisen välituen kohdalla tuen keskiviivalta etäisyyteen  $0,3 \cdot l_{eff}$  asti (standardin SFS-EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti määritettynä) vähintään kaavan 6 mukainen (kuva 4) /2, s. 44/:

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) * \left(1 - 2,5 * \frac{x}{l_{eff}}\right) \quad (6)$$

jossa	x	etäisyys tarkasteltavasta poikkileikkauksesta tuen keskiviivalle, kun $x \leq 0,3 \cdot l_{eff}$
	$A_{s,req}(0)$	tuen kohdalla tarvittava yläpinnan raudoituksen poikkileikkausala standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti
	$A_{s,req}(x)$	tarkasteltavan tuen keskiviivalta etäisyydellä (x) vaadittava yläpinnan raudoituksen vähimmäisala, mutta vähintään standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaan vaadittu $A_s(x)$
	$l_{eff}$	tehollinen jännemitta, jos viereisten jänteiden tehollinen jännemitta on suurempi, käytetään tätä arvoa



Kuva 4. Tukien lähellä vaadittavan kestävyuden määrittämiseen käytettävä minimi- ja maksimimomenttipintojen yhdistelmä palotilanteessa /2, s. 45/

Selite:

1. Taivutusmomenttipinta palotilanteessa hetkellä  $t = 0$  vaikuttaville kuormille
2. Minim- ja maksimimomenttipintojen yhdistelmä, jonka perusteella taivutuksen edellyttämä vetoraudoitus mitoitetaan standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti
3. Taivutusmomenttipinta palotilanteessa
4. Kaavan 6 edellyttämä minimimomenttipinta, jonka perusteella yläpinnan vähimmäisraudoitus tuen lähellä mitoitetaan.



Standardipalon-kestävyys	Vähimmäismitat (mm)				
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden $a$ ja palkin leveyden $b_{min}$ mahdolliset yhdistelmät				
1	2	3	4	5	6
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$	160 12*			80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12*			100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25	450 35	500 30	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35	550 50	600 40	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	650 60	700 50	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60			160

$$a_{sd} = a + 10$$

$a_{sd}$  on nurkkatankojen (tai -jälteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivuilta, kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden  $b_{min}$  ollessa sarakkeen 4 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä  $a_{sd}$  tarvitse suurentaa.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 5 Jatkuvien teräsbetoni- tai jännebetonipalkkien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s. 47/

Jatkuvan teräsbetonisen palkin leveyttä ja uuman paksuutta tulee leventää ensimmäisellä välituella standardipalonkestävyyksillä R120 – R240 taulukon 6 mukaisesti betonin puristus- ja leikkausmurron estämiseksi, jos kumpikin seuraavan sivun ehdoista pätee /2, s. 48/:

- Reunatuella ei ole taivutuskestävyyttä joko liitoksessa tai palkissa
- $V_{ed} > 2/3V_{Rd,max}$  ensimmäisellä välituella, kun  $V_{Ed}$  on leikkausvoiman mitoitusarvo normaalilämpötilassa ja  $V_{Rd,max}$  on ristikkomallin puristussauvojen leikkauskestävyyden mitoitusarvo standardin EN 1992-1-1 luvun 6 mukaan.

Standardipalonestävyys	Palkin vähimmäisleveys $b_{\min}$ (mm) ja uuman vähimmäispaksuus $b_w$ (mm)
1	2
R 120	220
R 180	380
R 240	480

Taulukko 6. Teräsbetoniset ja jännebetoniset jatkuvat I-palkit; suurennettu palkin leveys ja uuman paksuus /2, s. 48/

### 1.5.3 Kaikilta sivuilta altistuva palkki

Taulukoita 4, 5 ja 6 voidaan käyttää seuraavin ehdoin /2, s. 48/:

- palkin korkeuden edellytetään olevan vähintään vastaava palonestävyyden perusteella vaadittava vähimmäisleveys
- palkin poikkileikkauksen pinta-alaksi  $A_c$  edellytetään vähintään olevan kaavan 9 mukainen

$$A_c = 2 b_{\min}^2 \quad (7)$$

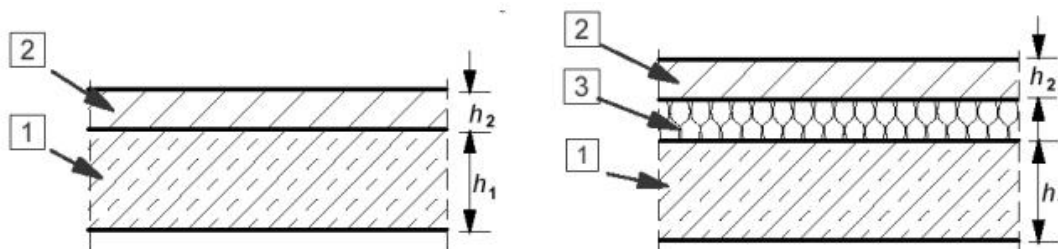
jossa  $b_{\min}$  taulukoiden 4, 5 ja 6 mukainen

## 1.6 Laatat

Taulukoissa 7-10 on esitetty laatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot sekä raudoituksen keskiöetäisyydet  $a$  erikseen yhteen suuntaan kantavalle ja ristiin kantavalle laatalle. Ristiin kantavalle laatalle keskiöetäisyydet on annettu kahdelle jännemittojen suhteen alueelle. Ristiin kantavissa laatoissa keskiöetäisyys  $a$  määritetään pintaa lähempänä olevan raudoituksen mukaan. Taulukoiden mukainen vähimmäispaksuus  $h_s$  takaa riittävän osastoivuuden (kriteerit E ja I). Jos vaaditaan vain kantavuutta (kriteeri R), voidaan käyttää standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisen mitoituksen edellyttämää laatan paksuutta /2, s. 48/.

T-palkkien ja TT-laattojen laippoihin koskee myös kohtien 2.5.1 ja 2.5.2 ehdot /2, s. 48/.

Laattojen paksuudessa otetaan huomioon kantavan laatan lisäksi palamattomat pintakerrokset kuvan 5 ja kaavan 8 mukaisesti.



Kuva 5. Betonilaatta ja lattian pintakerrokset. Kuvassa 1 on betonilaatta, 2 on pintakerros (palamaton) ja 3 on ääneneristys (mahdollisesti palavaa) /2, s. 49/

$$h_s = h_1 + h_2 \quad (8)$$

Jossa	$h_s$	taulukon 7-10 mukainen laatan paksuus
	$h_1$	betonilaatta
	$h_2$	palamaton pintakerros

**1.6.1 Vapaasti tuetut umpilaatat**

Taulukossa 7 on esitetty laatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot, sekä raudoituksen keskiöetäisyyden  $a$  vapaasti tuetun laatan alapinnasta standardipalonkestävyyden ollessa välillä R30 – R240. Ristiin kantavissa laatoissa  $a$  merkitsee raudoituksen alemman kerroksen keskiöetäisyyttä.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Laatan paksuus $h_s$ (mm)	Keskiöetäisyys $a$		
		Yhteen suuntaan kantava	Ristiin kantava	
			$l_y / l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y / l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_y$  ja  $l_x$  ovat ristiin kantavan laatan jänneimitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä  $l_y$  on pitempi jännemitta.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiöetäisyys  $a$  ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

Taulukko 7. Vapaasti tuettujen, yhteen suuntaan kantavien ja ristiin kantavien teräsbetoni- ja jännebetonilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyksien vähimmäisarvot /2, s. 49/

### 1.6.2 Jatkuvat umpilaatat

Taulukon 7 sarakkeiden 2 ja 4 arvoja sovelletaan myös yhteen suuntaan kantaviin ja ristiin kantaviin jatkuviin laattoihin.

Taulukkoa 7 ja seuraavia sääntöjä sovelletaan laatoille, kun momentin uudelleen jakautuminen on normaalilämpötilamitoituksessa enintään 15 %. Ellei momentin uudelleen jakautumista lasketa tarkemmin ja jos uudelleen jakautuminen ylittää 15 % tai jos yksityiskohtien suunnittelussa ei noudateta edellisiä sääntöjä, käsitellään jokais-ta jatkuvan laatan jännettä vapaasti tuettuna laattana käyttämällä taulukon 7 sarakkeita 2, 3, 4 tai 5 /2, s. 50/.

Kun palonkestävyys vaatimus on vähintään R90, edellytetään yläpinnan raudoituksen poikkileikkausalan olevan jokaisen välituen kohdalla tuen keskiviivalta etäisyyteen  $0,3 \cdot l_{\text{eff}}$  asti (standardin SFS-EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti määritettynä) vähintään kaavan 6 mukainen (kuva 4) /2, s. 44/:

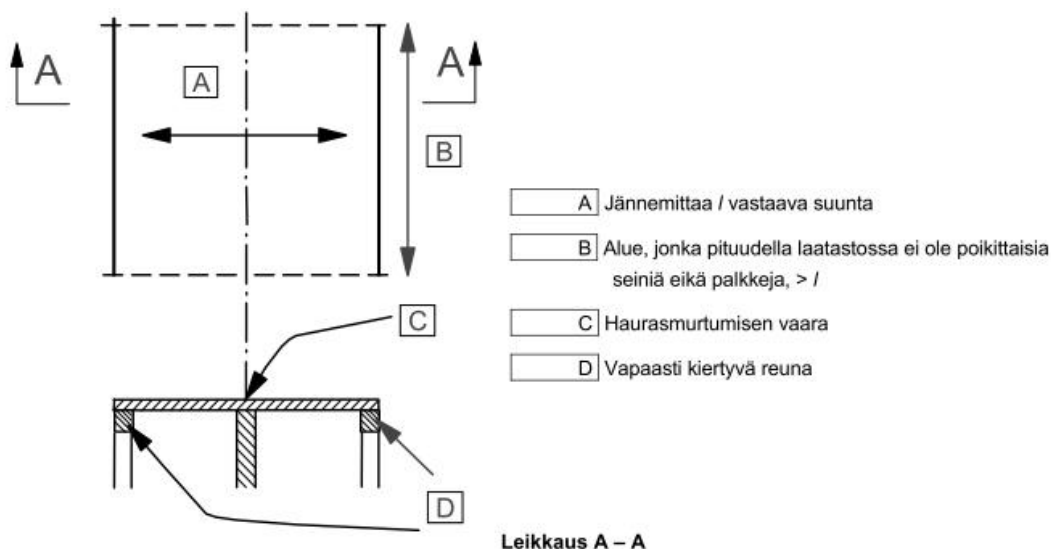
Välituen kohdalla on yläpinnan vähimmäisraudoitus oltava kaavan 9 mukainen, jos jokin seuraavista ehdoista on voimassa /2, s. 50/:

1. Käytetään kylmämuokattua raudoitusta.
2. Kaksiaukkoiset jatkuvat laatat pääsevät vapaasti kiertymään reunatuilla standardin EN 1992-1-1 mitoitussääntöjen mukaan tai asianmukaisten yksityiskohtien suunnittelua koskevien ohjeiden mukaisesti (ks. esim. standardin EN 1992-1-1 lukua 9).
3. Kuormien vaikutukset eivät pääse jakautumaan uudelleen jännemitan suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa kuten esim. poikittaisille seinille tai muille jänteen suuntaisille tuille, joita ei ole otettu huomioon suunnittelussa. (ks. kuva 6)

$$A_s \geq 0,005 A_c$$

(9)

jossa  $A_s$  yläpinnan vähimmäisraudoitus  
 $A_c$  betonin poikkileikkausala



Kuva 6. Laatasto, joissa edellytetään edellisen kaavan 9 mukaista vähimmäisraudoitusta /2, s. 50/

### 1.6.3 Pilarilaatat

Taulukossa 8 on esitetty pilarilaatan paksuuden  $h_s$  vähimmäisarvot, sekä raudoituksen keskiöetäisyyden  $a$  laatan alapintaa lähempänä olevaa raudoitetta standardipalonkestävyyden ollessa välillä R30 – R240.

Kun standardipalonkestävyys on REI 90 tai suurempi, edellytetään, että vähintään 20 % standardin EN 1992-1-1 edellyttämästä yläpinnan kokonaisraudoituksesta välitukien kohdalla kummassakin suunnassa jatkuu koko jännenemitan pituudella. Tämä raudoitus sijoitetaan pilarikaistalle /2, s. 50/.

Edellä mainittua sääntö koskee pilarilaattoja, joissa momentin uudelleen jakautuminen standardin EN 1992-1-1 luvun 5 mukaisesti on enintään 15 %. Muuten keskiöetäisyyksien vähimmäisarvoina käytetään yhteen suuntaan kantavan laatan arvoja (taulukon 7 sarake 3) ja vähimmäispaksuuksia taulukon 8 arvoja /2, s. 50/.

Laatan vähimmäispaksuuksia ei pienennetä (esim. ottamalla lattian pintakerroksia huomioon.) /2, s. 50/.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)	
	Laatan paksuus $h_s$	Keskiöetäisyys $a$
1	2	3
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 8. Teräsbetoni- tai jännebetonipilarilaatan vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s.51/

### 1.6.4 Ripalaatat

Yhteen suuntaan kantavan teräsbetoni- tai jännebetoniripalaatan palonkestävyyden määrittämisessä noudatetaan kohtia 2.4.1 ja 2.4.2 ripojen osalta, sekä kohdan 2.5.2 ja taulukon 7 sarakkeita 2 ja 5 laippojen osalta. Ripalaatoille, joiden rauditus sijoittuu useaan kerrokseen, noudatetaan eurokoodin SFS-1992-1-2 kohtaa 5.2 (15) /2, s. 51/.

Ristiin kantavalla teräsbetoni- tai jännebetoniripalaatalla voidaan katsoa olevan riittävä palonkestävyys, jos käytetään taulukoiden 9 ja 10 arvoja. Jatkuvissa ripalaatoissa yläpinnan rauditus sijoitetaan laipan yläpuoliskoon.

Taulukot 9 ja 10 arvot ovat voimassa ripalaatoille, joihin kohdistuu pääasiassa tasaisesti jakautunutta kuormaa.

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Ripojen leveyden $b_{\min}$ ja keskiöetäisyyden $a$ mahdollisia yhdistelmiä			Laatan paksuus $h_s$ ja keskiöetäisyys $a$ laipassa
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 15^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 35$	120 25	$\geq 200$ 15*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 45$	160 40	$\geq 250$ 30	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 60$	190 55	$\geq 300$ 40	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 220$ $a = 75$	260 70	$\geq 410$ 60	$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 75	$\geq 500$ 70	$h_s = 175$ $a = 40$

$a_{sd} = a + 10$   
 $a_{sd}$  merkitsee raudituksen keskiön ja rivan palolle altistuneen poikittaisen pinnan välistä etäisyyttä.

Jännitetyille pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 9. Vapaasti tuettujen, ristiin kantavien teräsbetoni- ja jännebetoniripalaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s. 52/

Standardipalon-kestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Ripojen leveyden $b_{min}$ ja keskiöetäisyyden $a$ mahdollisia yhdistelmiä			Laatan paksuus $h_s$ ja keskiöetäisyys $a$ laipassa
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{min} = 80$ $a = 10^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{min} = 100$ $a = 25$	120 15*	$\geq 200$ 10*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{min} = 120$ $a = 35$	160 25	$\geq 250$ 15*	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{min} = 160$ $a = 45$	190 40	$\geq 300$ 30	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h_s = 175$ $a = 40$

$a_{sd} = a + 10$

$a_{sd}$  merkitsee raudituksen keskiön ja rivan palolle altistuneen poikittaisen pinnan välistä etäisyyttä.

Jännitetyille pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

\* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Taulukko 10. Ristiin kantavien, teräsbetoni- ja jännebetoniripalaattojen, joilla on ainakin yksi jäykästi kiinnitetty reuna, vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot /2, s. 53/



**LÄHTEET**

- 1 Suomen Betoniyhdistys ry, 2005. **Betonitekniikan oppikirja by 201.** Jyväskylä:Gummerus Kirjapaino Oy
- 2 **SFS-EN 1992-1-2 + AC. Eurocode 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus 2004** Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 25.08.2015.
- 3 **Ympäristöministeriön asetus Eurocode –standardien soveltamisesta talonrakentamisessa, liite 8. 2007. 15.10.2007**