

Kati Forsblom

Rakenteellinen palomitoitus eurokoodeilla korjaushankkeessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Rakennustekniikka
Opinnäytetyö
29.4.2011

Tekijä(t) Otsikko	Kati Forsblom Rakenteellinen palomitoitus eurokoodeilla korjaushankkeessa
Sivumäärä Aika	63 sivua + 3 liitettä 29.4.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	tiimipäällikkö Timo Salmi lehtori Jouni Kalliomäki
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää palomitoitusta eurokoodeilla ja palomitoituksen erityispiirteitä korjausrakentamisen suunnittelussa. Lisäksi haluttiin tutkia toiminnallisen palomitoituksen työvälineiden soveltuvuutta rakennesuunnittelijan käyttöön. Osatavoitteena oli myös syventää opinnäytetyön tekijän ymmärrystä aiheeseen, sekä selvittää eurokoodien soveltuvuutta korjauskohteen suunnitteluun.</p> <p>Tutkimuksia tehtiin pääosin kirjallisuustutkimuksena, mutta sen tukena haastateltiin myös pääkaupunkiseudun viranomaisedustajia ja paloteknisen suunnittelun asiantuntijaa. Lisäksi suoritettiin kyselytutkimus rakennesuunnittelijoille, jotka tekevät palomitoitusta päivittäisessä työssään.</p> <p>Toiminnallisen palomitoituksen välineistä tässä insinööriyössä tutkittiin ainoastaan vyöhykemalliohjelma OZone V2:sta. Eurokoodien mukaisen palomitoituksen tarkastelut puolestaan rajattiin teräkseen ja teräsbetoniin. Puun palomitoitus eurokoodeilla tarkasteltiin vain periaatetasolla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laaja yhteenveto palomitoituksen periaatteista niin eurokoodeilla kuin toiminnallisilla menetelmilläkin. Insinööriyössä on esitelty tiivistettynä OZone V2:n käyttöä ja sen käyttörajoituksia esimerkkikohteen avulla. Tutkimukset osoittivat, että tämä ohjelma soveltuisi erinomaisesti rakennesuunnittelijan käyttöön, kunhan käyttäjän riittävä pätevyys toiminnalliseen mitoitukseen pystytään osoittamaan viranomaisille.</p> <p>Insinööriyön tulosten perusteella voidaan todeta, että eurokoodien mukainen suunnittelu on todennäköisesti laajentumassa uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamisen puolelle. Tämä tulee olemaan tosin pitkä ja hidas prosessi. Lisäksi tutkimuksissa saatiin selville viranomaisten selvä kanta, jonka mukaan toiminnallinen palotekninen suunnittelu on erikoissuunnittelua, joka vaatii omat erityisosaajansa.</p>	
Avainsanat	palomitoitus, eurokoodit, toiminnallinen palomitoitus, korjausrakentaminen, palosimulointi

Author(s) Title	Kati Forsblom Structural Fire Design with Eurocodes in Renovation Project
Number of Pages Date	63 pages + 3 appendices 29 April 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Timo Salmi, Design Manager Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer
<p>The aim of this thesis was to find out the principles of fire design with Eurocodes, and the special characteristics of fire design in designing of renovation projects. In addition, another objective was to examine, whether it is possible for a structural engineer to use tools of functional fire design. Moreover, the ambition was that the writer of this thesis will, after conducting these studies, gain a better understanding on the concept of fire design. Also a need to discover, if Eurocodes are suitable for the designing of a renovation project, existed.</p> <p>The main research method was literary research but also an empirical approach was taken by conducting interviews. Interviews were made with authorities of the metropolitan area and specialist of fire engineering. Also a survey was made among structural engineers, who are involved with structural fire design in their daily duties.</p> <p>In this thesis only one functional fire designing tool OZone V2, was studied. The studies of structural fire design with Eurocodes were defined merely for concrete and steel. Studies with wood were merely superficial.</p> <p>As a finding of this thesis, the principles of structural fire design with Eurocodes and the functional methods were summarized thoroughly. The utilization of OZone V2 is demonstrated in this report using an example-case. Also, restrictions on use are examined. The studies showed that structural engineers could use this functional fire-designing tool without unreasonable conversance to the subject. The only condition of the usage is that the engineer's proficiency in functional fire design is proved to the authorities.</p> <p>According to these studies Eurocodes are becoming also the design code of renovation. This will be, indeed, a very long and slow process. Studies furthermore illustrate, that authorities all agree, that functional fire design is specialized designing, which needs its own specialists.</p>	
Keywords	fire design, Eurocodes, functional fire design, renovation, fire simulation

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Termit ja määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Yritys	1
1.2	Aihe ja tavoitteet	1
1.3	Työn rajaukset	2
1.4	Tutkimusmenetelmät	2
2	Paloturvallisuus	3
2.1	Paloturvallisuuden suunnittelu	3
2.2	Paloturvallisuus rakennusaikana	4
2.3	Paloturvallisuus korjauskohteessa	4
2.4	Rakennuksen suojaustasoa parantavat toimenpiteet	5
3	Rakenteellinen palomitoitus	5
3.1	Palomitoituksen periaatteet	6
3.2	Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuva käsittelytapa	7
3.3	Toimivuuteen perustuva käsittelytapa	8
3.4	Tarkasteltavat kuormitukset	9
3.5	Palosimulaatioiden hyödyntäminen mitoituksessa	10
3.6	Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen palomitoitus	11
4	Betonirakenteiden palomitoitus	12
4.1	Suunnitteluperusteet	12
4.2	Materiaaliominaisuudet	13
4.3	Mitoitusmenetelmät	16
4.4	Taulukkomitoitus	16
5	Teräsrakenteiden palomitoitus	19
5.1	Suunnitteluperusteet	19
5.2	Materiaaliominaisuudet	20
5.3	Mitoitusmenetelmät	23

6	Puurakenteiden palomitoitus	24
6.1	Suunnitteluperusteet	24
6.2	Materiaaliominaisuudet	25
6.3	Mitoitusmenetelmät	25
7	Korjaushankkeen palomitoituksen suunnittelu	26
7.1	Erytispiirteet	26
7.2	Palomääräyksien kehitys	26
7.3	Noudatettavat standardit ja ohjeistukset	28
7.4	Suunnittelun haasteet	29
7.5	Suojellut kohteet	30
8	Toiminnallinen palomitoitus	31
8.1	Käytetyt termit	31
8.2	Periaatteet	32
8.3	Käyttökohteet	35
8.4	Palonkehityksen laskentamenetelmät	36
8.5	OZone-vyöhykemalliohjelma	37
8.6	Toiminnallisen palomitoituksen hyväksyttävyyys	40
9	Mitoitusmenetelmien vertailu	41
9.1	Esimerkkikohde	41
9.2	Kuormitukset	42
9.3	B7:n mukainen palomitoitus	43
9.4	Eurokoodiin perustuva mitoitus OZone-ohjelman avulla	46
9.5	Tulosten vertailu	52
9.6	Jatkolaskelmat OZonella	53
10	Paloturvallisuussuunnittelu tulevaisuudessa	56
10.1	Eurokoodit	56
10.2	Kestävän kehityksen periaatteet	57
10.3	Teknologian kehittyminen	58
10.4	Koulutus	58
10.5	Korjausrakentamisen lisääntyminen	59
11	Yhteenveto	60
11.1	Tulokset	60

11.2 Virhetekijät ja muita huomioita	61
Lähteet	62
Liitteet	
Liite 1. Kyselytutkimuslomake	
Liite 2. HI360-palkin laskentaraaportti	
Liite 3. HEB220-pilarin laskentaraaportti	

Termit ja määritelmät

Hiilivetykäyrä	Nimellinen lämpötila-aikakäyrä, joka esittää hiilivedyn palamiselle tyypillisiä vaikutuksia.
Huonepalo	Huoneen sisällä tapahtuva tulipalo.
Kaksivyöhykemalli	Palomalli, jossa palotilaan määritellään erilaisia vyöhykkeitä: ylempi kerros, alempi kerros, palopatsas eli liekkialue ja siitä lähtevä savupatsas, ulkopuolinen kaasu ja seinät; ylempään kerrokseen oletetaan homogeeninen kaasun lämpötila.
Kehittynyt palomalli	Mitoituspalo, joka perustuu massan säilymisen ja energian säilymisen periaatteisiin.
Kenttämalli	Palosimuloinnissa käytetty kehittynyt laskentamalli, jonka avulla pystytään mm. mallintamaan suuria pyörteitä. Yleisimmin käytetty kenttämalliohjelma on FDS-simulaattori.
Lieskahdus	Palotilan kaiken palokuorman samanaikainen syttyminen.
Lämpötila-analyysi	Menettelytapa, jolla määritetään lämpötilan kehittyminen rakenneosissa lämpörasitusten (nettolämpövuon), rakenneosan materiaalien ja mahdollisten suojaverhousmateriaalien termisten ominaisuuksien perusteella.
Mitoituspalo	Mitoittamista varten oletettu palon kehittymisen määrittely.
Nimellispalo	Sovittuun lämpötila-aikakäyrään perustuva paloaltistus, jota käytetään palonkestävyyden luokitukseen tai osoittamiseen. Esim. standardipalo, ulkopuolinen palo tai hiilivetypalo.

Normaalilämpötila- mitoitus	Murtorajatilamitointus tavanomaisen lämpötilan vallitessa standardin prEN 1992...prEN 1996 tai prEN 1999 osan 1-1 mukaan.
Oletettu palonkehitys	Määrätyissä olosuhteissa odotettavissa oleva tulipalon kehittyminen. Käytetään myös nimitystä toimivuuteen perustuva palonkehitys.
Palokuorma	Kaikki palotilassa oleva palava materiaali (irtaimisto ja rakennuksen osat) ja siitä vapautuvan lämpöenergian määrä materiaalin palaessa täydellisesti.
Palomuri	Osastoiva rakennusosa, joka on kahta tilaa (esim. kahta rakennusta) erottava seinä, joka mitoitetaan palonkestävyyden ja rakenteen stabiiliuden kannalta ja joka pystyy kestämään vaakasuuntaista kuormitusta siten, että tulipalon sattuessa ja seinän toisella puolella olevan rakenteen sortuessa palon leviäminen seinän toiselle puolelle estyy.
Palotila	Tila, jossa tulipalo ajatellaan syttyvän.
Palon aiheuttamat välilliset kuormat	Lämpölaajenemisen estymisestä aiheutuvat voimasuureet.
Palonkestävyys	Rakenteen, rakenteen osan tai rakenneosan kyky täyttää määritellyn ajan siltä vaaditut tehtävät (kantavuusvaatimus tai palonosastoivuusvaatimus tai molemmat) määritellyn kuormitustason ja määritellyn paloaltistuksen vallitessa.
Palo-osasto	Rakennuksen sisäpuolinen tila, joka ulottuu yhteen tai useaan kerrokseen ja jota osastoivat rakennusosat rajoittavat siten, että palon leviäminen osaston ulkopuolelle ei kyseisen paloaltistuksen aikana ole mahdollinen.

Palopatsasmalli	Palotehon ja kuumien kaasujen noustessa syntyvä palopatsas, jota käytetään mallintamaan paloa tietokoneavusteisessa laskennassa. Esim. Heskestadin palopatsasmalli.
Paloskenaario	Palon kehittymistä ajan mukana esittävä kvalitatiivinen kuvaus, jossa on havaittavissa palolle ominaiset avaintapahtumat ja joka erottaa sen muista mahdollisista paloista; siinä määritellään tyypillisesti syttymis- ja palonkehittymisprosessi, täyden palamisen vaihe ja hiipumisvaihe sekä rakennusympäristö ja järjestelmät, jotka vaikuttavat palon kulkuun.
Parametrinen paloaltistus	Palomallien ja tiettyjen fysikaalisten parametrien perusteella määritellyt palotilan olosuhteet, joita käytetään palokestävyyden luokitukseen tai osoittamiseen
Passiiviset palontorjuntatoimenpiteet	Rakenteelliset palontorjuntatoimet, kuten osastointi ja riittävät poistumisetäisyydet.
Standardipalo	ISO 834 -käyrän mukainen paloaltistus, johon taulukkopalomitoituksen arvot yleensä perustuvat.
Ulkopuolisen palon käyrä	Nimellinen lämpötila-aikakäyrä, joka on tarkoitettu osastoivien ulkoseinien ulkopuolta varten. Palolle altistuminen voi tapahtua julkisivun eri osista, eli suoraan kyseisen palotilan sisäpuolelta tai palotilasta, joka sijaitsee asianomaisen ulkoseinän alapuolella tai vieressä.
Yksinkertainen palomalli	Mitoituspalo, joka perustuu siihen, että tiettyjen fysikaalisten parametrien käyttöä rajoitetaan.
Yksivöhykemalli	Palomalli, jossa palotilan lämpötila oletetaan homogeeniseksi.

[1, s. 18–24.]

1 Johdanto

1.1 Yritys

Pöyry Finland Oy on osa maailmanlaajuista Pöyry-konsernia. Pöyry Finland Oy kuuluu Kaupunki- ja liikenne -liiketoimintaryhmään, jonka palveluihin kuuluvat mm. väylä- ja infrasuunnittelu, kaupunki- ja aluesuunnittelu, arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikka-suunnittelu. Tämä insinööriyö tehdään Pöyry Finland Oy:n rakennesuunnittelun yksikölle.

Pöyry on kansainvälinen konsultointi- ja suunnittelutoimisto, jonka palvelutarjonta Suomessa kattaa kaikki konsernin ydinosamisalueet; energia, metsäteollisuus, kemian prosessiteollisuus, liikennejärjestelmät ja infrarakentaminen, vesi- ja ympäristö- sekä rakentamispalvelut. [2.]

Toimeksiannot ulottuvat aina yksittäisistä konsultointitehtävistä suuriin kehitys- ja investointihankkeisiin. Kestävän kehityksen periaatteet ohjaavat vahvasti yrityksen suunnittelu- ja konsultointitoimintaa. Toimintaperiaatteisiin kuuluu toteuttaa projektit aikataulussa ja budjetissaan pysyen. [2.]

Pöyry palvelee niin kaupallista, teollista kuin julkistakin sektoria sekä uudis- että korjausrakennuskohteissa. Suunnittelupalveluiden lisäksi yritys tarjoaa rakennuttamispalveluita. Pöyryn rakentamispalvelut toimivat Suomen lisäksi lähialueilla ja Kiinassa. [2.]

1.2 Aihe ja tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää rakenteellisen palomitoituksen periaatteita eurokoodeilla ja palomitoituksen erityispiirteitä korjausrakentamisen suunnittelussa. Aiheen valintaan vaikuttivat erityisesti opinnäytetyön tekijän kiinnostus paloasioihin, sekä yrityksen tarve kartoittaa eurokoodien soveltuvuutta korjaussuunnitteluun palomitoituksen osalta.

Työn lisätavoitteena on selvittää toiminnallisen palomitoituksen menetelmiä ja niissä käytettyjen työkalujen, kuten palosimulointiohjelmien hyödyntämistä rakennepuolen

suunnittelussa. Työn tavoitteena on myös, että opinnäytetyön tekijä ymmärtää syvällisemmin palomitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ja itse mitoitusta.

1.3 Työn rajaukset

Tässä työssä keskitytään pääsääntöisesti vain rakenteelliseen palomitoitukseen. Toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun käytäntöjä tarkastellaan sen verran kuin työn kannalta on tarpeen.

Tarkasteltavat materiaalit on rajattu teräsbetoniin ja teräkseen. Puun palomitoitusta käydään läpi vain periaatetasolla. Teräsrakenteiden osalta tehdyissä tutkimuksissa on tarkasteltu vain suojaamatonta teräsrakennetta; palosuojattu rakenne on jätetty tarkastelujen ulkopuolelle. Toiminnallisen palomitoituksen työkaluista on tutkittu vain vyöhykemalliohjelma-OZonen käyttöä. Muita mahdollisia ohjelmia ei ole tarkasteltu.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Työssä suoritetaan laaja kirjallisuustutkimus, jonka avulla perehdytään eurokoodien mukaiseen palomitoitukseen, OZonen käyttöön ja toimintaperiaatteisiin sekä toiminnalliseen palomitoitukseen.

Lisäksi tehdään viranomaishaastattelut Espoon, Helsingin ja Vantaan rakennusvalvontaviranomaisille. Työtä varten haastatellaan myös pelastusviranomaisen edustajaa sekä palokonsulttia. Haastattelujen tarkoituksena on kartoittaa paloturvallisuussuunnittelun nykytilannetta, rakennesuunnittelijan mahdollisuuksia tehdä toiminnallista palomitoitusta ja eurokoodien käyttöönoton vaikutusta paloasioihin. Haastattelujen avulla opinnäytetyön tekijä pyrkii saamaan myös mahdollisimman laajan ja monipuolisen käsityksen palosuunnittelusta yleensä.

Kirjallisuustutkimuksen ja haastattelujen lisäksi suoritetaan kyselytutkimus rakennesuunnittelijoille. Kyselyn tarkoituksena on kartoittaa mm. millaisia palosuunnittelutehtäviä rakennesuunnittelija joutuu tekemään päivittäisessä työssään, millaisia työvälineitä suunnittelun apuna käytetään ja kuinka hyvin suunnittelijat tuntevat palomitoitusta eurokodeilla. Kyselyn avulla kartoitetaan myös koulutustarvetta ko. asioihin liittyen.

2 Paloturvallisuus

Rakennuksen paloturvallisuus on yksi tärkeimmistä rakennukselle asetettavista vaatimuksista, heti kantavuuden jälkeen. Hyvällä paloturvallisuudella halutaan välttyä ensisijaisesti henkilövahingoilta, mutta sen avulla voidaan välttää myös monet muut vahingot. Omaisuuden ja ympäristön suojeleminen ovat tärkeitä motiiveja panostaa rakennuksen paloturvallisuuteen. Paloturvallisuudella halutaan myös turvata yhteiskunnan tärkeitä toimintoja, kuten tietoliikenneyhteyksiä. [3, s. 12–15.]

Kaavoituksella asetetaan ensimmäiset edellytykset rakennusten paloturvallisuudelle. Rakennusten rakenteellinen paloturvallisuus määritellään jo suunnitteluvaiheessa. Rakenteet suunnitellaan siten, että ne kestävät tulipalon aiheuttamat rasitukset tietyn, ennalta määrätyn ajan. Palosuunnittelu ei kohdistu pelkästään rakenteiden mitoittamiseen, vaan koko rakennuksen perinpohjaiseen suunnitteluun. Paloturvallisuuden takaamiseksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 määrätään mm. ovien aukeamissuunnista, poistumisteiden leveydestä, varateiden määrästä jne. Paloturvallisuus määrittelee siis suurelta osin koko rakennuksen.

Paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa myös suunnittelun lisäksi, parantamalla suojaustasoa teknisin keinoin. Nämä ennakoivat palontorjuntatoimenpiteet, kuten automaattiset sammutuslaitteistot ja paloilmotitimet, voivat jopa vähentää rakenteellisen suojauksen tarvetta. Korjausrakentamisessa näiden suojauskeinojen käyttö korostuu, jos rakenteellisia palosuojauskeinoja ei pystytä tekemään.

2.1 Paloturvallisuuden suunnittelu

Paloturvallisuuden suunnittelu perustuu erilaisten riskien arvioimiseen ja niihin varautumiseen. Ns. riskianalyyssissä arvioidaan paloriskien suuruutta ja todennäköisyyttä. Apuvälineinä voidaan käyttää mm. tapahtuma- ja vikapuita, joiden avulla tarkastellaan odotettavissa olevaa tapahtumaketjua tai syy-seuraussuhteita, jotka johtavat tutkittavaan ei-toivottuun tapahtumaan. Riskianalyyssissä tulee tarkastella kaikki odotettavissa olevat vahinkoketjut. [3, s. 15–18.]

Paloriskien lisäksi arvioidaan henkilö-, omaisuus- ja keskeytysriskejä. Henkilöriskejä arvioidaan sen mukaan, kuinka todennäköisesti henkilöt altistuvat vaaratekijöille. Nä-

kökulmina voidaan käyttää poistumisen estymistä tai poistumisen aikana sattuvia tapaturmia. Poistumismahdollisuuksia arvioitaessa huomioidaan mm. ihmisten liikuntakyky ja palon havaitsemisen edellytykset. Henkilöriskejä arvioitaessa huomioidaan myös sammutus- ja pelastushenkilöstön altistuminen vaaratekijöille. [3, s. 18–19.]

Paloriskien arviointi voidaan kokonaisuudessaan jakaa kahteen eri päätasoon: suuronnettomuuksien välttämiseen ja vahinkokustannusten minimointiin. Ajallisesti riskien arvioinnissa tarkastellaan rakennuksen koko suunniteltua käyttöaika aina rakentamisesta purkamiseen. [3, s. 19–22.]

Arvioiduilla paloriskeillä pystytään selvittämään kohteen onnettomuusmitoitustilanne [1, s. 36], jonka perusteella määräytyy se, millainen varmuustaso rakenteelle valitaan. Isoissa kohteissa, joissa riskit ovat suuret, tarvitaan luonnollisesti enemmän varmuutta kuin pienemmissä, vähemmän riskejä sisältävässä kohteessa.

2.2 Paloturvallisuus rakennusaikana

Rakennuksen suunnittelu paloturvalliseksi ei pelkästään riitä suojelemaan rakennusta mahdollisilta vahingoilta. Itse asiassa rakennuksen syttymisriski on erittäin suuri juuri sen rakennusaikana. Työmaan paloturvallisuus on siis erittäin merkittävä tekijä palosuojelussa.

Työmaan paloturvallisuuteen voidaan vaikuttaa niin henkilöstön koulutuksella kuin oikealla kalustollakin. Tulityökortit, alkusammutuskalustot, työmaan puhtaanapito ja määräysten ja ohjeiden noudattaminen ovat kaikki osa valmistuvan rakennuksen paloturvallisuutta. [4, s. 14–15.]

2.3 Paloturvallisuus korjauskohteessa

Korjaustyön aikana rakennuksen syttymisriski on myös erityisen suuri, sillä rakennuksen paloturvallisuus on usein heikoimmillaan juuri tällöin. Mahdollisen palon syttymis- ja leviämisvaara on oleellinen, sillä korjausrakentamisessa mm. alkuperäiset rakennusmateriaalit voivat olla uudisrakentamisessa käytettäviä materiaaleja herkemmin syttyviä. Myös palo-osastointi on työmaa-aikana usein puutteellinen, samoin suojaustaso. [4, s. 14–15.]

Korjaustyönaikaista paloturvallisuutta parannetaan samoin keinoin kuin uudisrakentamisessa. Työmaan hyvään järjestykseen ja puhtaanapitoon tulee kiinnittää erityistä huomiota korjauskohteessa. Normaalikäytössä olevien tilojen erottaminen paloturvallisesti työmaatiloista on merkittävä ero korjaus- ja uudiskohteen välillä. Myös asianmukaisen vartiointin merkitys korostuu. [4, s. 14–15.]

2.4 Rakennuksen suojaustasoa parantavat toimenpiteet

Rakennuksen suojaustasoa voidaan parantaa, rakenteellisten seikkojen lisäksi, myös erilaisin automaatiojärjestelmin. Tällaisia järjestelmiä ovat mm. jo aiemmin mainitut, automaattiset sammutus- ja paloilmoinjärjestelmät. Myös erilaiset savunpoistojärjestelmät parantavat rakennuksen suojaustasoa.

Automaatiojärjestelmien merkitys korostuu suurissa kohteissa, joissa mahdollisesti syttyvä palo voisi johtaa merkittäviin vaaratilanteisiin. Julkiset rakennukset, kuten kaupakeskukset ja sairaalat ovat hyviä esimerkkejä rakennuksista, joissa rakennuksen riittävään suojaustasoon ei päästä pelkillä rakenteellisilla ratkaisuilla.

3 Rakenteellinen palomitoitus

Maankäyttö- ja rakennuslaki vaatii rakennukselta paloturvallisuutta. Myös korjaus- ja muutostyöltä edellytetään, että käyttäjien turvallisuus tai terveydelliset olot eivät vaarannu. [5.] Rakenteellinen palomitoitus on osa rakennuksen palosuojelua, jolla pyritään rajoittamaan tulipalotilanteeseen liittyviä riskejä. Rakennustuotedirektiivin 89/106/ETY mukaan rakennuskohde on suunniteltava ja rakennettava siten, että [1, s. 10]:

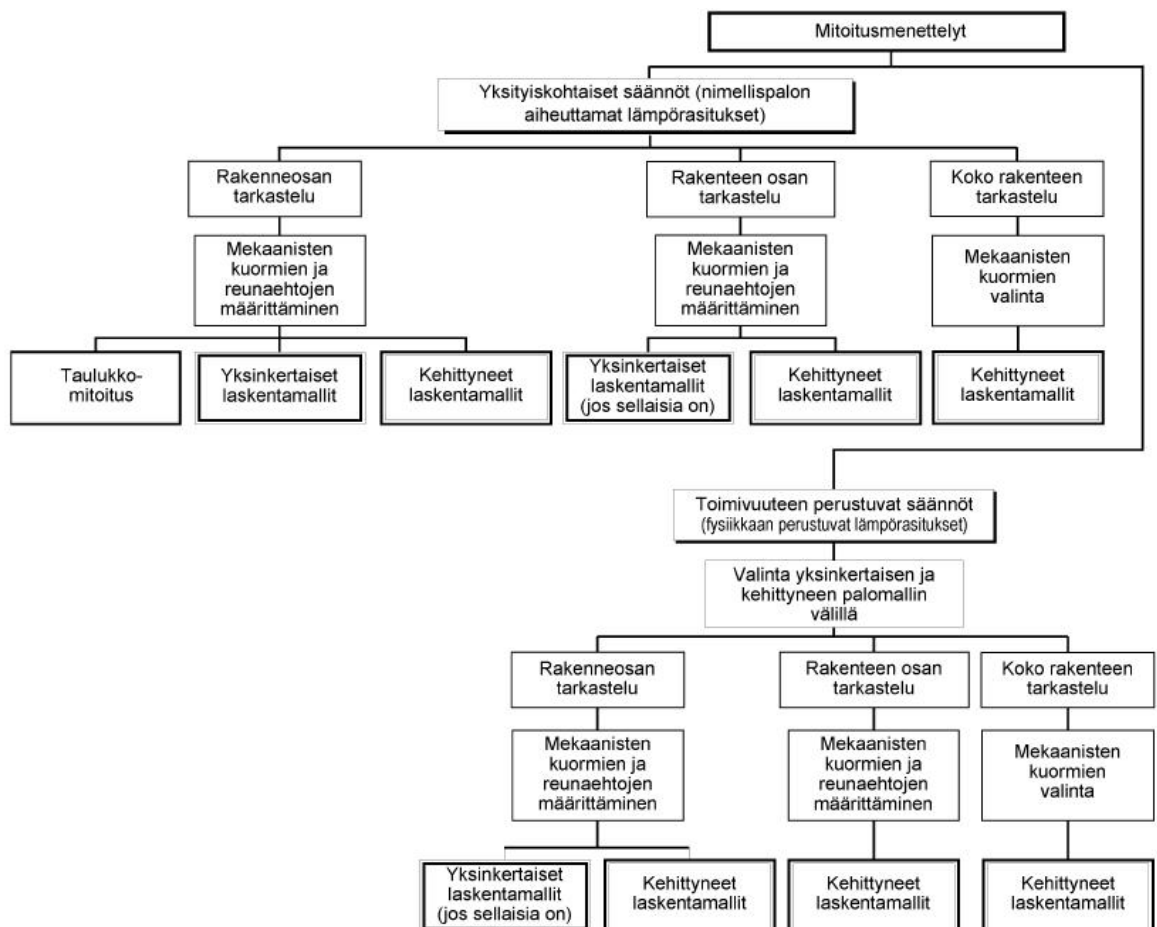
kantavien rakenteiden voidaan olettaa kestävän tietyn ajan, tulen ja savun kehittyminen ja leviäminen rakennuksen sisällä on rajoitettu, tulen leviäminen naapurirakennuksiin on rajoitettu, henkilöt pääsevät poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muilla keinoilla, pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon.

Kantavien rakenteiden palomitoituksen ja ulkoisten palosuojausmenetelmien avulla rakennuksiin ja henkilöihin kohdistuvat vahingot voidaan välttää tai niitä voidaan huomattavasti pienentää. Luvuissa 3.1 – 3.4 käydään läpi palomitoitusta eurokoodeilla.

3.1 Palomitoituksen periaatteet

Eurokoodi käyttää kantavien rakenteiden palomitoituksessa kahta erilaista menettelytapaa. Toisessa menettelytavassa rakenteisiin kohdistuvan lämpörasituksen selvittämiseen käytetään ns. standardipaloa. Tätä menettelyä kutsutaan yksityiskohtaisten sääntöjen menettelytavaksi. Toinen tapa määrittää rakenteisiin kohdistuvat lämpörasitukset fysikaalisten ja kemiallisten parametrien perusteella. Tätä käsittelytapaa kutsutaan toimivuuteen perustuvien sääntöjen menettelyksi. [1, s. 10–12.]

Molemmista tavoissa tarkastelut voidaan jakaa rakenneosalle, rakenteen osalle tai koko rakenteelle. Tarkasteltaessa lämpörasituksia toimivuuteen perustuvilla säännöillä joudataan valitsemaan joko yksinkertainen tai kehittynyt palomalli. Nykyään erilaiset tietokoneohjelmat ovat mahdollistaneet kehittyneiden palomallien laajemman käytön. Kuvio 1 havainnollistaa eurokoodien eri mitoitusmenettelyvaihtoehtoja palomitoituksessa. [1, s.10–12.]



Kuvio 1. Vaihtoehtoiset mitoitusmenettelyt [1, s. 12].

Rakenteille suoritetaan palomitoitusanalyysi, joka huomioi tarpeen mukaan mm. rakenneosien sisällä tapahtuvan lämpötilan kehityksen sekä palavan rakenteen mekaanisen toiminnan. Analyysissä valitaan kaikki kyseeseen tulevat mitoituspalo-kuormat ja niitä vastaavat mitoituspalo-tilanteet. Mitoituspalo-kuormien ajatellaan kohdistuvan vain yhteen palotilaan kerrallaan. Rakenteille, joille on määritelty palonkestävyysvaatimukset, voidaan mitoituspalo-kuormaa käyttää standardipaloa, ellei toisin edellytetä. Tulipalossa syntyvät rakenteiden kuormat luokitetaan onnettomuuskuormiksi. [1, s. 36.]

Rakenneosan lämpötila-analyysissä tulee ottaa huomioon mitoituspalon sijainti rakenneosan suhteen. Se, mistä suunnasta paloaltistus tulee, vaikuttaa oleellisesti rakenteen mitoitukseen. Jos mitoituspalo-kuormaa käytetään nimellistä lämpötila-aikakäyrää, rakenneosien lämpötila-analyysi tehdään määritellylle ajalle niin, että jäähtymisvaihe jätetään huomioimatta. Jäähtymisvaihe huomioidaan, mikäli käytetään muita palomalleja, kuten huonepaloa. [1, s. 36, 42.] Rakenteen mekaaninen analyysi tehdään samalle kestoajalle kuin lämpötila-analyysi. Tarkastelusuurena voidaan käyttää joko aikaa, lujuutta tai lämpötilaa. Kaava 1 on esimerkki lujuuden mitoitusehdosta. [1, s. 38.]

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \quad (1)$$

$R_{fi,d,t}$ on rakenneosan kestävyuden mitoitusarvo palotilanteessa hetkellä t

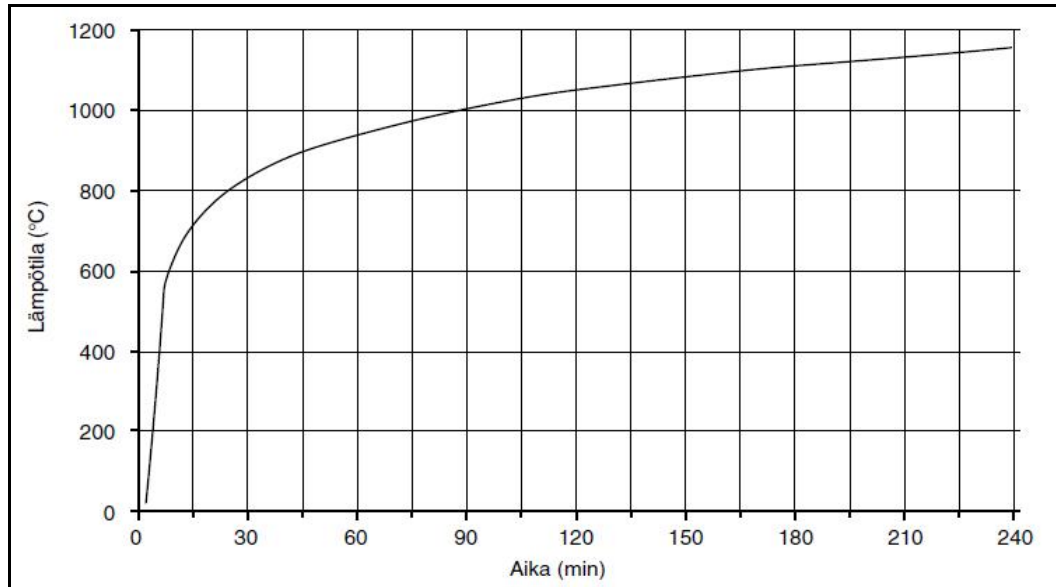
$E_{fi,d,t}$ on asianomaisen kuorman vaikutuksen mitoitusarvo palotilanteessa hetkellä t

3.2 Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuva käsittelytapa

Tässä mitoitusten käsittelyssä päädytään, tarkasteltavan kokonaisuuden laajuudesta riippuen, taulukkomitoitukseen tai erilaisiin laskentamalleihin. Tarkasteltaessa vain osaa rakenteesta joudutaan määrittämään mekaanisten kuormien suuruudet ja vallitsevat reunaehdot. Koko rakennetta tarkasteltaessa mekaaniset kuormat valitaan, jolloin saadaan kehittynyt laskentamalli. [1, s. 12.]

Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuvassa käsittelytavassa käytetään nimellispalo-kuormien selvittelemiseen. Nimellispalolla tarkoitetaan lämpötila-aikakäyrää, joka esittää kaasun lämpötilaa rakenneosan pintojen lähellä ajan funktiona. Nimelliset lämpötila-aikakäyrät ovat sovittuja käyriä, joilla voidaan osoittaa esim. palonkestävyys. Ky-

seessä on siis mitoitussuunnitelma, joka perustuu teoreettisiin standardiarvoihin. Menetelmällä saadaan hyväksyttäviä, varmalla puolella olevia arvoja. [1, s. 10–12, 24.] Kuviossa 2 on esitetty standardipalon lämpötila-aikakäyrä.



Kuvio 2. ISO-834 -standardin mukainen lämpötila-aikakäyrä [6].

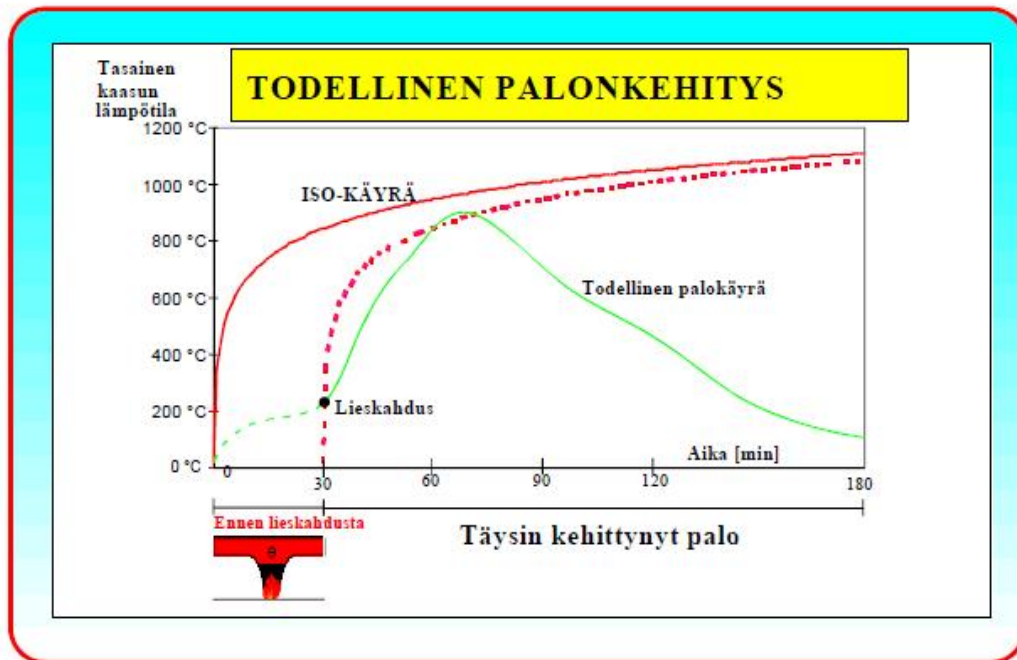
3.3 Toimivuuteen perustuva käsittelytapa

Mitoitus tehdään joko yksinkertaisella tai kehittyneellä palomallilla. Molempien avulla päästään kehittyneisiin laskentamalleihin. Yksinkertaisia laskentamalleja esiintyy harvemmin palomalleja käytettäessä. Tämä menetelmä käyttää hyväkseen mitoituspaloja, jotka ovat lähempänä todellista palotilannetta. Eurokoodi 1 käyttää näistä nimitystä luonnollisen palon mallit. [1, s. 10–42.]

Yksinkertaistetuissa palomalleissa käytetään rajoitettuja fysikaalisia parametreja. Esimerkiksi huonepaloissa lämpötilan jakauman paikan suhteen oletetaan olevan tasainen kaikilla ajanhetkillä. Kehittyneissä palomalleissa huomioidaan kaasun ominaisuudet, sekä massan ja energian vaihtuminen. Kehittyneiden palomallien laskentaan voidaan käyttää joko yksi- tai kaksivöhykemalleja. [1, s. 42–44.]

Toimivuuteen perustuva käsittelytapa antaa siis nimensä mukaisesti lähellä todellisia olosuhteita olevia arvoja. Tällä tavoin voidaan säästää huomattavasti mm. pa-

losuojausmateriaaleissa. Toimivuuteen perustuvan mitoituksen käyttö arvioidaan aina kohdekohtaisesti. Tavoitteena on yleensä saavuttaa todenmukaisempia arvoja, turvallisuustasoa muuttamatta. [7, s. 10–11.]



Kuva 1. Luonnollisen palon vaiheet ja vertailu standardipalokäyrään [7, s.10].

Kuvassa 1 voidaan havaita, kuinka suuri ero todellisen ja standardipalokäyrän välillä on. Standardipalokäyrän perusteella on erittäin vaikea ymmärtää rakennuksen eri osien käyttäytymistä todellisessa tulipalossa, sillä käyrä jättää huomioimatta oleellisiakin seikkoja, kuten palotilan geometrian tai palokuorman tyyppin. [7, s. 9; 8.]

Palomallien luomiseen käytetään erilaisia simulointiohjelmiä, joista on kerrottu enemmän luvussa 8.4.

3.4 Tarkasteltavat kuormitukset

Rakenteeseen voi syntyä paloaltistuksesta johtuen kuormia, esim. pituuden ja muodonmuutosten seurauksena syntyviä jännityksiä, jotka tulee ottaa pääsääntöisesti huomioon laskelmissa. Normaalilämpötilamitoituksen kuormat tulee huomioida, mikäli ne vaikuttavat myös palotilanteessa. [1, s. 45–46.]

Edellä kuvattujen, ns. välillisten kuormien arvioinnissa otetaan huomioon: rakenneosien lämpölaajenemisen estyminen, erilainen lämpölaajeneminen staattisesti määräämättömissä rakenneosissa, poikkileikkausten sisäiset lämpötilaerot ja rakenneosien lämpölaajeneminen. Käytettäessä standardipaloa toisiinsa liittyvistä rakenneosista aiheutuvia välillisiä kuormia ei tarvitse ottaa huomioon. [1, s. 46.]

Toisistaan riippumattomien, muiden onnettomuuskuormien samanaikaista esiintymistä ei tarvitse ottaa huomioon, jolloin voidaan eurokoodin mukaan käyttää tiettyjä yksinkertaistettuja sääntöjä kuorman vaikutusten määrittämiseen. [1, s. 46–48.]

3.5 Palosimulaatioiden hyödyntäminen mitoituksessa

Palosimuloinneissa tulipalo mallinnetaan mahdollisimman todenmukaisesti tietokoneohjelmalla. Ohjelmistot on laadittu palokokeiden perusteella saatujen matemaattisten mallien avulla. Erilaisia palokokeita on suoritettu maailmanlaajuisesti ja niissä on tutkittu mm. lämmönsiirtoa, savun ja palotuotteiden leviämistä sekä ihmisten käyttäytymistä palotilanteessa. Palosimulointimalleja on useita erilaisia. Yksinkertaisimmat ovat palopatsas- ja vyöhykemallit. Monimutkaisimpia simulointimalleja ovat erilaiset kenttä- ja verkkomallit. [9.]

Tulipalon mallintaminen on erittäin vaikeaa, sillä tulipalo käsittää niin monta muuttujaa. Eri aineiden erilainen käyttäytyminen lämpötilan muuttuessa, lämmön siirtyminen kolmella eri tavalla (johtuminen, kuljettuminen ja säteily) ja tulipalon suuruuden muuttuminen ajan myötä tuovat laskentaan niin monia tekijöitä, ettei käsin laskenta tule kysymykseen. Palosimulointien suorittaminen, esim. suurien pyörteiden simulointi, voi olla melko raskasta tietokoneista huolimatta. Palomallien kehittäminen onkin yksi tärkeimmistä palotutkimuksen aiheista nykypäivänä. [9, 10, 11.]

Palosimulaatioiden avulla päästään lähelle todellisten tulipalotilanteiden arvoja, joita voidaan käyttää hyväksi rakenteiden palomitoituksessa. Näin pystytään säästämään mm. palosuojausmateriaaleissa, joiden kustannukset ovat huomattavat. Palosimulointien avulla tehty rakenteiden optimointi on merkittävä kustannustekijä erityisesti suurissa kohteissa, joissa rakenteiden palosuojaus olisi järjetöntä. Palosimulointien hyödyntäminen tulee olemaan tulevaisuudessa arkipäivää, sillä rakennettavat rakennukset muuttuvat koko ajan monimuotoisimmiksi. [12.]

3.6 Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen palomitoitus

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 mukaan rakennuksen tulee täyttää sille asetetut olennaiset vaatimukset, kuten maankäyttö- ja rakennusasetus vaatii. Paloturvallisuuden kannalta tulee siis huomioida, että:

- rakennuksen kantavat rakenteet kestävät palon sattuessa niille asetetun vähimmäisajan
- palon ja savun kehittyminen sekä leviäminen on rajoitettua, samoin palon leviäminen lähistön muihin rakennuksiin
- rakennuksessa olevat henkilöt pääsevät poistumaan rakennuksesta palon sattuessa tai heidät voidaan pelastaa muulla tavoin
- lisäksi pelastushenkilöstön turvallisuus on otettava huomioon.

Näiden vaatimusten katsotaan täyttyvän, kun rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattamalla E1:n paloluokkia ja lukuarvoja tai perustuen oletettuun palonkehitykseen. [13, s. 6.]

Palomitoituksessa määritetään rakenteeseen vaikuttava palokuorma palo-osaston käytötavan perusteella, luotettavan arvion mukaan tai laskelmilla. Tarpeen vaatiessa rakennuksen on kestettävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen. Muuten rakennus tai sen osat eivät saa sortumalla aiheuttaa vaaraa määrättyä aikana palon alkamisesta. [13, s. 8, 13.]

Kantavan rakenteen mitoitus voi perustua joko standardoituun lämpötila-aikakäyrään perustuvaan luokitukseen tai oletetun palonkehityksen mukaisiin rasituksiin. Kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimukset, jotka määrittelevät rakenteen kestävyysminuuteissa. Rakennusosan luokkavaatimuksenmukaisuus osoitetaan, standardoidun lämpötila-aikakäyrän tapauksessa, joko laskennallisesti, kokeellisesti tai yhdistämällä nämä menetelmät. Myös hyväksyttävää taulukkomitoitusta voidaan käyttää. [13, s. 13.]

Palonkehitykseen perustuvassa mitoituksessa rakennusta pidetään riittävän paloturvallisena kantavien rakenteiden osalta, mikäli rakennus ei yleensä sorsu palon eikä jäähtymisvaiheen aikana. Palorasituksena käytetään oletetun palonkehityksen mukaisia

olosuhteita siten, että palorasitus todennäköisesti kattaa kyseisessä rakennuksessa esiintyvät tilanteet. [13, s. 15.]

Rakentamismääräyskokoelman mukainen palomitoitus on siis peruseriaatteiltaan sama kuin eurokoodeissakin. Termistö on hieman erilaista, esim. oletetun palonkehityksen sijasta eurokoodit puhuvat toimivuuteen perustuvasta mitoituksesta. Silti suunnittelu- perusteet ovat samat: vaadittu palonkestävyys tulee saavuttaa kaikissa todennäköisissä olosuhteissa. Molemmissa normeissa voidaan käyttää taulukkomitoitusta, joka antaa kummassakin tapauksessa hyväksyttäviä, varmalla puolella olevia arvoja, vaikka taulukoiden lukuarvoissa pieniä eroja onkin. Merkittävin muutos rakenteellisessa eurokoodien mukaisessa palomitoituksessa on betonirakenteiden laskennallinen palomitoitus. EN 1992-1-2 antaa useita menetelmiä betonirakenteiden palonkestävyyden laskentaan, kun E1 käsittelee laskentamitoitusta vain suppeasti.

4 Betonirakenteiden palomitoitus

4.1 Suunnitteluperusteet

Betonirakenteilta voidaan vaatia palotilanteessa mekaanista kestävyyttä ja osastoivuutta. Rakenne tulee siis suunnitella siten, että nämä vaatimukset täyttyvät vaadittavan paloaltistuksen ajan. Paloaltistuksena voidaan käyttää standardipalokäyrää, ulkopuolisen palon käyrää tai hiillivetykäyrää tarpeen mukaan. Kaikissa nimellispalon tapauksissa rakenneosien tulee täyttää kriteerit R, E ja I seuraavasti [14, s. 15]:

- vain osastoivuus: tiiviys (kriteeri E) ja vaadittaessa eristävyys (kriteeri I)
- vain kantavuus: mekaaninen kestävyys (kriteeri R)
- osastoivuus ja kantavuus: kriteerit R, E ja vaadittaessa I

Mikäli paloaltistus on parametrinen eli lämpötila-aikakäyrä on määritetty palomallien ja tiettyjen fysikaalisten parametrien perusteella, kantavuuden edellytetään säilyvän koko palon ajan, hiipumisvaihe mukaan lukien.

Lämpörasitukset ja mekaaniset kuormat määritetään betonirakenteelle, kuten luvussa 3.4 on kerrottu. Rasitukset määritetään siis EN 1991-1-2 mukaisesti. Palotilanteen mekaanisten materiaaliominaisuuksien mitoitusarvoja pienennetään lujuus- tai muodonmuutosominaisuuden pienennyskertoimella. Lämpötilasta riippuvien materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot määritetään sillä perusteella, onko ominaisuuksien arvon nousu

edullista vai epäedullista varmuuden kannalta. Kaava 2 kuvaa mekaanisten materiaaliominaisuuksien määrittämistä. [14, s. 16–19.]

$$X_{d,fi} = K_{\Theta} X_k / \gamma_{M,fi} \quad (2)$$

X_k on lujuus- ja muodonmuutosominaisuuden ominaisarvo (*yleensä f_k tai E_k*) normaalilämpötilamitoituksessa standardin EN 1992-1-1 mukaisesti

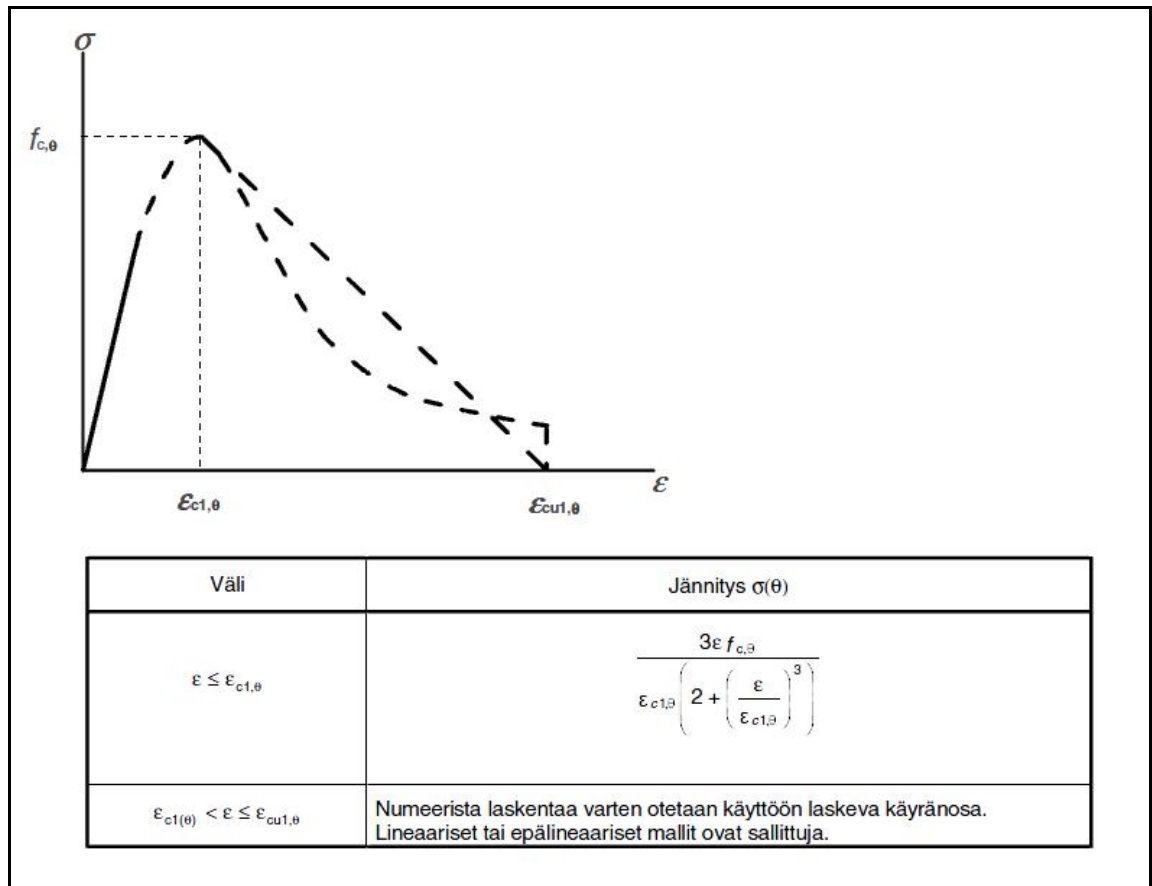
K_{Θ} on lujuus- tai muodonmuutosominaisuuden pienennyskerroin ($X_{k,\theta} / X_k$)

$\gamma_{M,fi}$ on asianomaisen materiaaliominaisuuden osavarmuusluku palotilanteessa

4.2 Materiaaliominaisuudet

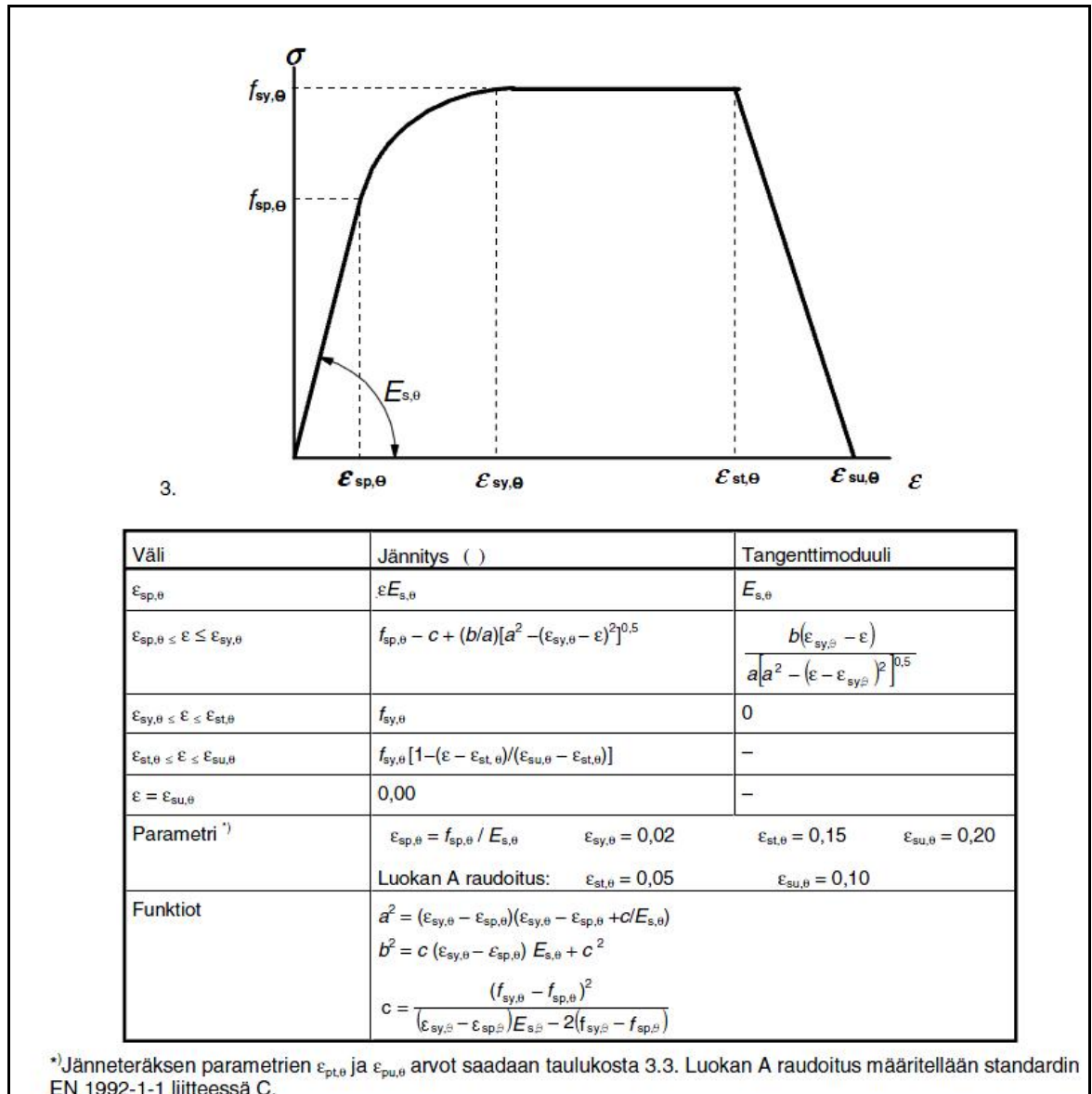
Teräsbetonirakenteessa materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien tunteminen palotilanteessa muodostuu ehdottoman tärkeäksi, sillä rakenteessa vaikuttaa kaksi eri tavoin käyttäytyvää materiaalia. Eurokoodi 2:ssa näiden ominaisuuksien numeroarvot perustuvat vakioilämpötilassa sekä koekappaleen lämpötilan muuttuessa suoritettuihin kokeisiin ja joskus molempien yhdistelmään. [14, s. 19.]

Pelkän betonin materiaaliominaisuuksista vetolujuus jätetään normaalisti huomiotta (varmalla puolella oleva oletus) ja puristuslujuus määritetään puristuslujuuden ja puristuslujuutta vastaavan puristuman avulla, kuvion 3 mukaisesti. [14, s. 19–21.]



Kuvio 3. Puristuksen alaisen betonin jännitys-muodonmuutosyhteyksien matemaattinen malli korkeissa lämpötiloissa [14, s. 21].

Betoniteräksen materiaaliominaisuuksia määritettäessä korkeissa lämpötiloissa tulee käyttää jännitys- ja venymäyhteyksiä, jotka määritellään seuraavien parametrien avulla: lineaarisen kimmoisen alueen kaltevuus, suhteellisuusraja ja maksimijännitystaso. Betoniteräksen jännitys-venymäyhteydet on määritelty kuviossa 4. Jänneteräkselle käytetään tätä samaa matemaattista mallia. [14, s. 22–25.]



Kuvio 4. Kuvio 4. Betoniteräksen ja jänneteräksen jännitys-venymäyhteyksiä korkeissa lämpötiloissa kuvaava matemaattinen malli (jänneterästä koskevassa merkinnässä kirjain "p" kirjaimen "s" sijaan) [14, s. 23].

Lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien lisäksi betonilla on erilaisia termisiä ja fysiikkaalisia ominaisuuksia, jotka pitää määrittää erikseen korkeissa lämpötiloissa. Tällaisia ominaisuuksia ovat lämpöpitenemä ja ominaislämpökapasiteetti. Näihin molempiin ominaisuuksiin vaikuttaa betonissa käytetyn kiviaineksen laatu. Eurokoodi 2 jakaa nämä ominaisuudet silikaattipitoisten ja kalkkipitoisten kiviaineksen välille. Myös betonin lämmönjohtavuus on tärkeä terminen ominaisuus, joka tulee määrittää palotilanteessa. Aiemmin mainittu lämpöpitenemä tulee määrittää myös betoni- ja jänneteräkselle. [14, s. 26–29.]

4.3 Mitoitusmenetelmät

Eurokoodi 2 sallii kolme erilaista mitoitusmenettelyä betonirakenteiden palovaatimusten täyttämiseksi. Nämä ovat yksityiskohtainen suunnittelu taulukkomitoituksen tai polttokokeiden avulla, yksinkertaistetut laskentamenetelmät tietyntyyppisille rakenneosille ja kehittyneet laskentamenetelmät. Rakenteen lohkeilu tulee välttää tai sen vaikutus toimivuusvaatimukseen tulee huomioida. [14, s. 30.]

Yksinkertaistetuissa laskentamenetelmissä määritetään lämpötilaprofiilit joko kokeellisesti tai laskemalla. Laskennassa voidaan käyttää pienennetyn poikkileikkauksen menetelmiä ja lujuuden pieneneminen korkeissa lämpötiloissa huomioidaan. [14, s. 31.]

Kehittyneitä laskentamenetelmiä käytettäessä tulee saada aikaan palolle altistuneen rakenteen realistinen analyysi. Menetelmien lähtökohtana tulee olla fysiikan periaatteisiin perustuva toiminta. Ne tapaukset, joita laskentamenetelmä ei kata, tulee sulkea pois asianmukaisin tavoin. Laskentamenetelmillä pyritään määrittämään lämpötilan kehittyminen ja jakautuminen rakenneosien sisällä (termisen vasteen malli), sekä rakenteen mekaaninen toiminta (mekaanisen vasteen malli). Kaikkien kehittyneiden laskentamallien tarkkuus tulee todentaa asianmukaisten koetulosten perusteella. [14, s. 34–35.]

Betonirakenteen mitoituksessa huomioidaan lisäksi betonin räjähdysmäinen lohkeilu, betonin irtoaminen, suojakerrokset sekä saumat [14, s. 36–37]. Eurokoodi 2 asettaa korkealujuusbetonille omat lisäsääntönsä, joita ei tässä erikseen käydä läpi.

4.4 Taulukkomitoitus

Eurokoodi 2:n taulukkomitoitus antaa yleisesti hyväksytyjä arvoja standardipalolle 240 minuuttiin asti. Taulukot on kehitetty kokemuksen vahvistamalla kokeellisella perustalla ja arvioimalla koetuloksia teoreettisesti. Arvot on johdettu likimääräisistä varmalla puolella olevista olettamuksista. [14, s. 37.] Taulukoissa esitetään rakenteiden paksuuden ja poikkileikkauksen vähimmäisarvoja, joilla täytetään osastoivuutta ja kantavuutta koskevia vaatimuksia. Myös terästen keskiöetäisyydelle annetaan vähimmäisarvoja. Taulukkomitoitus on esitetty yleisimmille rakenneosille: pilareille, seinille, palkeille ja laatoille. [14, s. 37–55.]

Pilareille Eurokoodi 2 esittää kaksi mitoitusmenetelmää: menetelmät A ja B. Pilareiden taulukkomitoitus koskee vain jäykistettyjä rakenteita. Menetelmä A koskee pääasiallisesti puristuksen alaisia teräsbetoni- ja jännebetonipilareita, joiden leveyden ja pääraudoituksen keskiöetäisyyden vähimmäisarvojen voimassaoloaluetta rajoitetaan. Menetelmän A taulukkomitoituksessa huomioidaan kuormayhdistelmät, pilarin puristuslujuus ja taivutus toisen kertaluvun vaikutuksineen hyväksikäyttöasteen μ_f avulla, kuten taulukko 1 ja kaava 3 havainnollistavat. Menetelmässä B käytetty taulukko 2 (s.19) määrittelee rakenteen vähimmäismitat, leveyden ja keskiöetäisyyden, normaalilämpötilassa vaikuttavan kuormitustason n ja mekaanisen raudoitussuhteen ω avulla, kaavojen 4 ja 5 mukaisesti. [14, s. 40–43.]

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} \quad (3)$$

$N_{Ed,fi}$ on normaalivoiman mitoitusarvo palotilanteessa

N_{Rd} lasketaan standardin EN 1992-1-1 mukaisesti käyttämällä normaalilämpötilamitoituksen osavarmuuslukua γ_M , ottamalla huomioon toisen kertaluvun vaikutukset ja alkuepäkeskisyys, joka on normaalivoiman $N_{Ed,fi}$ epäkeskisyyden suuruinen.

$$n = N_{0Ed,fi} / (0,7 \times (A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd})) \quad (4)$$

$N_{0Ed,fi}$ on normaalivoiman mitoitusarvo palotilanteessa ajanhetkellä $t = 0$

A_c on betonin poikkileikkauspinta-ala

A_s on raudoituksen määrä

f_{cd} on betonin mitoituspuristuslujuus

f_{yd} on raudoituksen mitoituslujuus

$$\omega = A_s f_{yd} / A_c f_{cd} \quad (5)$$

Taulukko 1. Pilarin vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot, kun pilarin poikkileikkaus on suorakaide tai pyöreä. Taulukkoa käytetään menetelmän A mukaisessa mitoituksessa. [14, s. 41.]

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys b_{\min} / päätankojen keskiöetäisyys a			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdeltä sivulta			Altistus yhdeltä sivulta
	$\mu_n = 0,2$	$\mu_n = 0,5$	$\mu_n = 0,7$	$\mu_n = 0,7$
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 Jännitetyillä pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan kohdan 5.2(5) ²⁵ mukaisesti.				

Seinät jaetaan Eurokoodi 2:ssa ei-kantaviin osastoihin seiniin ja kantaviin umpiseiniin. Molemmille esitetään omat taulukkonsa. Palomulle asetetaan tietty vähimmäispaksuus, mikäli siltä vaaditaan iskunkestävyyttä. [14, s. 43–44.]

Palkkien taulukkomitoitus koskee teräsbetoni- ja jännepalkkeja, joilla voi olla paloaltistus kolmella sivulla. Kaikilta sivuiltaan altistuvalla palkille esitetään taulukkoarvojen lisäksi erityisehtoja poikkileikkauksen suhteen. Palkit jaetaan vapaasti tuettuihin ja jatkuviin palkkeihin. [14, s. 45–50.]

Laatat jaetaan vapaasti tuettuihin ja jatkuviin umpilaattoihin, sekä pilari- ja ripalaattoihin. Teräsbetoni- tai jännebetoniumpilaatat mitoitetaan yhden taulukon mukaan (kts. taulukko 2). Pilari- ja ripalaatoille esitetään omat taulukkonsa, sekä tiettyjä erityisehtoja. [14, s. 50–55.]

Taulukko 2. Teräsbetoni- ja jännebetoniumpilaattojen mitoitusaulukko. [14, s. 51.]

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

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.

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 EN 1992-1-1 edellyttämä raudoituksen betonipeite on määräävä.

5 Teräsrakenteiden palomitoitus

5.1 Suunnitteluperusteet

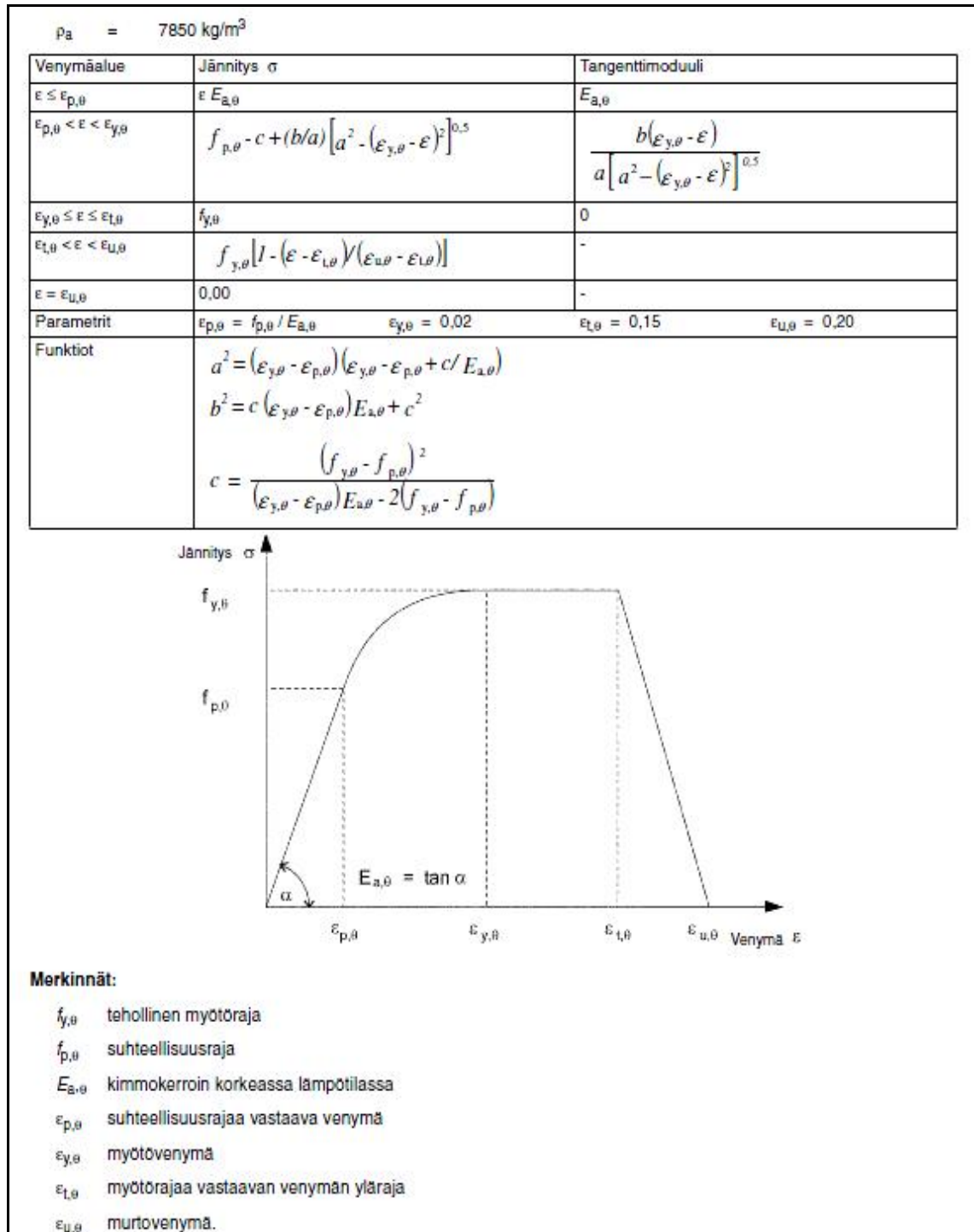
Eurokoodi 3:n vaatimukset koskevat teräsrakenteita, joilta vaaditaan kantavuutta palotilanteessa rakenteen ennenaikaisen sortumisen välttämiseksi. Se ei sisällä osastoivia rakennusosia koskevia sääntöjä. Standardissa käsitellään vain palosuojauksen passiivisia menetelmiä ja ne soveltuvat vain tietyille, erikseen määritellyille teräslajeille. [15, s. 8–10.] Teräsrakenteet tulee suunnitella ja rakentaa siten, että rakenteet säilyttävät kantavuutensa kyseeseen tulevan paloaltistuksen ajan. Kantavan rakenteen muodonmuutos tulee huomioida tarvittaessa. Paloaltistuksena voidaan käyttää standardipalotai hiilivetykäyrää, myös parametrinen paloaltistus on mahdollinen. [15, s. 16–17.]

Rakenteeseen kohdistuvat lämpörasitukset ja mekaaniset rasitukset otetaan huomioon standardin EN 1991-1-2 mukaan, kuten luvussa 3.4 on kerrottu. Materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot määritetään samoin periaattein kuin betonirakenteillekin: mekaanisia materiaaliominaisuuksia määritettäessä lujuus- tai muodonmuutosominaisuutta pienennetään pienennystekijällä, joka on riippuvainen aineen lämpötilasta ja termiset mi-

toitusarvot määritetään sen mukaan, onko ominaisuuden kasvaminen suotuisaa vai epäsuotuisaa varmuuden kannalta. [15, s. 17.]

5.2 Materiaaliominaisuudet

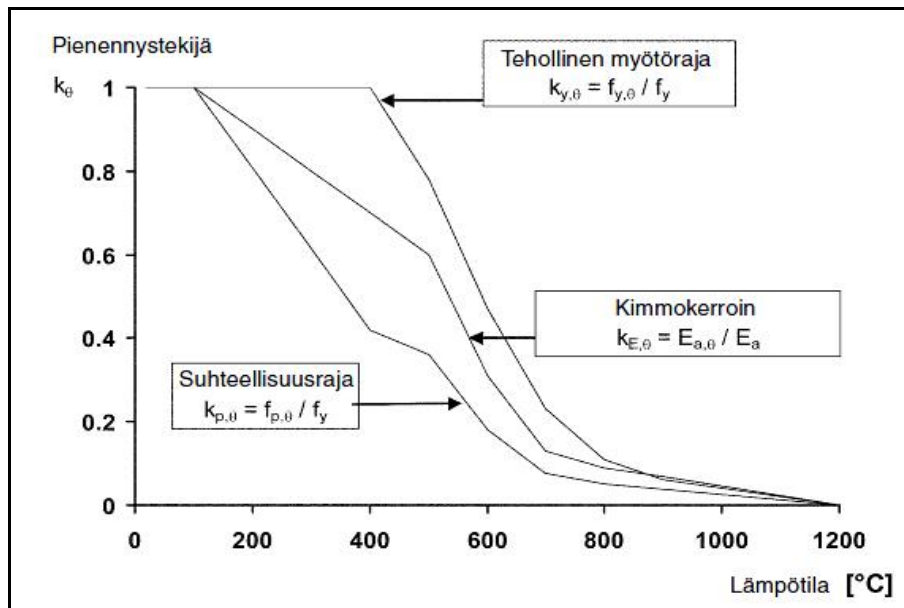
Eurokoodi 3 jakaa teräkset materiaaliominaisuuksien perusteella hiiliteräksiin ja ruostumattomiin teräksiin. Hiiliterästen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet korkeissa lämpötiloissa saadaan kuvion 5 mukaisesta jännitys-venymäyhteydestä. Ruostumattomalle teräkselle on omat vastaavanlaiset mekaaniset ominaisuutensa. [15, s. 20–22.]



Kuvio 5. Hiiliteräksen jännitys-venymäyhteys korkeissa lämpötiloissa. [15, s. 21]

Kuvion 5 mukaista yhteyttä käytetään määrittettäessä veto-, puristus-, momentti- tai leikkauskestävyyksiä. Jännitys-venymäyhteyden määrittämiseksi tulee selvittää tarvittavat pienennystekijät, joiden muuttuminen lämpötilanfunktiona on esitetty kuviossa 6.

Ruostumattoman teräksen materiaaliominaisuudet on esitetty Eurokoodi 3:n opastavassa liitteessä, joten annetut arvot eivät ole velvoittavia. [15, s. 20, 62.]

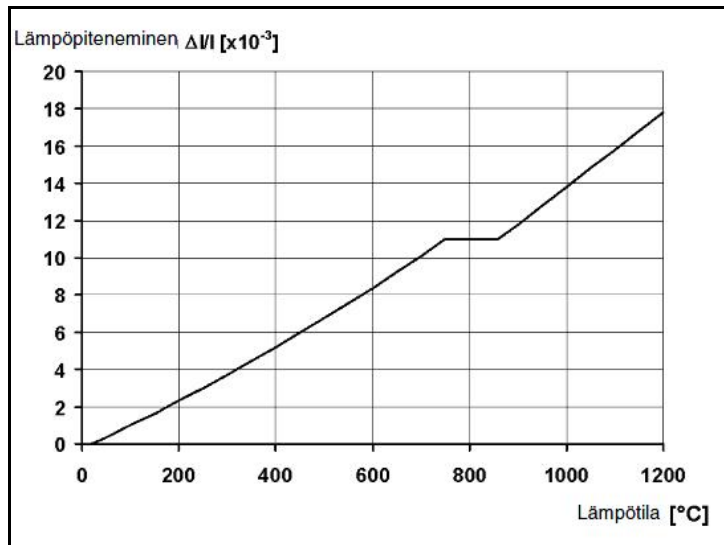


Kuvio 6. Pienennystekijät hiiliteräksen jännitys-venymäyhteydelle korkeissa lämpötiloissa [15, s. 22].

Ruostumattomalle teräkselle pienennystekijät on ilmoitettu taulukkomuodossa, jaoteltuna eri ruostumattomien teräslajien mukaan.

Mekaanisiin ominaisuuksiin kuuluu vielä tiheys, jonka Eurokoodi 3 katsoo olevan riippumaton teräksen lämpötilasta. Tiheyden arvo on sama sekä hiiliteräksille että ruostumattomille teräksille: 7850 kg/m^3 . [15, s. 21, 62.]

Termisiin ominaisuuksiin kuuluvat lämpöpiteneminen, ominaislämpökapasiteetti sekä lämmönjohtavuus. Nämä ominaisuudet määritetään hiiliteräksille ja ruostumattomille teräksille erikseen. Teräksen laadusta riippuen nämä ominaisuudet nimittäin vaihtelevat melko paljonkin. Vain lämpöpiteneminen on erittäin samankaltaista, teräslaadusta riippumatta: se on sitä suurempaa, mitä suurempi lämpötila on. [15, s. 23–25, 67–69.]



Kuvio 7. Hiiliteräksen lämpöpiteneminen lämpötilan funktiona [15, s. 23].

Myös palosuojamateriaalien ominaisuudet ja toimivuus tulee ottaa huomioon. Ne arvioidaan erikseen tiettyjen esistandardien mukaan, jotka asettavat palosuojamateriaaleille vaatimuksen koossa- ja kiinnipysymisestä suojattavassa rakenneosassa koko paloaltistuksen ajan. [15, s. 25.]

5.3 Mitoitusmenetelmät

Teräsrakenteiden palomitoituksessa tulee osoittaa, että kyseeseen tulevan paloaltistuksen aikana kuormien vaikutuksen mitoitusarvo ei ylitä vastaavaa kestävyden mitoitusarvoa palotilanteessa. Mitoitettavaa rakennejärjestelmää kuvaavan mallin tulee kuvata rakenteen odotettavissa olevaa käyttäytymistä palotilanteessa. Mitoitus voi perustua laskelmiin tai polttokokeisiin, tai näiden yhdistelmään. [15, s. 18.]

Eurokoodi 3:n mukaan teräsrakenteen palonkestävyyden saa määrittää joko yksinkertaisilla tai kehittyneillä laskentamalleilla tai kokeiden avulla. Tämä jaottelu on siis sama kuin betonirakenteiden kohdalla. Teräsrakenteiden palomitoitus koskee rakenteita, jotka voivat olla suojaamattomia, palosuojaa-aineella suojattuja tai lämpösuojilla suojattuja. [15, s. 25–26.]

Yksinkertaisia laskentamalleja käytettäessä kantavuuden osoittamiseksi voidaan edellä mainitun kuormien vaikutuksen ja kestävyden mitoitusarvon suhteen määrittämisen

lisäksi käyttää vaihtoehtoisesti lämpötilojen vertailua. Tämä edellyttää tasan jakaantuneen lämpötilan käyttöä poikkileikkauksessa ja sitä, ettei siirtymätilaehdoja tai stabiiliutta tarvitse ottaa huomioon. Yksinkertaisten laskentamallien tapauksessa ei tarvitse tarkastella erikseen liitoksia, mikäli tietyt ehdot täyttyvät. Yksinkertaistettujen sääntöjen käyttöä varten poikkileikkausluokitukset voidaan määritellä pienennystekijän avulla. [15, s. 26–34.]

Kestävyyden mitoitusarvot rakenneosalle määritetään sen mukaan, onko poikkileikkauksen lämpötilajakautuma tasainen vai epätasainen. Eurokoodi 3 jakaa rakenneosat vetosauvoihin, puristettuihin sauvoihin ja palkkeihin. Palkit ja sauvat jaotellaan edelleen poikkileikkausluokan mukaan. Eri poikkileikkausluokille annetaan standardissa erilaisia kestävyyden kaavoja, kuormitustapauksesta riippuen. [15, s. 27–33.]

Teräksen lämpötilan kehittymistä voidaan arvioida sen mukaan, miten rakenneosa on suojattu. Standardi antaa kaavat lämpötilan nousun laskentaan suojaamattomalle ja palosuojatulle, sisällä olevalle teräsrakenteelle. Ulkona olevan rakenteen lämpötilan nousua arvioidaan erikseen. [15, s. 35–39.]

Kehittyneiden laskentamenetelmien kohdalla käytetään samoja ehtoja kuin betonirakenteilla (katso luku 4.3). Näitä malleja voidaan käyttää kaiken tyyppisille teräspoikkileikkauksille. [15, s. 39–41.]

6 Puurakenteiden palomitoitus

Tässä luvussa käsitellään puurakenteiden palomitoitusta lyhyesti. Mitoitusperiaatteet ja käytettävät menetelmät esitellään karkeasti, syventymättä tarkemmin aiheeseen.

6.1 Suunnitteluperusteet

Suunnitteluperusteet noudattavat samoja perusvaatimuksia kuin betoni- ja teräsrakenteillakin. Poikkeuksena on kantavan rakenteen lämpölaajenemisen ja taipumatilan huomiotta jättäminen tietyissä tapauksissa: palosuojauksien tehokkuus on osoitettu tai osastoivat rakenneosat täyttävät nimellispalooaltistuksen vaatimukset. Nämä nimellispalovaatimukset ovat samat betonirakenteiden kanssa. Myös parametrinen

paloaltistuksen vaatimukset kantavuuden osalta ovat samat. Osastoivuudelle on omat vaatimuksensa. [16, s. 28–30.]

Mekaanista kestävyttä osoitettaessa lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien määrittämiseen käytetään 20 % fraktiileja (fraktiilit ovat prosenttipisteitä, jotka rajaavat tietyn prosenttimäärän, tässä tapauksessa 20 %, havaintoarvoja alapuolelleen) normaalilämpötilassa. Mekaanisen kestävyuden laskennassa käytetään puolestaan puun osavarmuuslukua palotilanteessa ja muuntokerrointa. Palonkestävyyden osoittamisen menetelmät ovat samat kuin betonilla ja teräksellä. [16, s. 30–34.]

6.2 Materiaaliominaisuudet

Puulla on muista materiaaleista poikkeava materiaaliominaisuus, hiiltymisen hiiltymissyvyys määritellään puupoikkileikkauksen suojaamattomille sivuille ja tilanteen mukaan myös suojatuille sivuille. Suojattujen pintojen hiiltymissyvyys määritellään, mikäli puu pääsee hiiltymään kyseisen palon aikana suojauksesta huolimatta. Eurokoodi 5:ssä esitetään hiiltymissyvyuden laskentaan soveltuvia kaavoja. [16, s. 38–55.]

6.3 Mitoitusmenetelmät

Eurokoodi 5 esittää muutamia yksinkertaistettuja laskentamenetelmiä mekaanisen kestävyuden suunnitteluun. Näistä yksi esimerkki on tehollisen poikkileikkauksen menetelmä, jossa huomioidaan hiiltymisen vaikutus poikkileikkaukseen. Standardi antaa myös yksinkertaistettuja, rakenneosien analysointia koskevia sääntöjä mm. pilareille ja poikittaissiteille. Seinä- ja välipohjarakenteiden suunnittelumenetelmät mainitaan Eurokoodi 5:ssä erikseen. [16, s. 56–62.]

Liitoksien osalta säännöt koskevat vain standardipaloaltistuksen rasittamia, rakenneosien välisiä liitoksia, joiden palonkesto-aika on korkeintaan 60 minuuttia (ellei toisin mainita). Standardin alaiset liitostyypit ovat: naula-, pultti-, tappivaarna-, ruuvi-, rengasvaarna, lautas- ja hammasvaarnaliitoksia. [16, s. 66–77.]

Eurokoodi 5:ssä on myös ohjeita tiettyjen yksityiskohtien suunnitteluun. Yksityiskohtat koskevat seinien ja välipohjien mittoja yms. Standardi antaa tarkat ohjeet esim. levytyksen liitoksista ja eristyksestä. [16, s. 78–81.]

7 Korjaushankkeen palomitoituksen suunnittelu

7.1 Erityispiirteet

Korjaushankkeet ovat kokonaisuudessaan aina monimutkaisia suunnitella, myös palotekniseltä kannalta. Koska rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet tai eurokoodit eivät vielä suoraan koske korjausrakentamista, syntyy paljon tilanteita, joissa säädöksiä joudutaan soveltamaan ja tulkitsemaan. Tämä tulkinnanvaraisuus asettaa haasteita myös palosuunnittelulle. Esim. muutettaessa rakennuksen käyttötarkoitusta rakenteille voi tulla huomattavia palonkestovaatimuksia, joiden toteuttaminen voi olla erittäin haasteellista.

Korjaushankkeessa korostuu erityisesti eri tahojen yhteistyön tärkeys ja eri aikakausille tyypillisten rakennus- ja suunnittelutapojen tuntemus. Rakennesuunnittelijalta vaaditaan poikkeuksetta kokemusta suunnittelutehtävistä, sillä hänen on tehtävä työssään paljon soveltavia ratkaisuja. Korjaushankkeen palomitoituksessa rakennesuunnittelija määrittää sen, mitkä rakenteet ovat oleellisia kantavia rakenteita palotilanteessa ja miten niille asetetut rakenteelliset vaatimukset toteutetaan. [17, s. 67.]

Rakennesuunnittelijan lisäksi määräyksiä ja ohjeita tulkitsee myös viranomainen, jonka tulkinnat voivat olla hyvinkin erilaiset eri paikkakunnilla. Tästä johtuen kiinteä yhteistyö mm. näiden osapuolten välillä on välttämätöntä. Korjauskohde vaatii näin ollen aina yksilöllistä suunnittelua.

Korjaushankkeen suunnittelussa on erityisen tärkeää tuntee kohteen rakentamisen aikana voimassa ollutta lainsäädäntöä. Tämä vaatii paljon selvitystyötä ja täydellistä tietoutta ei koskaan pystytä saavuttamaan. Suunnittelijan on kuitenkin selvitettävä parhaalla mahdollisella tavalla senaikaisen ohjeistuksen ja lainsäädännön pääpiirteet. Myös tässä asiassa suunnittelijan kokemus useammista korjaushankkeista helpottaa työtä huomattavasti.

7.2 Palomääräyksen kehitys

Ensimmäiset palomääräyksen tapaiset kiellot ja ohjeistukset annettiin jo 1300-luvun loppupuolella. Tuolloin syntyi vähitellen kaupunkien rakennusjärjestyksiä, palojärjestyksiä ja asemakaavoja. Paloturvallisuutta alettiin kehittää varsinaisesti kaavoituksella

1800-luvulla, jolloin syntyi empirekaava. Se täyttää vielä nykyäänkin asemakaavalle rakennuslaissa asetetut paloturvallisuuden vaatimukset. [17, s. 11.]

Ensimmäisiä koko maan yhteisiä palomääräyksiä olivat 1936 vuonna annetut paloluokitusmääräykset. Rakennusten ja rakennusosien palonkestävyydelle oli annettu omat luokkansa, joita tuli käyttää rakennusmääräyksissä ja kunnallisissa säännöstoissa. Tähän ns. paloluokituspäätökseen sisältyi rakennusten ja rakennusosien ryhmittely neljään palotekniseen luokkaan: A-, B-, C-, ja D-luokkaan. Ihmisten turvallisuus nostettiin näiden määräysten perusteeksi ja tavoitteeksi. [17, s. 12.]

Vuonna 1962 tuli voimaan määräys rakennusten ja rakennusosien palonkestävyydestä. Päättävöitteena oli edelleen henkilöturvallisuuden varmistaminen. Määräykseen sisällytetyt uudet käsitteet, palokuorma ja palonkesto aika, mahdollistivat palorasituksen tarkemman huomioon ottamisen suunnittelussa. Myös muita turvallisuutta parantavia yksityiskohtia lisättiin. Suomen rakentamismääräyskokoelma koottiin 1976, jolloin myös rakenteellista paloturvallisuutta koskevat määräykset sisältävä osa E1 tuli voimaan. E1:n määräyksiä tarkistettiin vuonna 1981 ja 1983 määräysten tulkintaongelmien selvittämiseksi julkaistiin ympäristöopas: *Rakenteellinen paloturvallisuus. Määräysten soveltamisesimerkkejä* (Tiedotuksia 6/1983). Rakentamismääräyskokoelman osaa E on tästä lähtien tarkennettu julkaisemalla ohjeita osissa E2–E9. Osan E1 uusittu versio astui voimaan 1997. Tähän versioon sisältyi ensimmäistä kertaa eurooppalaisia määräyksiä (rakennusosien palonkestävyysluokkien eurooppalaiset tunnuksat R, E ja I). Uusittun E1:n soveltamisen tueksi julkaistiin ympäristöopas 39. [17, s. 13–16.]

2000-luvulla rakentamismääräyskokoelman koko E-osaa on uusittu laajasti. Vuonna 2002 astui voimaan jälleen uusittu versio E1:stä, jonka soveltamiseksi uusittiin myös ympäristöopas 39. Vuonna 2005 astui voimaan uusitut E2, E4 ja E9. Kaikkia muita E-osia on uusittu 2000-luvulla paitsi pieniä savuhormeja koskevat ohjeet sisältävä E3. [19, s. 16; 20.] Vuonna 2011 E1 osaa uusitaan jälleen ja 14.1.2011 E1:stä julkaistiin lausuntoversio. Muutokset tulevat vaikuttamaan erityisesti puurakentamiseen. [18.]

7.3 Noudatettavat standardit ja ohjeistukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki asettaa seuraavat ehdot muutos- ja korjaustoimenpiteille [5.]:

Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä määräyksiä sovelletaan, jollei määräyksissä nimenomaisesti määrätä toisin, vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa edellyttävät.

Korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä rakennuksen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eivätkä heidän terveydelliset olonsa heikentyä.

Korjaushankkeen suunnittelussa noudatetaan yleensä sen aikakauden määräyksiä ja ohjeita, jolloin rakennus on alun perin rakennettu. Mikäli rakennuksen käyttötapaa muutetaan niin, että rakennuksen käyttöturvallisuus muuttuu vaarallisempaan suuntaan, joudutaan lähes aina noudattamaan nykypäivän standardeja. [17, s. 39.]

Vanhan rakennuksen korjaamiseen sovellettavat palomääräykset on aina harkittava tapauskohtaisesti. Jos rakennuksen käyttö ei muutu, ei paloturvallisuutta parantavia rakenteellisia muutoksiakaan tarvitse tehdä. Tämä edellyttää kuitenkin myös sitä, ettei rakennuksen yleisessä turvallisuustasossa ole oleellisia puutteita. [17, s. 38.] Usein korjauskohteessa havaitaan puutteita esim. poistumisteiden riittävässä lukumäärissä tai osastoinnissa, jolloin paloturvallisuusvaatimuksia joudutaan parantamaan. Uudisrakentamiseen rinnastettavaa laajaa korjaustyötä tehdessä noudatetaan nykyvaatimuksia. Eurokoodit tulevat siis olemaan lähitulevaisuudessa tällaisen korjaushankkeen suunnittelunormisto rakenteellisen palomitoituksen osalta.

Taulukko 3. Yleissääntöjä paloturvallisuusvaatimuksista korjaustöissä [17, s. 38].

Käyttötarkoitus ei muutu tai muuttuu helpompaan suuntaan	- vaatimuksia vain, jos on oleellisia puutteita henkilöturvallisuudessa
Käyttötarkoitus muuttuu riskialttiimpaan suuntaan	- yleensä paloturvallisuutta joudutaan parantamaan
Hoito-, huolto- tai rangaistuslaitos	- henkilöturvallisuus pyritään saattamaan nykytasolle
Vaativa käyttötarkoitus	- pyritään lähelle nykytasoa
Laaja korjaustyö	- pyritään lähelle nykytasoa
Uudisrakentamiseen rinnastettava laaja korjaustyö	- nykyvaatimukset
Lisärakentaminen vaipan ulkopuolelle	- nykyvaatimukset
Lisärakentaminen vaipan sisäpuolella	- pyritään lähelle nykytasoa
Ullakkorakentaminen	- pyritään lähelle nykytasoa

Rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa paloturvallisuutta on tarkasteltava kokonaisuutena ja säilytettävän rakennuksen lähtökohdista. Käyttötarkoituksen muutoksen tulisi olla sellainen, että paloturvallisuuden taso saavutetaan luontevin keinoin, eikä turhia muutostöitä jouduta tekemään. Jos korjattavan rakennuksen paloturvallisuus on ennestään hyvin heikko, sinne tulisi sijoittaa vain sellaisia toimintoja, joiden turvallisuusvaatimukset ovat vähäiset. [17, s. 39.] Korjausrakentamisessa ns. muuntojoustavuus on erittäin tärkeä seikka, jota ei saisi mikään korjaushankkeen osapuoli unohtaa. Kun käyttötarkoitus on valittu vanhan rakennuksen ehtojen mukaan, säästetään paljon sekä suunnittelussa että kohteen toteutuksessa.

7.4 Suunnittelun haasteet

Korjauskohteen suunnittelu on aina rakennesuunnittelijalle paljon työläämpää kuin uudiskohteen suunnittelu. Suunnittelija ei voi koskaan lähteä työskentelemään puhtaalta pöydältä, sillä rakennus on jo olemassa. Suunnittelun onkin lähdettävä olemassa ole-

van rakennuksen asettamista ehdoista ja rakenteiden on oltava myös toteuttamiskelpoisia. Kaiken tämän lisäksi suunnittelija joutuu miettimään, miten rakennus voidaan korjata niin, että muutostyöt ovat mahdollisia myös tulevaisuudessa.

Kuten taulukko 3 osoittaa, korjaustyön luonne vaikuttaa noudatettaviin määräyksiin. Se, kuinka tarkasti joudutaan noudattamaan nykyvaatimuksia, vaikuttaa palomitoituksen toteutukseen. Mitä lähempänä uudisrakentamisen määräyksiä ollaan, sitä useammin palomitoitus tulee määrääväksi tekijäksi. Korjauskohteessa kuormitukset useimmiten kasvavat ja nykyisillä määräyksillä saadaan näin ollen paljon suurempia palonkestovaatimuksia kuin alun perin. Jos palonkestävyysaika on rakenteen mitoituksessa määräävä tekijä, joudutaan miettimään, miten vaadittava palonkesto toteutetaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja edullisesti. Toinen vaihtoehto on tarkastella rakenteiden todellista kapasiteettia ja pyrkiä selvittämään, voisiko "turhat" varmuustekijät poistaa, jolloin voitaisiin osoittaa rakenteen toimivuus sellaisenaan.

Palomitoituksen suunnittelu on erittäin haasteellista suurissa tai monimutkaisissa kohteissa, joissa käyttötavan muutos vaatii rakenteilta kallista palosuojausta, vaikka tiedetään, että todellisuudessa rakenteilla on olemassa todennäköisesti riittävä kapasiteetti paloa vastaan ilman suojaustakin. Tällaisissa tilanteissa suunnittelija joutuu keksimään keinon, jolla tämän kapasiteetin olemassaolo pystytään todistamaan. Usein puutteellisten resurssien takia tällaista optimointia ei pystytä tekemään.

Suunnittelija joutuu myös miettimään palosuojausten toteuttamista. Vanhoissa rakennuksissa kaikki suojauskeinot eivät välttämättä ole mahdollisia toteuttaa esim. tilanpuutteen takia. Vaadittavat palonkestoajat on kuitenkin saavutettava jollain keinolla ja suunnittelijan tehtävä on löytää jokin toimiva ratkaisu.

7.5 Suojellut kohteet

Museoviraston suojelemien rakennusten muutos- ja korjaustöissä paloturvallisuussuunnittelulla on omanlaisensa merkitys. Suojelukohteiden paloturvallisuus on usein heikko ja se vaatii toimenpiteitä, mutta suojeleminen saattaa asettaa sille tiukat ehdot. Kohteen palosuojaukselta voidaan esim. vaatia, että se ei muuta oleellisesti kohteen ulkonäköä. Jos palomääräysten täyttäminen suojellussa korjauskohteessa ei ole mahdollista ilman suojelumääräysten tai -lain rikkomista, voidaan harkita lievennyksiä palomääräyksiin.

Viranomaisen joutuu tällöin päättämään, kumpi on tärkeämpää; paloturvallisuus vai rakennusperinnön suojelu. [12.]

Suojelukohteen lupakäsittely on hieman pidempi kuin normaalin korjauskohteen. Tämä johtuu siitä, että luvan myöntää loppujen lopuksi rakennuslautakunta yhden virkamiehen sijaan. Suojelukohteet ovat yleensä erittäin spesifejä korjauskohteita, joihin kiinnitetään jo alkuvaiheessa normaalikohdetta pätevämpi suunnittelijaryhmä. [12.]

8 Toiminnallinen palomitoitus

8.1 Käytetyt termit

Paloturvallisuussuunnittelussa käytetään paljon rinnakkaisia, samaa asiaa tarkoittavia termejä. Tässä kappaleessa on listattu ylös yleisimmät, tätä työtä tehdessä vastaan tulleet termit, joita käytetään aihepiiriin kuuluvissa julkaisuissa yms. päällekkäin tai joita ei yleensä erikseen määritellä sen tarkemmin.

- Oletettuun palonkehitykseen perustuva palomitoitus
 - tarkoittaa samaa kuin toiminnallinen palomitoitus
 - puhuttaessa pelkästään toiminnallisesta palomitoituksesta, termillä tarkoitetaan yleensä nimenomaan rakenteellista palomitoitusta
- Oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuussuunnittelu
 - tarkoittaa samaa kuin toiminnallinen palotekninen suunnittelu
 - tällä termillä viitataan paloturvallisuussuunnitteluun koko laajuudessaan, jossa rakenteiden mitoitus on vain osa kokonaisuutta
- Taulukkomitoitus
 - tällä termillä viitataan Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiseen, tavanomaiseen palomitoitukseen, jonka arvot perustuvat standardipalokäyrään
- Palosimulointi
 - puhekielinen ilmaus, jolla viitataan laskentaohjelmiin, joiden avulla määritetään tilan olosuhteiden muuttuminen määrättyssä palotilanteessa
- Poistumissimulointi
 - termillä viitataan laskentaohjelmiin, jotka mallintavat poistumisajan keskon tietyssä palotilanteessa vaiheittain

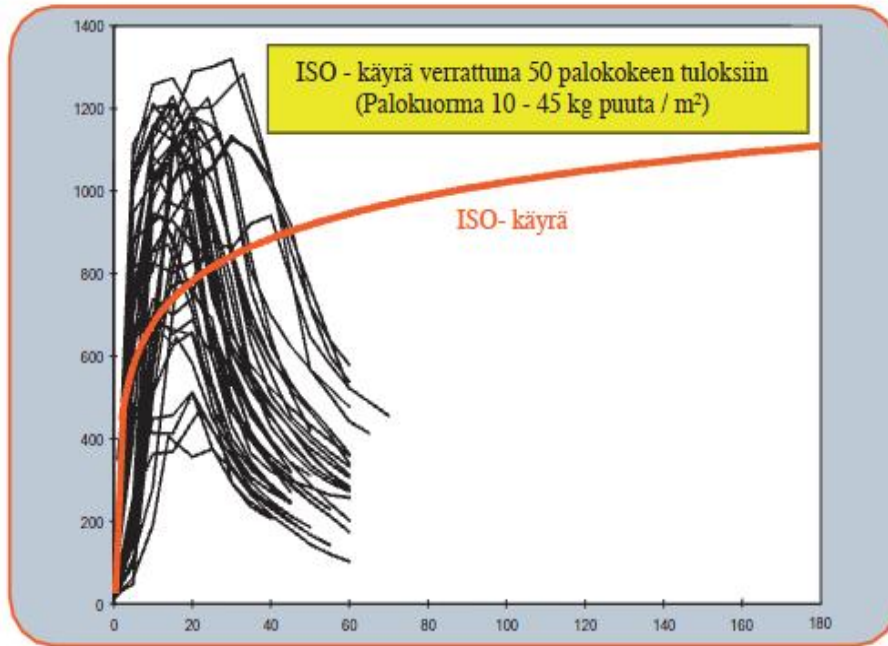
Tässä insinööriyössä tarkastellaan lähinnä rakenteellista palomitoitusta, mutta seuraavassa luvussa 8.2 esitellään myös pääpiirteittäin koko paloturvallisuussuunnittelun periaatteet.

8.2 Periaatteet

Toiminnallinen palomitoitus pyrkii toteuttamaan paloturvallisuuden olennaiset vaatimukset aivan kuten muutkin mitoitusmenetelmät. Erona ns. "perinteiseen" palomitoitukseen on se, että toiminnallinen palomitoitus huomioi passiivisten palontorjuntatoimien, kuten osastoinnin ja turvaetäisyyksien määrittämisen lisäksi myös aktiiviset palontorjuntatoimet. Aktiivisia toimia ovat mm. alkusammutuksen, palonilmaisimien, savunpoiston ja palokunnan toimien vaikutuksen arvioinnit. [19.]

Toiminnallisessa palomitoituksessa osoitetaan laskennallisesti, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 annetut vaatimukset täytetään muilla keinoin. Esimerkiksi osoitetaan, että ihmiset ehtivät poistua E1:n mukaan liian pitkältä kulkureitiltä, esim. myymälärakennuksen tapauksessa yli 30 metrin pituiselta käytävältä, ennen kuin olosuhteet estävät poistumisen. [3, s. 35.] Kantavien rakenteiden osalta voidaan osoittaa esimerkiksi, ettei rakenteen lämpötila tule todellisuudessa kohoamaan niin korkeaksi, että palosuojauksia tarvittaisiin.

Palokuorma määritetään toiminnallisessa mitoituksessa aina kohdekohtaisesti perustuen yleensä luotettavaan arvioon tai laskelmiin. Palokuorman sijainti, palamisnopeus ja ominaisuudet sekä savunmuodostus otetaan huomioon määräyksen mukaan palonkehityksen määrittämisessä. Rakennuksen palokuorma voidaan määrittää myös tilastollisena jakautumana, jota on havainnollistettu kuviossa 8. Nykyään on kuitenkin suositeltavaa tehdä mitoituspalokäyrän määrittämiseksi ns. Monte Carlo -laskenta. Tämä laskenta perustuu tuhansien satunnaisotannalla määritettyjen palotilanteiden laskentaan tietokonealgoritmillä. Laskennan tuloksena saadaan tuloskäyriä, joista voidaan valita tiettyä turvallisuustasoa vastaava fraktiili. [19, 20.]



Kuvio 8. Luonnollisen palon ja standardipalokokeen (SFS-EN 1636-1) aikälämpötilakäyrät [20].

Toiminnallisessa mitoituksessa noudatetaan paloluokkajaon periaatteita. Annetuista lukuarvoista voidaan kuitenkin poiketa rakennuksen koon ja henkilömäärärajoitusten suhteen, mikäli ratkaisu osoitetaan turvalliseksi. [19.]

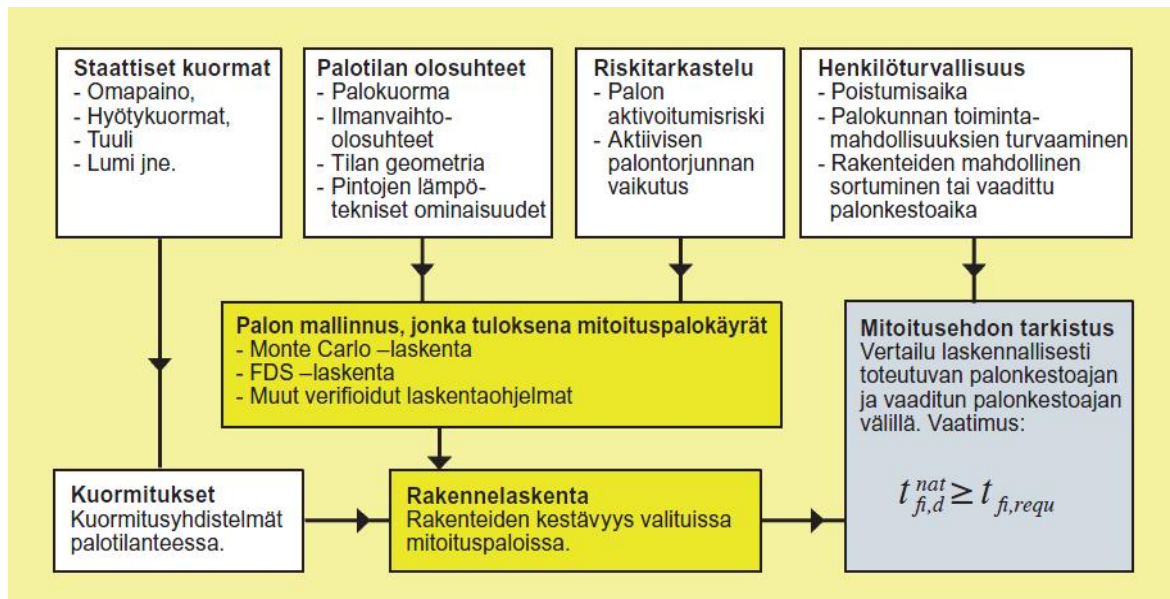
Kuviossa 9 on kuvattu toiminnallisen paloteknisen suunnittelun tärkeimpiä osatekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia. Ilmanvaihto on nostettu esiin omaksi erilliseksi tekijäkseen.



Kuvio 9. Toiminnallisen paloteknisen suunnittelun tärkeimmät osatekijät ja niiden väliset riippuvuudet [19].

Olennainen osa toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa on palon syttymisen estäminen. Tavoitteena on estää ulkoinen palon syttyminen, esim. tuhopolton seurauksena. Myös teknisten asennusten paloturvallisuus otetaan huomioon. Mikäli tulipalo pääsee kuitenkin syttymään, toiminnallisessa suunnittelussa keskitytään erityisesti turvallisen poistumisen takaamiseen muiden turvallisuustoimenpiteiden ohella. [19.]

Kuviossa 10 on esitetty toiminnallisen rakenteellisen palomitoituksen kulku yleisessä tapauksessa. Paloturvallisuuden varmistaminen voidaan tehdä samaan tapaan kuin standardipaloon perustuvassa mitoituksessa; verrataan vaadittua palonkestoaikaa ($t_{nat/fi,requ}$) ja laskennallisesti toteutuvaa palonkestoaikaa ($t_{fi,d}$) toisiinsa. Näin saadaan yksinkertainen mitoitusehto, joka on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Oletettuun palonkehitykseen perustuvan rakenteellisen palomitoituksen kulku yksinkertaistettuna [20].

8.3 Käyttökohteet

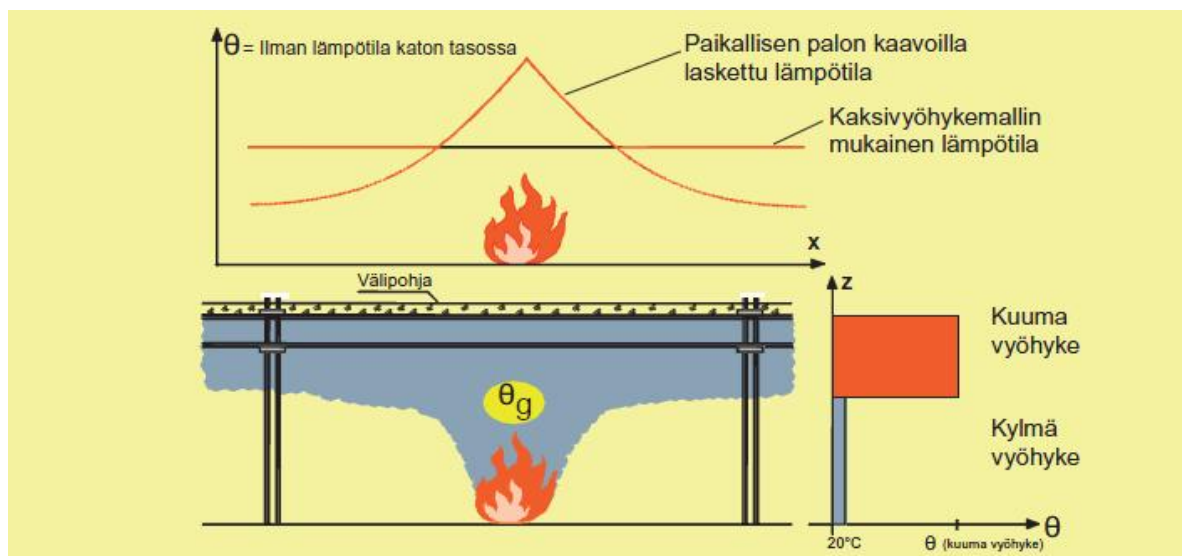
Toiminnallinen palotekninen suunnittelu tulee yleensä kysymykseen sellaisissa kohteissa, joiden palomitoittaminen ei onnistu tavanomaisten mitoitusten menetelmien puitteissa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 arvot eivät yksinkertaisesti sovellu esimerkiksi rakennuksiin, joiden palo-osastointi määräysten antamissa rajoissa ei onnistu suurien pinta-alojen takia. Toiminnalliseen palotekniseen suunnitteluun päädytään erikoiskohteissa, kuten maanalaisissa tiloissa tai ylikorkeissa rakennuksissa. Tällaisissa tiloissa palo-olosuhteet voivat muodostua poikkeuksellisen vaarallisiksi, jolloin edellytetään usein erityistoimenpiteitä, kuten poistumissimulointien suorittamista. [3, s. 36–37.]

Samassa hankkeessa käytetään usein rinnakkain toiminnallista ja tavanomaista mitoitustapaa. Alueiden rajaukset tulee tehdä tällöin mahdollisimman tarkasti, jotta tiedetään varmasti, millä fyysisellä alueella mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen. On myös erittäin tärkeää määrittää tarkasti, minkä vaatimuksen täytyminen osoitetaan. Näin pystytään varmistamaan kohteen riittävästä turvallisuustasosta. [3, s. 36.]

8.4 Palonkehityksen laskentamenetelmät

Palonkehityksen laskentaan toiminnallisessa mitoituksessa on eritasoisia menetelmiä: yksinkertaiset mallit, vyöhykemallit ja kenttämallit. Yksinkertaiset mallit ovat lähinnä esisuunnitteluvaiheessa tarkasteltavia parametrisia paloja. Vyöhykemallit voidaan jakaa yksi- ja kaksivyöhykemalleihin. Nämä mallit ottavat huomioon kaikki tärkeimmät paloon vaikuttavat tekijät. Kenttämallit puolestaan ovat ainoa keino laskea monimutkaisen geometrian omaavia kohteita. [7, s. 12.]

Yksivyöhykemallissa oletetaan, että palolämpötila on tasainen koko tilassa, kun taas kaksivyöhykemallissa oletuksena on, että paikallinen palo kehittää tilaan kaksi lämpötilavyöhykettä: kuumaa ja kylmää vyöhykettä [7, s. 12]. Kuviossa 11 on esitetty esimerkkitausta kaksivyöhykemallista.



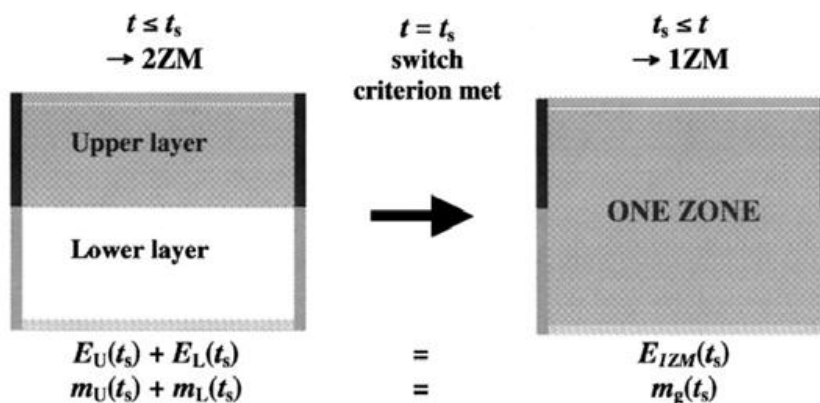
Kuvio 11. Paikallisen palon tapauksessa ennen lieskahdusta käytettävä kaksivyöhykemalli [20].

Esimerkkejä käytetyistä vyöhykemalliohjelmista on Yhdysvalloissa NIST-tutkimuslaitoksessa kehitetty CFAST-ohjelma (*The Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport*) sekä Belgiassa Liegen yliopistossa kehitetty OZone-ohjelma. CFAST on ehdottomasti tunnetuin ja eniten käytetty vyöhykemalliohjelma. OZone-ohjelmaa on myös käytetty paljon ja sen käyttöliittymä on kehitetty erittäin käyttäjätavalliseksi. [19.] Tässä insinööriyössä on hyödynnetty nimenomaan OZone-ohjelmaa, jota on esitelty tarkemmin seuraavassa luvussa 8.5.

8.5 OZone-vyöhykemalliohjelma

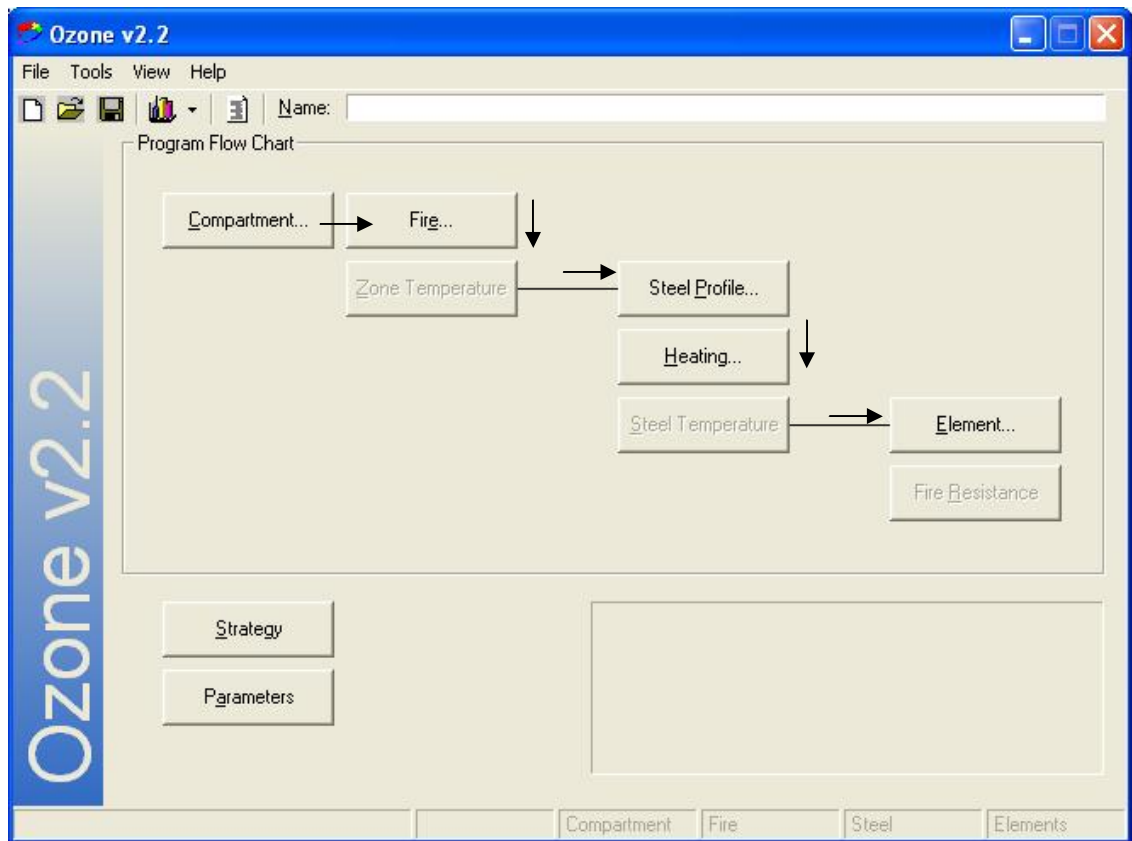
OZone V2 -vyöhykemalliohjelmisto on kehitetty osana eurooppalaista NFSC (*Natural Fire Safety Concept*) -projektia. Ohjelman ovat kehittäneet Cadorin ja Franssen Liegen yliopistossa, Belgiassa. OZone on kaikille avoin ilmaisohjelma, jonka voi ladata osoitteesta <http://www.argenco.ulg.ac.be/logiciel.php>. [21.]

OZone V2 kehitettiin insinöörien avuksi rakenne-elementtien suunnittelussa niiden altistuessa huonepaloille [22]. Ohjelma laskee teräksen lämpötilan kehittymisen valitulle teräsprofiilille ns. Hasemin mallilla. Käytettävissä on neljä erilaista palopatsasmallia, joista ohjelma käyttää Heskestadin patsasmallia oletusarvoisesti. OZonen avulla voi tehdä laskelmia joko yksi- tai kaksivyöhykemallin avulla, mutta myös vaihto kaksivyöhykemallista yhden vyöhykkeen mukaiseen malliin on mahdollinen. Kuviossa 12 on esitetty tämän vaihdon periaate. [23.]



Kuvio 12. OZone vaihtaa automaattisesti laskennassa käytetyn vyöhykemallin, kun tietty kriteeri täyttyy. Kriteerin voi tarvittaessa määrittää itse [21].

OZonen käyttöliittymä on rakennettu erittäin selkeäksi. Alkuvalikossa määritellään laskennan lähtötiedot vaiheittain kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. OZonen aloitusvalikko.

Compartment-osiossa määritellään palo-osaston mittatiedot, kuten huonekorkeus ja katon muoto. Tila voidaan valita suorakaiteen muotoiseksi tai vapaamuotoiseksi. Rajoituksena muodon valinnalle on seinien lukumäärä. Niitä voidaan määrittää vain neljä kappaletta. Jos osasto valitaan vapaamuotoiseksi, huoneen korkeus voidaan määrittää ainoastaan vakioarvona. Compartment-osiossa voidaan määrittää myös koneellinen savunpoisto. Näiden määrä on rajoitettu kolmeen.

Geometrian määrittämisen yhteydessä voidaan määrittää myös seinä-, katto- ja lattiamaateriaalit. Samalla määritetään myös mahdolliset aukot näissä pinnoissa. Materiaalikerroksia voidaan määrittää neljä ja OZonella on valmiiksi joitain yleisimpiä materiaalitietoja muistissa. Käyttäjä voi määrittää materiaaleja myös itse. OZonesta löytyy myös teräksen palosuojusmateriaalien kirjasto, jossa on listattuna yleisimmät palosuojamateriaalit. [21.]

Fire-kohdassa määritellään tulipaloon vaikuttavat tekijät, kuten palokäyrän valinta, maksimipaloalue ja palon korkeusasema. Palo-osaston käyttötapa määritellään myös

tässä kohdassa. OZone ehdottaa oletusarvoisesti NFSC-palokäyrää, joka viittaa eurooppalaisessa luonnollisen palon tutkimusprojektissa (NFSC 2005) selvitettyihin tilastollisiin arvoihin. [21.] NFSC-käyrä antaa siis standardipalokäyrästä poikkeavia, lähempänä todellisen tulipalon aiheuttamia arvoja. NFSC-käyrän käyttö tulee siis harkita tapauskohtaisesti. Palokäyrän voi määrittää myös itse syöttämällä tarvittavat lukuarvot taulukkomuodossa ohjelmaan. Esim. standardipalokäyrän mukaiset arvot voi kopioida suoraan Excel-tilukosta OZoneen, jolloin saadaan määritettyä teräsrakenteen lämpötilakehitys standardikäyrän mukaan.

Kun palotila on määritetty ja vallitsevat palo-olosuhteet valittu, ohjelma pystyy määrittämään palovyöhykkeessä vallitsevan lämpötilan. Tarvittaessa vyöhykelämpötilan määrittämiseen käytettyjä parametreja voidaan muuttaa. Jos näitä asetuksia ei muuteta, OZone käyttää oletusarvoisesti 1- ja 2-vyöhykemallin yhdistelmää ja Heskestadin palomallia laskennassa. Muita palomallivaihtoehtoja ovat McCaffreyn, Thomaksen ja Zukoskin mallit.

Steel Profile -osiossa määritellään, onko kyseessä palosuojattu vai suojaamaton teräsprofiili, kuinka monelta sivulta profiili on altistunut palolle ja mikä profiilityyppi on kyseessä. Heating-kohdassa määritellään palon sijainti suhteessa tarkasteltavaan rakenteeseen ja muut lämmönsiirtymiseen vaikuttavat tekijät. Näiden määritysten jälkeen ohjelma laskee teräksen lämpötilakehityksen valituissa olosuhteissa.

Element-kohdassa määritellään rakenneosan kuormitukset. Tarkasteluvaihtoehtoina on vedetty, puristettu tai taivutettu sauva. Jokaisessa kuormitustapauksessa asetetaan mitoituskuorman arvo palotilanteessa sille varattuun kohtaan, jonka jälkeen määritellään muut tarvittavat tekijät, kuten kiepahdustukien etäisyys (taivutettu sauva). Kuormitusten määrittämisen jälkeen saadaan selville rakenneosan palonkesto aika.

OZone V2 soveltuu hyvin suljetun tilan lämpötilojen määrittämiseen paikallisen tai täysin kehittyneen palon tapauksessa. Ohjelma soveltuu erinomaisesti myös kantavien teräsrakenteiden palonkestoajan määrittämiseen. Ohjelman heikkouksia ovat muutamat puutteet palo-osaston geometrian määrittämisessä ja laskelmien perustana käytetyt eurokoodien esistandardit. Uudempaa versiota, joka perustuisi pelkästään varsinaisiin EN-standardeihin, ei ole vielä julkaistu. [21.] Ohjelman käyttörajoitukset tulevat

vastaan, jos palotila on kovin suuri tai monimuotoinen. Tämän tyyppisessä tilassa on todennäköisesti enemmän seiniä, aukkoja tai savunpoistoja kuin ohjelma antaa määrittää. Tällöin laskentaa joudutaan yksinkertaistamaan rajusti, eikä simulointi välttämättä vastaa tarpeeksi todellisuutta.

8.6 Toiminnallisen palomitoituksen hyväksyttävyyden varmistaminen

Toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu on hyväksytty menettely rakenteellisen paloturvallisuuden varmistamiseksi sekä kotimaisissa että eurooppalaisissa viranomaismääräyksissä [20]. Toiminnallisessa palomitoituksessa korostuu suunnittelijoiden ammattitaito ja pätevyys, sekä yhteistyö viranomaisten kanssa.

Toiminnallisen palomitoituksen laskennassa joudutaan tekemään jonkin verran yksinkertaistuksia tulipaloilmiön monimutkaisuuden ja ennalta-arvaamattomuuden takia. Jotta toiminnallinen mitoitus voidaan hyväksyä, on viranomaisen vakuutettava siitä, että mitoituksessa on saavutettu riittävä turvallisuustaso. Mitoituksen suorittaja on se, joka vakuuttaa, että laskelmat on suoritettu oikein. [12.] Tämän takia erikoiskohteisiin vaaditaan yleensä paloturvallisuussuunnittelija, jolla tulee olla riittävä pätevyys alan suunnittelutehtävistä.

Toiminnallisen palomitoituksen hyväksyttävyyden varmistaminen vaatii hyväksymiskriteereiden määrittämistä. Nämä kriteerit määritetään yhdessä pelastus- ja/tai rakennusvalvontaviranomaisten kanssa palosuunnittelun aloituspalaverissa jo ennen laskennan aloittamista. [24.] Kriteerit asettavat mitan suunnitteluratkaisun turvallisuudelle [20].

Laskennassa käytetyt yksi- ja kaksiväyhykemallit ottavat huomioon kaikki standardin EN 1991-1-2 kehittyneeltä palomallilta edellyttämät seikat: kaasun ominaisuudet, massan vaihtumisen ja energian vaihtumisen [20]. Näin ollen ohjelmien käyttö on hyväksyttävää, kunhan varmistutaan suunnittelijan pätevyydestä ja soveltuvuudesta kohteen toteutukseen.

Osana insinööriä suoritettiin kyselytutkimus (kts. liite 1) rakennesuunnittelijoille, jotka tekevät työssään palomitoitusta. Kyselyyn vastanneista suurimmalle osalle toiminnallinen mitoitus oli vieras. Taulukkomitoitus olikin ylivoimaisesti käytetyin mitoitus tapa; kyselyyn vastanneet arvioivat käyttävänsä taulukkomitoitusta lähes 100

%.sti. Muutama vastanneista kertoi käyttäneensä toiminnallista palomitoitusta muutamia kertoja erikoiskohteissa. Suurin osa vastanneista uskoi kuitenkin, että saattaisi suorittaa tarvittavat toiminnallisen palomitoituksen tarkastelut itse, jos käytössä olisi tarvittavat työkalut.

Kun palomitoitus päätetään suorittaa toiminnallisen palomitoituksen avulla, on suunnittelijoiden pätevyys varmistettava. Rakennesuunnittelija voisi siis olla mahdollisesti täysin pätevä henkilö suorittamaan tämä tehtävä, kunhan saadaan riittävä näyttö suunnittelijan osaamisesta. Toiminnallinen palomitoitus vaatii siis aina kohdekohtaista erikoissuunnittelua.

9 Mitoitusmenetelmien vertailu

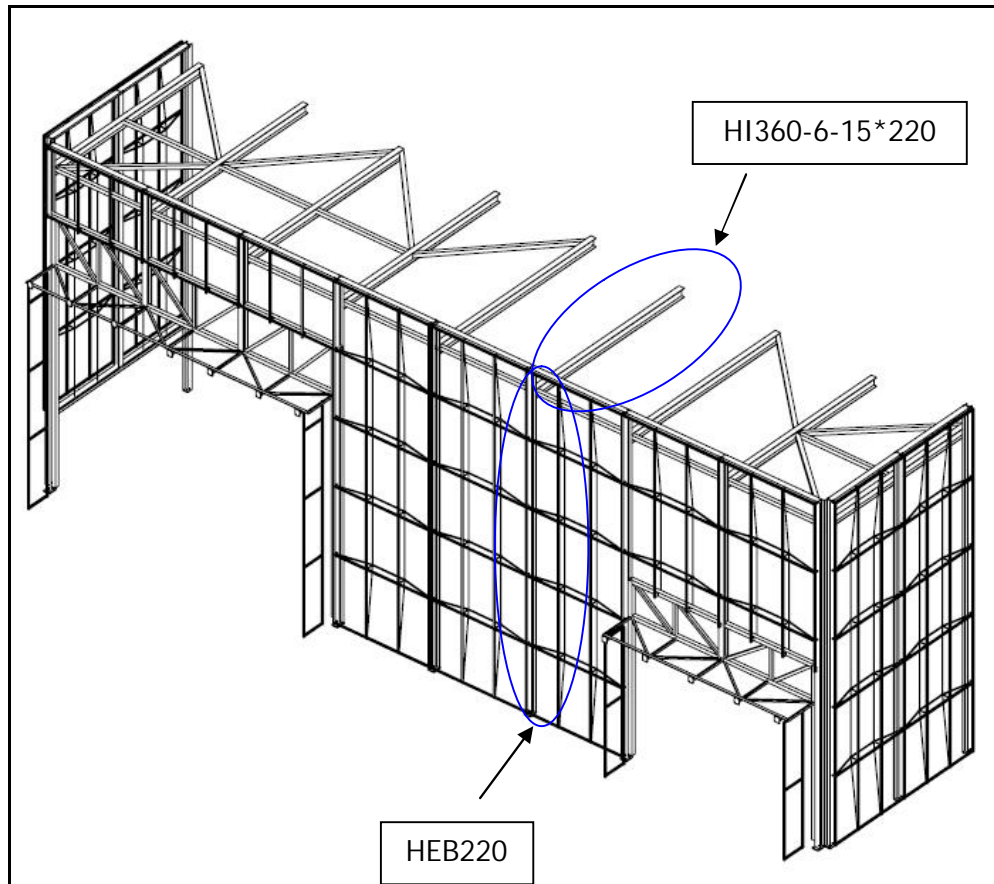
Tässä luvussa käydään läpi vertailua OZone-ohjelmalla suoritettua ja Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisen palomitoituksen välillä. OZone-ohjelma edustaa vertailussa eurokoodin mukaista, toiminnallista mitoitusta ja Suomen rakentamismääräyskokoelman menetelmät taulukkoarvoihin perustuvaa ns. standardimitoitusta.

Vertailussa tutkittiin OZone-ohjelman hyötyjä taulukkomitoitukseen verrattuna esimerkkikohteen avulla. Tavoitteena oli selvittää, voisiko esimerkkikohteen rakenteet jättää palosuojaamatta, jos palomitoituksessa käytettäisiin tilastollisiin lukuarvoihin perustuvaa palokäyrää (NFSC Design Fire) standardipalokäyrän sijaan. Tämän takia lämpötilalaskelmia ei suoritettu lainkaan suojuetuille rakenteille.

9.1 Esimerkkikohte

Esimerkkikohteeksi valittiin suorakaiteen muotoinen lasiaula, jonka runkohahmotelma esitetään kuvassa 3. Rakennuksen käyttötavaksi valittiin sairaala, jolloin turvallisuustaso on normaalia korkeampi. Kantavien rakenteiden palonkestovaatimus on 60 min.

Malliaulassa on kolme suurta oviaukkoa ja savunpoisto on hoidettu painovoimaisesti savunpoistoluukkujen kautta. Savunpoistoluukkujen tarkkoja mittatietoja ei kuitenkaan tiedetty, joten ne jätettiin laskuissa huomioimatta. Tarkastellut rakenteet olivat yläpohja palkki, HI360-6-15*220 ja kantava runkopilari, HEB220.



Kuva 3. Esimerkkirakenteet [25].

Yksinkertaistuksena laskelmissa ei ole huomioitu palkin kiepahdustuenta. Kuormitukset on kerätty karkeasti, suuruusluokaltaan oikeassa suhteessa.

9.2 Kuormitukset

Eurokoodit ottavat palotilanteen kuormitukset hieman eri tavalla huomioon kuin kansalliset rakentamismääräykset. Molemmissa käytetään kuormien ominisarvoja, mutta hyötykuormat huomioidaan erilailla. B7:ssä myös hyötykuormat otetaan laskennassa huomioon ominaiskuormina, mutta erityyppisille hyötykuormille annetaan pienennettyjä arvoja. Esim. oleskelu- ja kokoontumiskuormana voidaan käyttää B7:n mukaan arvoa $0,75 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuormana 50 %:n arvoa. Eurokoodi puolestaan käyttää hyötykuorman arvoina joko pitkäaikaisarvoa tai tavallista arvoa riippuen siitä, onko luonnonkuorma määräävä mitoituskuorma vai ei. [1, 26.]

Esimerkitapauksen laskennassa ei huomioitu näitä kuormituseroja, vaan lumikuormat laskettiin molemmissa tapauksissa 50 %:n arvolla.

9.3 B7:n mukainen palomitoitus

Esimerkkitapauksessa tarkasteltiin teräksen lämpötilakehitystä standardipalokäyrän mukaisissa palo-olosuhteissa. Tarkastelussa haettiin rakenteen kriittisen lämpötilan arvo esimerkin mukaisessa kuormitustilanteessa ja selvitettiin lämpötilakehityksen perusteella, millä ajanhetkellä rakenne saavuttaa sen. Näin saatiin selville, voiko rakenne olla palotilassa suojaamattomana vaaditut 60 min.

Esimerkkikohteen palkille HI360-6-15*220 laskettiin kriittinen lämpötila taulukon 4 avulla. Rakenneteräksen lujuus suhteessa teräksen myötörajaan +20 °C:ssa (f_{yt}/f_y) määritettiin taivutuskestävyyden avulla:

Taivutusmomentti:

$$M_T = 139 \text{ kNm}$$

Kuormituksen aiheuttama jännitys:

$$\begin{aligned}\sigma_T &= M_T/W_x \\ &= (139 \cdot 10^6) \text{ Nmm} / (904 \cdot 10^3) \text{ mm}^3 \\ &= 153,8 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Jännityksen suhde myötörajaan +20 °C:ssa:

$$\begin{aligned}\sigma_T/f_y &= 153,8/235 \\ &= 0,654\end{aligned}$$

Suhdeluvun mukaan taulukosta 4 määritettiin teräksen kriittisen lämpötilan arvo interpoloimalla:

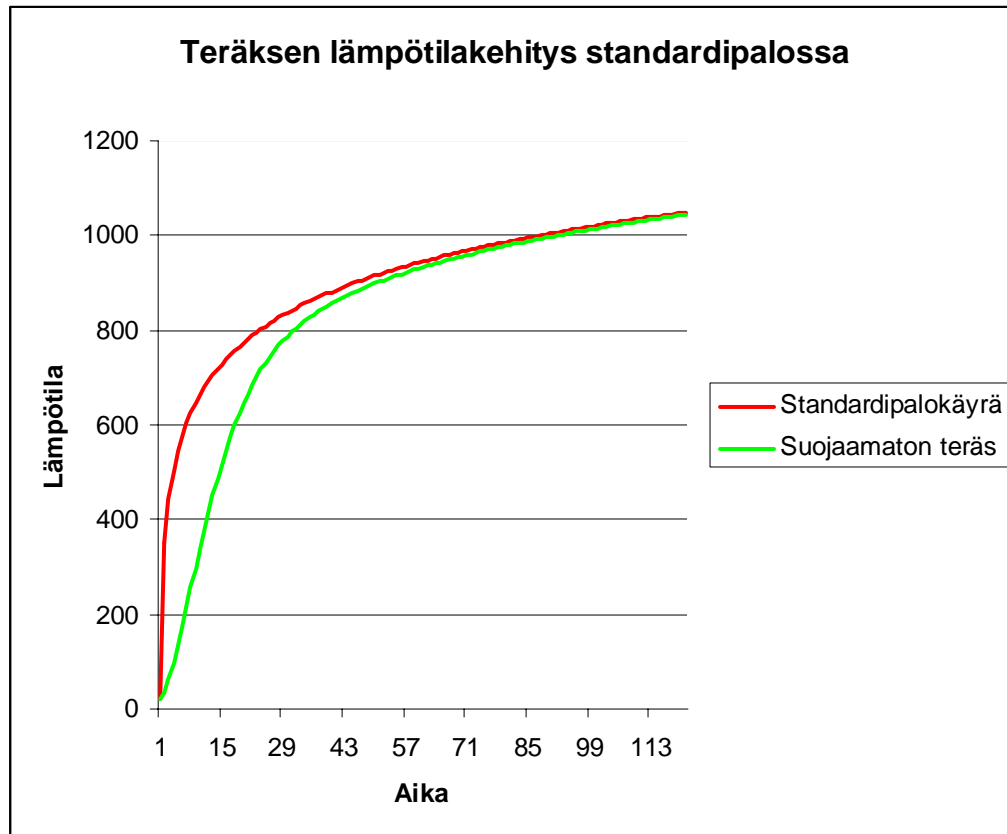
Teräspalkin kriittinen lämpötila taivutuskestävyyden mukaan:

$$T_{cr} = 377 \text{ °C}$$

Taulukko 4. Lämpötilan T_s vaikutus rakenneteräksen lujuuteen. Teräksen myötörajan (f_y) arvo on arvo +20 °C:ssa. [27.]

$\frac{f_{yT}}{f_y}$	T_s [°C]	$\frac{f_{yT}}{f_y}$	T_s [°C]	$\frac{f_{yT}}{f_y}$	T_s [°C]
0,01	1025,2	0,35	548,5	0,68	362,0
0,02	956,3	0,36	542,3	0,69	356,3
0,03	912,8	0,37	536,2	0,70	350,5
0,04	880,2	0,38	530,1	0,71	344,8
0,05	853,8	0,39	524,1	0,72	338,9
0,06	831,3	0,40	518,2	0,73	333,0
0,07	811,7	0,41	512,3	0,74	327,1
0,08	794,2	0,42	506,5	0,75	321,0
0,09	778,3	0,43	500,7	0,76	314,9
0,10	763,6	0,44	494,9	0,77	308,7
0,11	750,1	0,45	489,2	0,78	302,5
0,12	737,4	0,46	483,6	0,79	296,1
0,13	725,5	0,47	478,0	0,80	289,6
0,14	714,3	0,48	472,4	0,81	282,9
0,15	703,6	0,49	466,8	0,82	276,2
0,16	693,4	0,50	461,2	0,83	269,2
0,17	683,6	0,51	455,7	0,84	262,1
0,18	674,2	0,52	450,2	0,85	254,9
0,19	665,2	0,53	444,7	0,86	247,4
0,20	656,4	0,54	439,2	0,87	239,6
0,21	648,0	0,55	433,8	0,88	231,6
0,22	639,7	0,56	428,3	0,89	223,2
0,23	631,8	0,57	422,8	0,90	214,5
0,24	624,0	0,58	417,4	0,91	205,4
0,25	616,4	0,59	411,9	0,92	195,7
0,26	609,0	0,60	406,4	0,93	185,4
0,27	601,8	0,61	400,9	0,94	174,3
0,28	594,7	0,62	395,4	0,95	162,2
0,29	587,8	0,63	389,9	0,96	148,8
0,30	581,0	0,64	384,4	0,97	133,4
0,31	574,3	0,65	378,8	0,98	114,9
0,32	567,7	0,66	373,2	0,99	90,0
0,33	561,2	0,67	367,6	1,00	20,0
0,34	554,8				

Kriittisen lämpötilan määrittämisen jälkeen laskettiin HI-palkin lämpötilakehitys standardipalokäyrän mukaisissa palo-olosuhteissa. Kuviosta 13 voidaan havaita, miten tarkasti teräksen lämpötilakehitys seuraa standardipalokäyrää. Kun palkin lämpötilakehitys saatiin ratkaistua, tarkasteltiin, millä ajan hetkellä rakenne saavuttaa kriittisen lämpötilansa. Vastaukseksi saatiin hieman alle 10 min. HI-palkki saavuttaa siis kriittisen lämpötilansa jo 10 minuutin päästä palon syttymisestä. Tämän laskennan perusteella yläpohjapalkki tulee siis ehdottomasti palosuojata.



Kuvio 13. Teräspalkin HI360 lämpötilakehitys standardipalossa.

Esimerkkikohteen pilari HEB 220 laskettiin vastaavalla menetelmällä kuin palkkikin, mutta taivutusjännityksen sijasta käytettiin puristusjännitystä:

Puristusjännitys:

$$\begin{aligned}\sigma_c &= N/A \\ &= 97,2 \cdot 10^3 \text{ N} / 9104 \text{ mm}^2 \\ &= 10,7 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Jännityksen suhde myötörajaan +20 °C:ssa:

$$\sigma_c / f_y = 0,0454$$

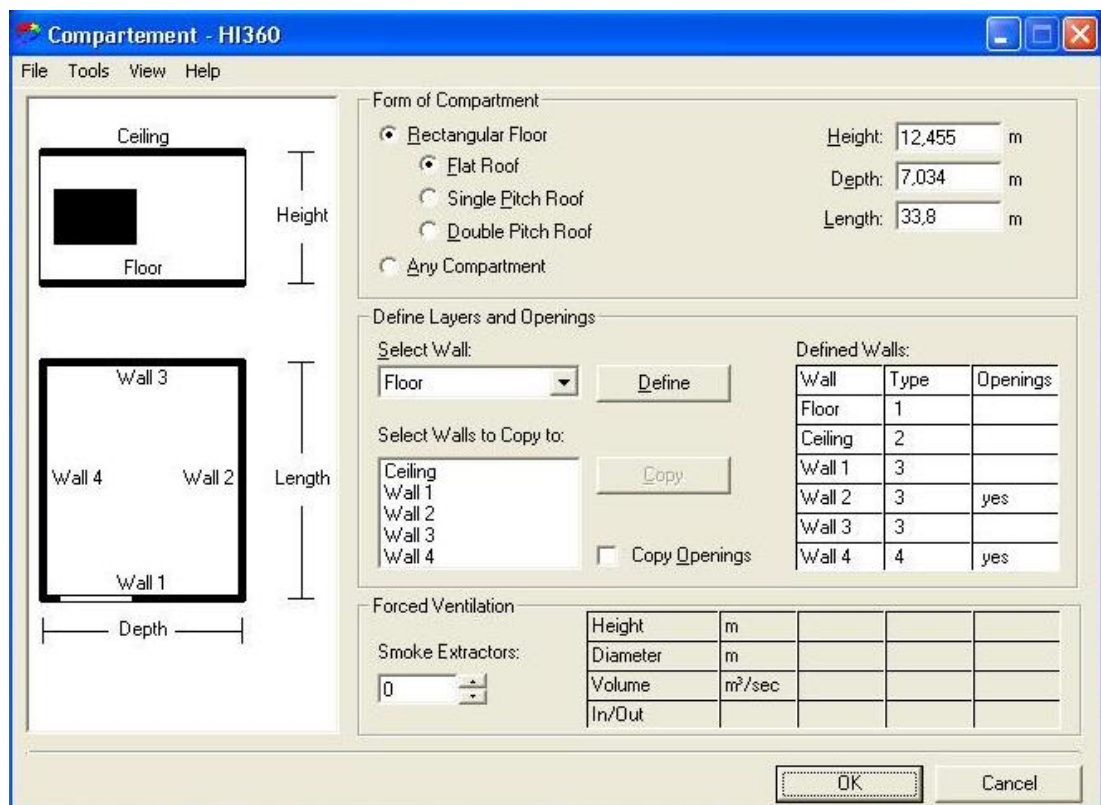
Teräspilarin kriittinen lämpötila puristuskestävyyden mukaan:

$$T_{cr} = 868 \text{ °C}$$

Pilarin lämpötilakehitys laskettiin myös standardipalokäyrän mukaisissa palo-olosuhteissa. Pilari HEB 220 saavuttaa kriittisen lämpötilansa 41 minuutin kohdalla. Pilarikaan ei näin ollen täytä R60 vaatimusta ilman toimenpiteitä.

9.4 Eurokoodiin perustuva mitoitus OZone-ohjelman avulla

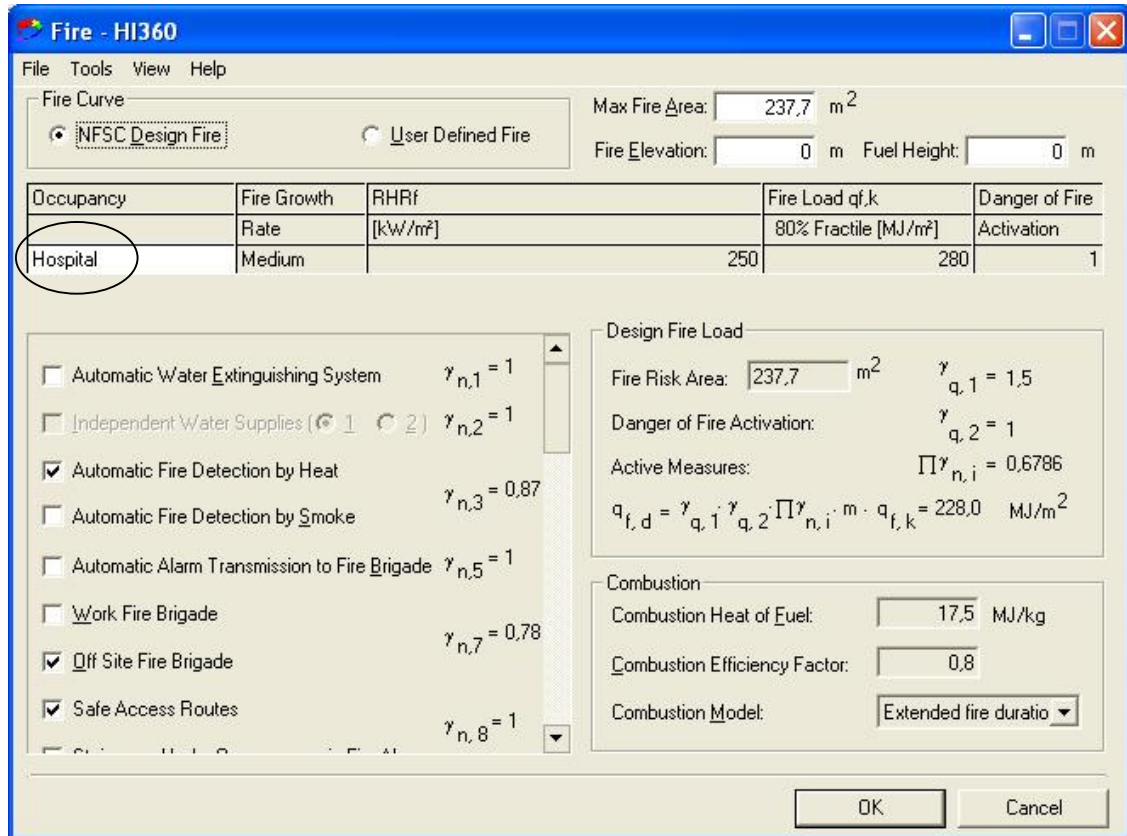
Yläpohjapalkin kriittinen lämpötila ja rakenteen lämpötilakehitys määritettiin myös OZone-ohjelmalla. Ohjelmaan määriteltiin palo-osaston mitat kuvassa 4 esitetyllä tavalla. Forced Ventilation -kohdassa voitaisiin määrittää savunpoistoluukut, mutta mittatietojen puuttuessa tämä tarkastelu jätettiin tekemättä. Savunpoistojen vaikutus esimerkiksi teräsrakenteen lämpötilakehitykseen on kuitenkin melko pieni, joten suurta virhettä laskelmiin ei synny.



Kuva 4. Palo-osaston määrittäminen OZone-ohjelmalla.

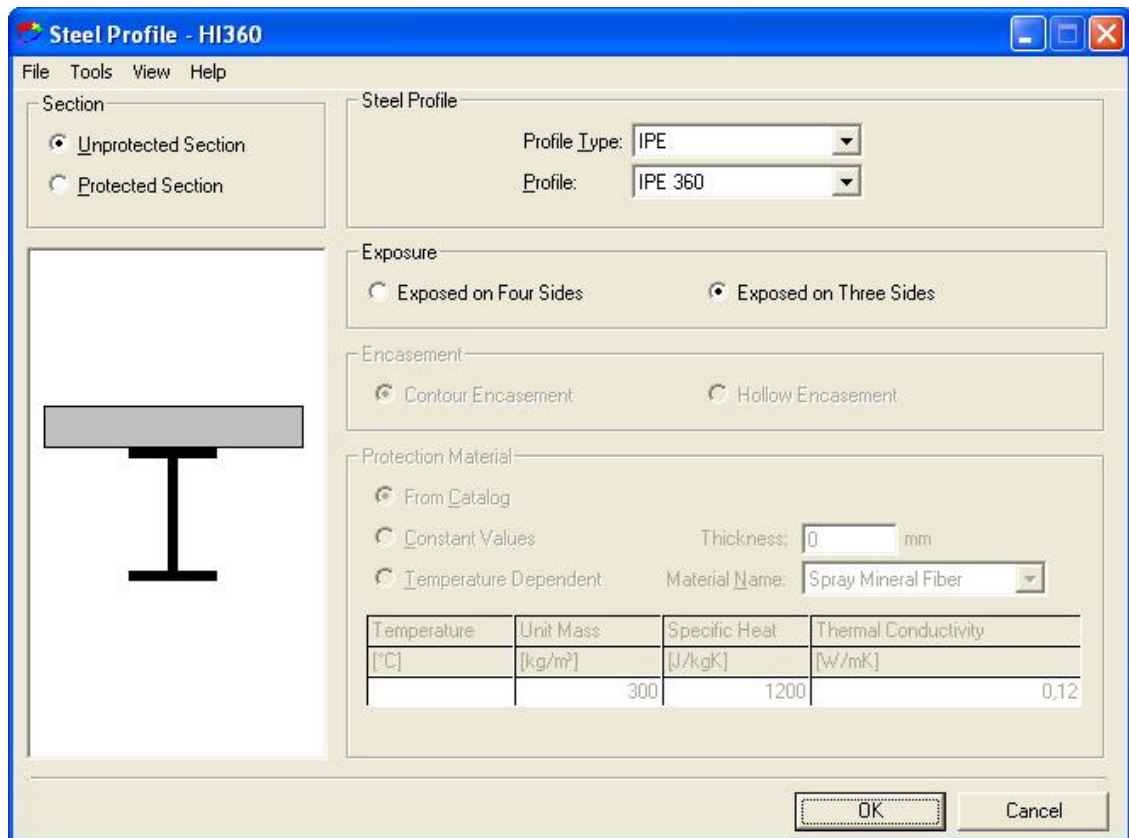
Tämän jälkeen valittiin laskennassa käytettävä palokäyrä, sekä määriteltiin muut tulipalon laskennalliset tekijät, kuten maksimipaloala lattiapinta-alan mukaan. HI-palkin laskennassa valittiin ohjelman ehdottama NFSC-käyrä, joka kuvaa todellisempaa tulipalon kehittymistä kuin standardikäyrä. Käyttötavaksi valittiin sairaala, mikä määrittelee automaattisesti kaikki muutkin paloon vaikuttavat valinnat, kuten automaattiset palonhävityslaitteet, turvalliset poistumistiet ja savunpoistojärjestelmät. Näitä aktiivisia palontorjuntatoimenpiteitä voidaan valita siis kohteeseen soveltuvalla tavalla. Ohjelma käyttää palokuorman laskentaan valittujen palontorjuntatoimenpiteiden mukaisia ker-

toimia. Näiden parametrien määrittäminen on siis laskennan kannalta erittäin oleellinen vaihe, joka eroaa käsinlaskennasta huomattavasti. Käsinlaskennassa aktiivisia palontorjuntatoimenpiteitä ei huomioitu, kun taas OZonella laskettuna nämä toimenpiteet valittiin ohjelman oletusasetusten mukaisesti.



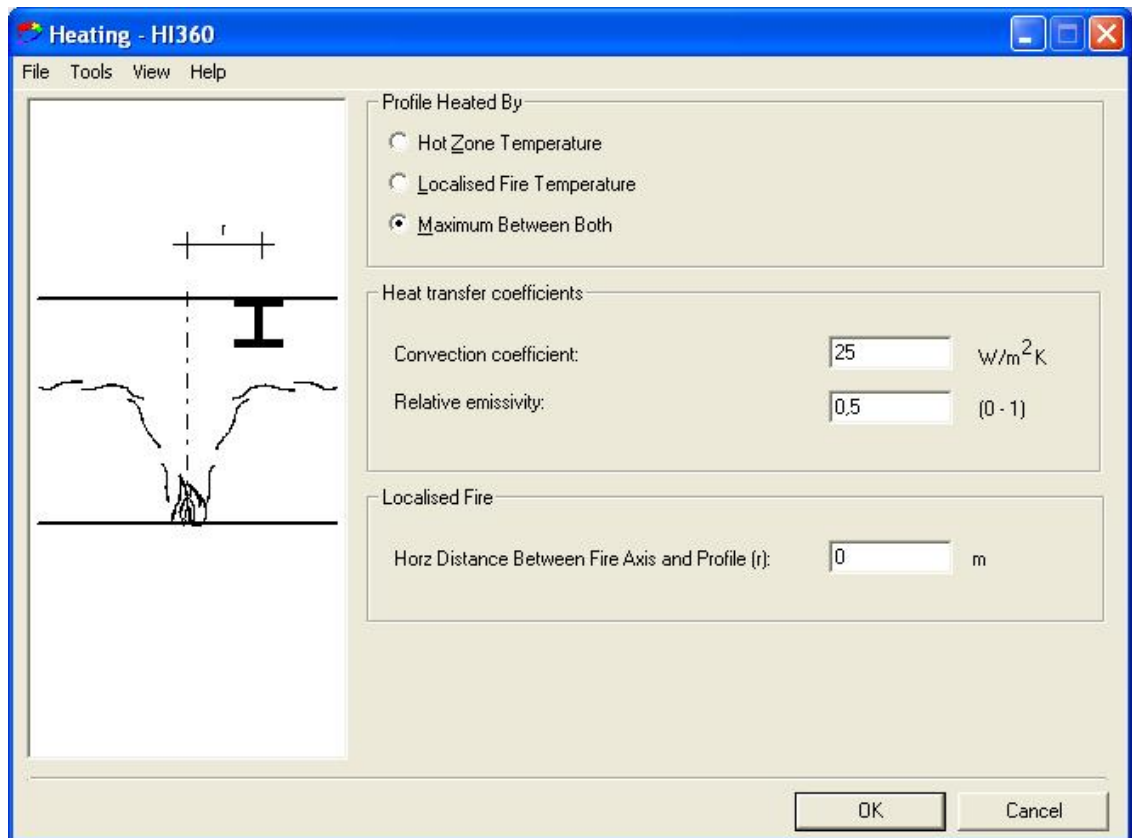
Kuva 5. Palokäyrän valinta ja muiden tulipalon parametrien määrittäminen.

Palo-osaston ja tulipalon parametrien määrittämisen jälkeen suoritettiin vyöhykelämpötilan laskenta, jonka jälkeen valittiin käytetty teräsprofili. Profilitietoihin määriteltiin kuvan 6 mukaisesti, että laskennassa käytetään IPE 360 profiilia, joka on suojaamaton ja altistunut kolmelta sivulta palolle.



Kuva 6. Profiilitietojen määrittäminen OZonessa.

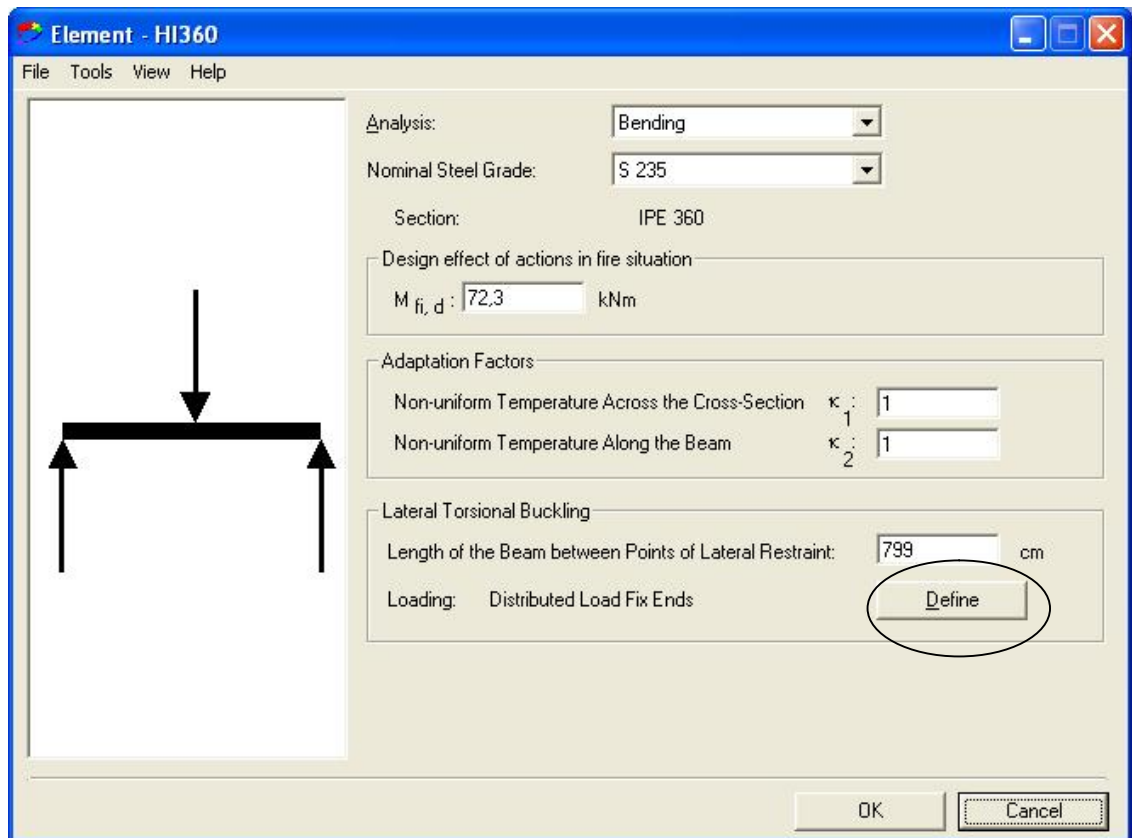
OZone antaa määrittää myös sen, millä etäisyydellä ja miten tulipalo vaikuttaa profiiliin. Tulipalon etäisyys tarkasteltavasta profiilista on merkittävä tekijä profiilin lämpötilakehitystä laskettaessa. Mikäli palo valitaan vaikuttamaan kauas profiilista, on sen lämpötilakehitys paljon pienempi kuin lähellä sijaitsevan palon tapauksessa. Etäisyyden valinnalla voidaan siis vaikuttaa merkittävästi profiilin lämpötilakehitykseen, minkä takia valinta tulee suorittaa mahdollisimman todenmukaisesti ja mieluiten hieman liioitellustikin, jotta laskentaan saadaan riittävä varmuus. Se, miten tulipalo kuumentaa profiilia, on myös määriteltävä riittävän varmasti. Vaihtoehtoina ovat kuumen vyöhykkeen ja paikallisen palon tapaukset tai näiden yhdistelmä. Kuuma vyöhyke tarkoittaa palopatsaan yläosaa, jossa erilaiset palo- ja savukaasut kuumentavat ilmaa ja näin myös palolle altistuvaa teräsprofiilia. Paikallinen palo rajoittuu syttymiskohtaansa ja sen paloteho on pieni suhteessa huonekokoon. Kuvassa 7 on näytetty tässä laskentatapauksessa valitut arvot.



Kuva 7. Profiilin lämpenemistapaukset.

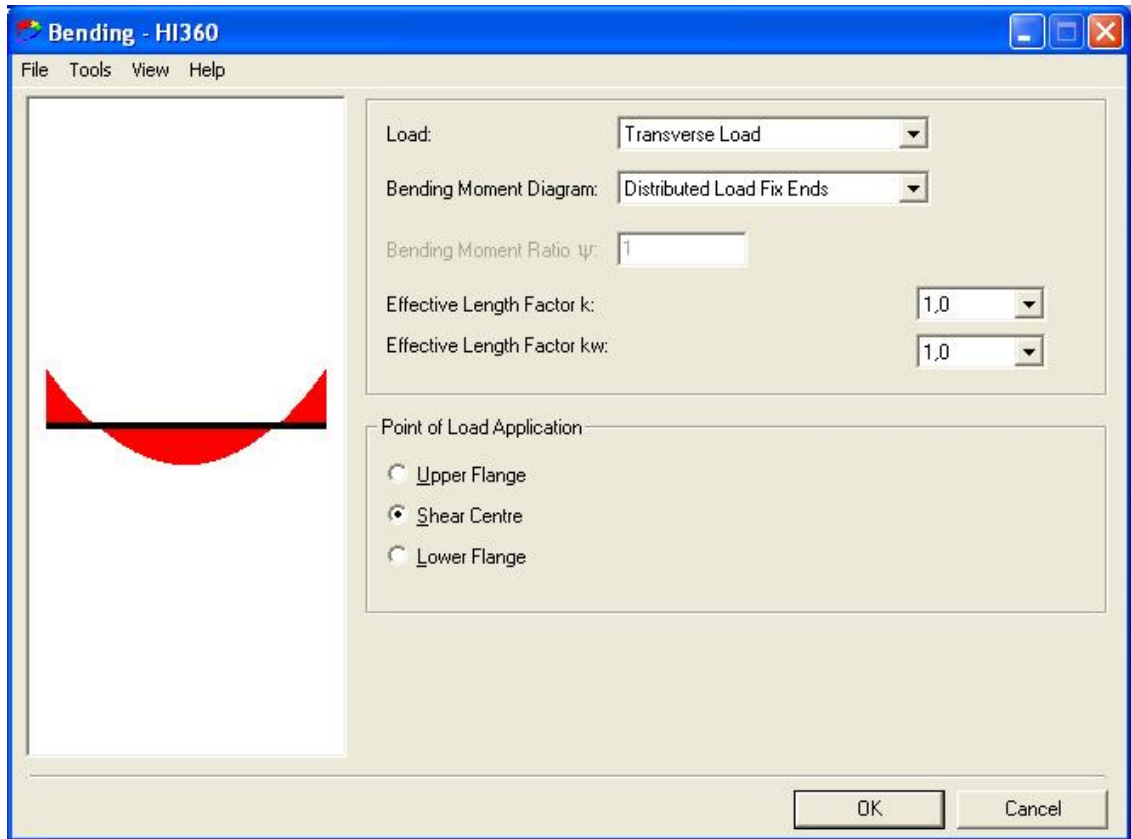
HI-profiilin lämpenemistapaukseksi valittiin paikallisen palon ja kuumen vyöhykkeen välinen maksimiarvo. Tämä on OZonen oletusasetus. Lämmönsiirtymisen kertoimet annettiin myös olla oletusarvoissaan, kuten kuvassa 7 nähdään. Paikallisen palon etäisyys profiilin keskiakselista on OZonessa oletuksena 0 m eli tulipalon oletetaan olevan suoraan profiilin alapuolella. Tätä oletusta käytettiin myös esimerkkikohteen laskennassa.

Teräsprofiilin lämpötilakehitys saadaan laskettua, kun edelliset tiedot on määritelty. Tämän jälkeen voidaan määrittää rakenteen toiminnallinen malli kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Rakenne-elementin toiminnan määrittäminen OZonella.

Define-valinnan kautta päästään määrittelemään vaikuttavan voiman tyyppi ja tuentatapa. Esimerkkilaskennassa valittiin jäykät tuet ja tasaisesti jakautunut kuorma, kuvan 9 mukaisesti. Tässä vaiheessa voidaan määrittää myös, syntyykö rakenteeseen vääntöä. Esimerkkitapauksessa valittiin kuorman vaikuttavan vääntökeskiön kautta, joten vääntöä ei synny.



Kuva 9. Kuormitusten määrittäminen OZonella.

Kuormitusten määrittämisen jälkeen OZone laskee profiilin palonkestävyyden ja laskennasta voidaan tulostaa liitteen 2 mukainen raportti. Tässä laskentatapauksessa HI-palkin kriittiseksi lämpötilaksi saatiin 411 °C, mikä on huomattavasti enemmän kuin ohjelman laskema maksimilämpötila 133,13 °C. Tämän mukaan palkkia ei siis tarvitsisi palosuojata.

Pilarille tehtiin vastaavanlaiset tarkastelut OZonella kuin palkille. Laskennassa käytettiin samoja oletuksia kuin palkin laskennassa ja näin saatiin teräsprofiilin kriittiseksi lämpötilaksi 678,1 °C. Ero käsin laskettuun arvoon johtuu siitä, että OZone on huomioinut laskennassa myös nurjahduspituuden vaikutuksen. Kriittinen lämpötila on huomattavasti teräksen saavuttamaa maksimilämpötilaa 109,92 °C suurempi, joten palonkestojaksi saadaan vähintään 120 min. Pilarin laskentaraaportti on työn liitteenä (liite 3).

Sekä pilarin että palkin tapauksessa laskentaraaportteista (liite 2 ja liite 3) voidaan havaita "hyppäys" teräksen lämpötilakehityksen käyrässä n. 20 minuutin kohdalla. Tämä johtuu osittain valitusta lämpenemistavasta. Molemmissa tapauksissa profiilin läm-

penemistavaksi valittiin maksimiarvo paikallisen palon ja kuumen vyöhykkeen väliltä. Tämä valinta tehdään yleensä, kun halutaan huomioida suoraan profiiliin alapuolella sijaitsevan paikallisen palon vaikutus teräsprofiiliin lämpötilakehitykseen [21]. Myös kaasun lämpötilakäyrässä voidaan havaita vastaavanlainen harppaus 20 minuutin kohdalla. Tämä puolestaan johtuu aukkojen oletusasetuksesta, jonka mukaan kaikki määritellyt aukot aukeavat 20 minuutin kuluttua palosta (kts. liitteet 2 ja 3). Aukkojen täysaukeaminen aiheuttaa näin lisähapen virtauksen palotilaan, joka näkyy kaasun lämpötilan jyrkkänä nousuna.

9.5 Tulosten vertailu

OZonen arvot, jotka perustuvat tilastollisesti määritettyihin lämpötilakäyriin, kun käytetään palokäyränä NFSC-käyrää, antavat selkeästi suuremman palonkestoajan rakenteelle kuin standardikäyrään perustuvat käsinlaskennan arvot. Tämä oli odotettavissa oleva tulos, kun ajatellaan, kuinka paljon varmuutta standardipalokäyrä sisältää. Toisaalta OZonella lasketut teräksen lämpötilat vaikuttavat todenmukaisilta, kun mietitään aularakenteen suurta korkeutta suhteessa lattiatasossa vaikuttavaan tulipaloon.

Standardimitoituksessa lähdetään oletuksesta, että teräsrakenteiden palonkestoaikavaatimuksen ollessa vähintään 30 min. rakenteet on yleensä palosuojattava [27]. Käsinlaskentatapauksessa tämä oletamus osoittautui oikeaksi. Toisaalta käsinlaskennassa ei huomioitu aktiivisia palontorjuntatoimenpiteitä, joita voidaan sairaalarakennuksessa olettaa olevan. Myöskään viruman vaikutusta, joka alkaa näkyä muodonmuutoksissa teräsrakenteen lämpötilan ylittäessä 450 °C, ei huomioitu [27]. Mikäli rakenteet haluttaisiin käsinlaskennan tuloksista huolimatta toteuttaa ilman palosuojauksia, jouduttaisiin rakenteiden palonkestävyys osoittamaan toiminnallisen palomitoituksen keinoin tai muulla hyväksyttävällä tavalla.

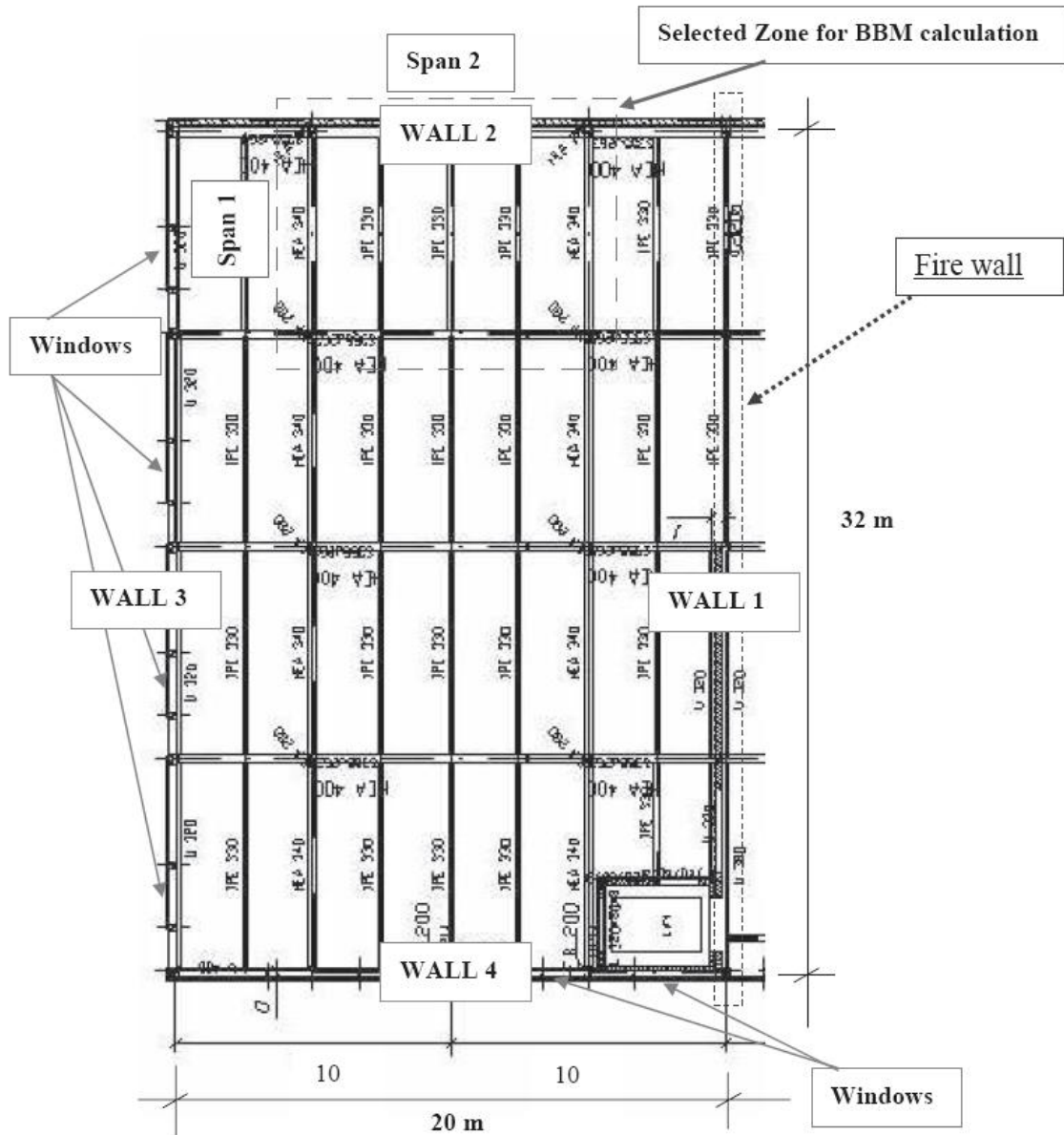
OZonen laskentatulosten perusteella kummaltakaan rakenteelta ei vaadittaisi palosuojauksia. Sekä palkin että pilarin laskennassa teräksen lämpötila ei ylitä missään vaiheessa kriittisen lämpötilan arvoa. Ohjelman avulla saatiin määritettyä erittäin nopeasti rakenteen lämpötilakehitys oletetussa palonkehityksessä. Tosin käytettävää palomallia, missä syttyvä tulipalo sijaitsee rakenteeseen nähden ja miten se käyttäytyy, tulisi harkita erittäin tarkkaan, jotta laskennasta saadaan mahdollisimman totuudenmu-

kaiset arvot. Tässä tapauksessa tulipalo ajateltiin lattiatasoon, suoraan rakenteen alapuolelle, mikä voisi olla melko todennäköinen ja varmallalla puolella oleva tilanne.

Kun laskentatietoja (liitteet 2 ja 3) tarkastellaan lähemmin, voidaan laskentatuloksissa havaita muutamia epäkohtia, kuten kaasun lämpötilakäyrän harppaus (selvitetty aiemmin luvussa 9.4) ja palon alhaiset lämpötilat. Nämä viittaavat siihen, ettei esimerkkikohdetta voida laskea OZonen oletusasetusten mukaisesti. Laskentaa varten tilassa vaikuttavaa tulipaloa tulisi analysoida tarkemmin ja lähtöarvot tulisi valita tämän analysoinnin perusteella.

9.6 Jatkolaskelmat OZonella

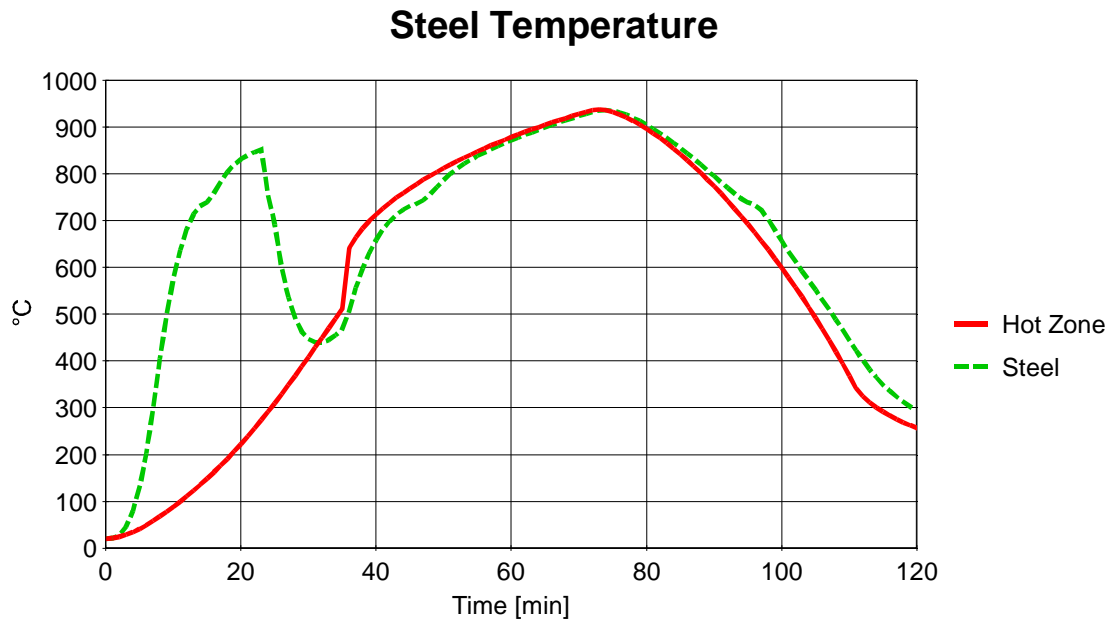
Koska esimerkkikohde osoittautui epäsovinnaksi toteuttaa ilman syvällisempää perehtymistä tulipalon dynamiikkaan tai aukkotekijöiden vaikutuksiin, OZonella suoritettiin vielä uudet tarkastelut tavanomaisemman kohteen avulla. Kohteeksi valittiin kuvan 10 mukainen toimistorakennus, jolle suoritettiin laskelmat OZonella samoilla oletusarvoilla kuin aulallekin luvussa 9.4.



Kuva 10. Uusi esimerkkikohde [21].

Uusi esimerkkikohde on suorakaiteenmuotoinen toimistorakennus, jonka ulkomitat ovat 20 m * 32 m ja huonekorkeus 3,7 m. Seinillä kolme ja neljä (kts. kuva 10) on ikkunoita yhteensä 6 kpl. Palo-osaston lattia on betonia, samoin katto. Katto on teräsbetoninen liittolaatta, jonka profiloitu alapinta huomioidaan laskemalla sen tehollinen paksuus standardin EN 1994-1-2 mukaisesti, sillä OZone pystyy laskemaan vain tasaisia pintoja [21]. Seinämateriaaliksi valittiin kevyet reikätiilet. Laskennassa ei ole huomioitu savunpoistoja ja palokäyränä käytettiin NFSC-käyrää, kuten aularakennuksessakin.

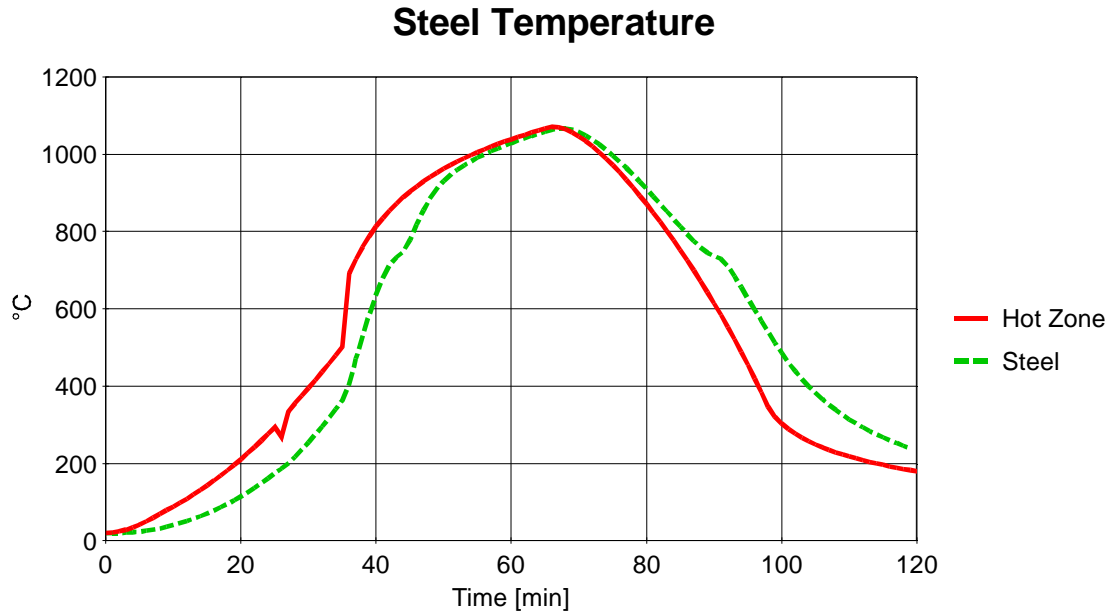
Laskelmissa tarkasteltiin suojaamatonta IPE 330 -kattopalkkia, joka altistuu palolle kolmelta sivultaan. Palkkia rasittaa palotilanteessa 20 kNm:n taivutusmomentti. Näiden määritysten mukaan palkille saadaan palonkestoajaksi 21,2 min. Kaasun lämpötila nousee palotilassa 1071 °C:een 66 minuutin kohdalla, kuten kuviosta 14 voidaan havaita.



Kuvio 14. IPE 330 -palkin lämpötilakehitys [21].

Kuviossa 14 voidaan havaita jälleen samankaltainen hyppäys teräksen lämpötilakäyrässä n. 20 minuutin kohdalla, kuten aularakennuksenkin tapauksessa. Tämä "piikki" määrittelee siis teräksen palonkestoajan.

Profiilin lämpenemistapaa päätettiin vaihtaa, jotta nähdään, miten teräksen lämpötilakäyrä muuttuu. Laskentatavaksi valittiin nyt kuuman vyöhykkeen tapaus, jolloin saatiin kuvion 15 mukaiset lämpötilakäyrät. Tällä laskentatavalla palkin palonkestoajaksi saatiin 45,2 min.



Kuvio 15. IPE 330 -palkin lämpötilakehitys kuumen vyöhykkeen laskentatapauksessa [21].

Näiden tarkastelujen perusteella nähdään, kuinka tärkeä tekijä lämpenemistavan valinta on teräsprofiilin lämpötilamäärityksen kannalta. Kuvion 14 mukaisessa laskennassa käytettiin valintaa, joka huomioi suoraan palkin alapuolella vaikuttavan paikallisen palon vaikutuksen laskennassa. Palonkestävyysaika puolittui tämän seurauksena. Kummassakin laskentatapauksessa IPE 330 -kattopalkki tulisi kuitenkin suojata, mikäli palonkestovaatimus olisi R60.

Näiden uusien tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että OZonella voidaan suorittaa laskelmia riittävällä tarkkuudella tavanomaisen kohteen tapauksessa ilman tulipalon syvällisempää analysointia. Laskennan lähtöarvot tulee kuitenkin valita aina tapauskohtaisesti ja jokaisen rakenteen kohdalla on syytä harkita tarkkaan, tuleeko paikallisen palon vaikutus huomioida laskelmissa vai ei.

10 Paloturvallisuussuunnittelu tulevaisuudessa

10.1 Eurokoodit

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelunormisto, jotka vielä tällä hetkellä koskevat vain uudisrakentamista. Tulevaisuudessa on mahdollista, että eurokoodit tulevat koskemaan myös korjausrakentamista, sillä korjausrakentamiselle ollaan suunnit-

telemassa todennäköisesti omia määräyksiä. Kaiken kaikkiaan suunnittelussa ollaan siirtymässä joka osa-alueella eurokoodeihin ja koko Euroopan yhteisiin suunnitteluperiaatteisiin. [12, 28.]

Palokonsulttien työskentelyyn eurokoodit tuskin tulevat oleellisesti vaikuttamaan, sillä osa nyt käytössä olevista suunnitteluvälineistä on syntynyt eurokoodikehityksen pohjalta (mm. OZone). Rakennesuunnittelussa eurokoodeihin siirtyminen tulee olemaan pitkä prosessi, joka voi vaikeuttaa mm. pienten suunnittelufirmojen toimintaa. Eurokoodit ovat osittain vaikeita tulkita, minkä takia myös virheiden mahdollisuus laskennassa kasvaa, kun suunnittelijalla ei ole ”näppituntumaa” kaavoihin. [12, 29.]

Kyselytutkimuksessa ilmeni, että suurimmalle osalle kyselyyn vastanneista suunnittelijoista palomitoituksen periaatteet eurokoodien mukaan olivat täysin vieraat. Rakennusvalvontaviranomaisillekaan ei käytännössä ole vielä tullut juuri lainkaan kohteita, joissa suunnittelu olisi kokonaisuudessaan suoritettu eurokoodeilla. [12, 28, 29.] Kyselytutkimukseen vastanneet olivat toisaalta myös kiinnostuneita eurokoodien mukaisesta palomitoituskoulutuksesta, jos sellainen järjestettäisiin työpaikalla.

Tulevaisuudessa eurokoodien asema myös palomitoituksen osalta vahvistuu, kun siirtymäaika Suomen rakentamismääräyskokoelman käytön osalta umpeutuu. Tämä vaatii suunnittelijoiden uudelleenperehdyttämistä ja riittävät resurssit, jotta kaupallinen suunnitteluohjeistus saadaan työntekijöiden käyttöön. Siirtyminen eurokoodien käyttöön voi viedä hyvinkin pitkän ajan, sillä muutosvastarinta on suuri ja siirtymäaika eurokoodien käyttöön on jo nyt venytetty alkuperäisestä.

10.2 Kestävän kehityksen periaatteet

Ekologisuus ja kestävä kehitys ovat nykypäivänä yhä enemmän pinnalla niin kansallisella kuin globaalilla tasolla. Ns. vihreät arvot ovat monen yrityksen valttikortti markkinoilla ja näihin asioihin halutaan myös panostaa.

Eryteisesti teräsrakenteiden osalta palosuojusmateriaaleissa on aina haluttu säästää, sillä suojausmateriaalit voivat olla huomattavan suuri kuluerä koko rakennuksen toteutuksessa. Tämä rakenteiden optimointi palosuojauksen osalta voisi tulevaisuudessa

lisääntyä ja kehittyä myös korjausrakentamisen puolelle niin, että optimoitaisiin tarkemmin koko rakenne.

Korjauskohteissa, joiden käyttötapa muuttuu, joudutaan turvautumaan usein palosuojausten käyttöön, koska joudutaan noudattamaan uudisrakentamisen määräyksiä. Vanhalla rakenteella on kuitenkin todennäköisesti paljon ylimääräistä varmuutta, sillä se on mitoitettu oman aikansa normeilla, jotka ovat yleensä reilusti varmallalla puolella. Jos tämä ylimääräinen varmuus pystyttäisiin osoittamaan helposti, voitaisiin tällaisissa korjauskohteissa säästää merkittäviä määriä materiaaleja ja toisaalta myös suunnittelutyötä. Suunnittelutyön säästöt syntyisivät mm. siitä, ettei jatkossa, seuraavien muutostöiden yhteydessä tarvitsisi selvittää rakenteen kapasiteettiä, kun todellinen kapasiteetti on jo kertaalleen selvitetty.

Nykyhetkellä tällaiseen optimointiin on harvoin mahdollisuuksia, sillä suunnitteluajakaulat ovat niin tiukat, ettei ns. ylimääräistä työtä ehditä tekemään. Jos kuvatuunlaiseen optimointiin olisi tarjolla sopiva, riittävän nopea työkalu, voisi rakenteiden optimointi tässä mielessä yleistyä.

10.3 Teknologian kehittyminen

Toiminnallisen palomitoituksen edellytykset paranevat sitä mukaan, mitä tarkempia tietokonemallinnuksia pystytään tekemään. Tällä hetkellä suurin saavutus alalla on ollut FDS-ohjelman kehitys. Lähitulevaisuudessa tuskin tulee olemaan tätä suurempaa "mul-listusta" ainakaan vähään aikaan. [30.]

On kuitenkin selvää, että tietokoneiden suorituskyvyn parantuessa myös palosimulointiohjelmien pyörittäminen tehostuu ja pystytään laskemaan entistä monimutkaisempia malleja. Tietomallinnuksen yleistyessä joskus tulevaisuudessa voisi esimerkiksi olla sovellus, joka huomioi tavanomaisten rakenteellisten seikkojen lisäksi myös paloturvallisuuden.

10.4 Koulutus

Viranomaishaastattelujen yhteydessä tuli selväksi kaikkien tahojen yhteinen mielipide paloturvallisuusasioiden koulutuksesta: sitä tarvitaan ehdottomasti lisää ja kaikilla sektoreilla.

Paloturvallisuussuunnittelijoista on tällä hetkellä pulaa, mikä johtuu siitä, ettei ns. palokonsultteja ole koulutettu kuin yksi ainoa vuosikurssi TKK:lla. Tämäkään ei ollut varsinaisesti palokonsulttin tehtäviin kouluttava kurssi, vaan hyvät valmiudet antava opintosuuntaus. [12, 24, 30.] Vastaavanlaista opintokokonaisuutta on monet vuodet yritetty käynnistää uudelleen, mutta tarvittavaa "paloprofessuuria" ei ole vielä saatu järjestettyä. Tällainen tarvittaisiin ehdottomasti, jotta kasvavalle alalle saataisiin uusia, päteviä tekijöitä.

Toinen vartenotettava huomio koulutuksen lisäämisessä on myös viranomaisten valtakunnalliset erot toiminnallisen palomitoituksen tuntemuksessa. Toiminnallista palomitoitusta ja sen periaatteita tunnetaan viranomaistasolla lähinnä pääkaupunkiseudulla ja suurissa kaupungeissa, joissa erikoiskohteet vaativat sen käyttöä. Muualla Suomessa mitoitustapaa ei välttämättä tunneta ollenkaan, jolloin myös riski vääränlaisiin mitoitustapoihin kasvaa. [24.] Koska uudet rakennukset ja vanhojen rakennusten korjaukset ovat nykyään yhä monimutkaisempia, myös viranomaisten tietämystä toiminnallisesta palomitoituksesta tulisi lisätä.

10.5 Korjausrakentamisen lisääntyminen

Vanha rakennuskanta kasvaa jatkuvasti ja korjausrakentaminen lisääntyy kaikissa muodoissaan. Nykyään tehdään yhä enemmän käyttötarkoituksen muutoksia, sillä vanhaa rakennuskantaa tahdotaan hyödyntää tehokkaasti, eikä Suomessa ainakaan toistaiseksi ole vielä yleistynyt rakennusten purkukulttuuri.

Tulevaisuudessa, ja jo nyt, toiminnallisen palomitoituksen osuus myös korjausrakentamisessa voisi olla kasvussa. Turvallisuus on etusijalla käyttötavan muutoksissa ja jotta suuretkin muutokset voitaisiin toteuttaa, paloturvallisuussuunnittelun merkitys korostuu. Muutoksia suunniteltaessa tulisi tulevaisuudessakin kuitenkin muistaa, ettei kaikki toiminta yksinkertaisesti aina sovellu joka paikkaan; olivatpa suunnitelmat miten hyviä tahansa. Ns. muuntojoustavuus tulisi pitää mielessä käyttötavanmuutoksia suunniteltaessa.

11 Yhteenveto

11.1 Tulokset

Insinööriyössä selvitettiin rakenteellisen palomitoituksen periaatteita eurokoodeilla sekä eurokoodien soveltuvuutta korjaushankkeen suunnitteluun. Lisäksi työssä selvitettiin toiminnallisen palomitoituksen periaatteita ja tämän mitoitustavan työkalujen soveltuvuutta rakennesuunnittelijan käyttöön. Työn tavoitteena oli myös, että opinnäytetyön tekijä ymmärtää syvällisemmin palomitoitusta ja palosuunnittelua yleensä.

Insinööriyön tuloksena saatiin laadittua tiivis, mutta melko kattava kirjallisuusselvitys rakenteiden palomitoituksesta eurokoodeilla sekä toiminnallisen palomitoituksen periaatteista. OZone-ohjelman osalta tätä raporttia voisi käyttää ohjelman käyttöönoton pikaoppaana, sillä raportissa on esitetty lyhyesti epävirallisen käyttöoppaan sisältö. Insinööriyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin ja kaikki osa-alueet saatiin tutkitua.

Työssä saatiin selville, että toiminnallisen palomitoituksen välineistä voisi olla hyötyä rakennesuunnittelijalle ja niiden käyttö voisi olla myös mahdollista ilman kohtuutonta perehtymistä paloasioihin. Kyselytutkimus osoitti, että tällaisista työvälineistä ollaan myös kiinnostuneita ja niiden käytöstä uskotaan mahdollisesti olevan hyötyä. Toisaalta haastattelututkimus osoitti, että viranomaiset ovat erittäin tarkkoja näiden työvälineiden käytöstä. Viranomainen haluaa varmuuden ohjelmien toimivuudesta ja hyväksyttävyydestä, sekä työkalun käyttäjän pätevydestä. Viranomaistaholla ollaan yhtä mieltä siitä, että paloturvallisuussuunnittelu on erikoissuunnittelua, jolle on annettava arvonsa.

Eurokoodien soveltuvuuden osalta tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että eurokoodit tulevat olemaan tulevaisuudessa myös korjausrakentamista koskeva suunnittelunormisto. Tämä ei tule kuitenkaan tapahtumaan ihan hetkessä, vaan siirtymiseen voi mennä ainakin puolikas sukupolvenvaihdos ennen kuin näin suuri muutos saadaan toteutettua.

11.2 Virhetekijät ja muita huomioita

Kyselytutkimuksessa virhettä aiheuttaa pieni vastausprosentti. Kyselytutkimus lähetettiin 18 suunnittelijalle, mutta vastauksia saatiin vain kahdeksalta. Näin ollen tutkimustulos ei ole lainkaan yleispätevä. Vastauksissa nousi kuitenkin selkeästi esille muutama näkökulma, joita voidaan pitää karkeana arviona yleisestä tilanteesta.

Vertailulaskelmissa jonkin verran virhettä aiheuttavat kuormitusten yksinkertaistukset. Yksinkertaistukset on kuitenkin pyritty tekemään niin, että laskenta-arvot ovat varmallalla puolella. OZonella suoritetuissa tarkasteluissa virhettä aiheutuu siitä, ettei savunpoisto- ja huomioitu laskennassa. Koska opinnäytetyön tekijällä ei ollut käytössään savunpoistoluukkujen tarkkoja teknisiä tietoja, eikä valmiuksia arvioida kuvitteellisten savunpoistojen vaikutuksia, näiden laskelmista pois jättäminen antoi erittäin todennäköisesti paljon virheettömämmän tuloksen, kuin jos ne olisi otettu huomioon.

OZonella saatujen tulosten analysoinnissa huomattiin myös, että esimerkkiaulan laskenta vaatisi tulipalon määrittämisen kannalta tarkempaa tietämystä palon käyttäytymisestä, jotta tarvittavat lähtöarvot osattaisiin valita mahdollisimman oikein. Koska kyseessä on korkea, lasiseinäinen aulatila, jossa on vielä suhteellisen suuria aukkoja, pitäisi aukkotekijöiden yms. vaikutus paloon ymmärtää paremmin. Tutkimukset osoittivat, ettei esimerkkikohdetta pystytä laskemaan riittävän luotettavasti OZonen oletusasetuksilla. Tutkimusten perusteella voidaan toisaalta myös todeta, että laskenta OZonella jossain tavanomaisemmassa kohteessa, esim. toimistorakennus, on mahdollista toteuttaa riittävän varmasti myös oletusarvoilla tai pienillä muutoksilla, kun lähtöarvot on valittu riittäväällä varmuudella.

Lähteet

- 1 SFS-EN 1991-1-2. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 30.12.2010
- 2 Pöyryn suomenkieliset kotisivut. www.poyry.fi. Luettu 25.3.2011
- 3 RIL 221-2003. Paloturvallisuussuunnittelu. Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu ja ratkaisuesimerkit. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.
- 4 Rakenteellinen paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 1992. Ympäristöministeriön opas 3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 5 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/5.2.1999.
- 6 Teräsrakenneyhdistyksen pdf-tiedosto hitsattujen profiilien palomitoituksesta. <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/suunnittelijoille/hitsatutprofiilit/HP5%20199-222%20A4.pdf>. Luettu 24.2.2011
- 7 Oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuussuunnittelu. 2004. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys.
- 8 Kaitila, Olli. Teräsrakenteiden toiminnallinen palomitoitus, Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 9 Hostikka Simo. 2007. Johdanto palosimulointiin osa 1, Espoo: VTT.
- 10 Tulipalon simulointi. Luentomateriaali TKK:lle, luento 1. Timo Korhonen. Luettu 21.12.2010
- 11 Hietaniemi, Jukka. 2007. Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa. Espoo: VTT.
- 12 Miller, Kai. 2011. Yli-insinööri, Helsingin rakennusvalvontavirasto, Helsinki. Haastattelu 10.2.2011.
- 13 Rakennusten paloturvallisuus. 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 14 SFS-EN 1992-1-2. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 SFS-EN 1993-1-2. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 SFS-EN 1995-1-2 + AC. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 2003. Ympäristöopas 39. Helsinki: ympäristöministeriö.

- 18 Uudistumassa olevat rakentamismääräyskokoelman osat. www.ymparisto.fi Luettu 21.1.2011
- 19 Hietaniemi, Jukka. 2007. Toiminnallinen palotekninen suunnittelu ja suunnitelmien tarkastaminen: Näkökulmia ja ohjeita, 2.versio. Päivitetty 10.9.2007, Espoo: VTT.
- 20 Kaitila, Olli. 2008. Ruukki: Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus, suunniteluohje. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 21 Kaitila, Olli. 2009. Getting Started with OZone V2: An Unofficial User's Guide. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 22 Cadorin J-F, Franssen J-M. 2003. A tool to design steel elements submitted to compartment fires – OZone V2, Part 1: pre- and post-flashover compartment fire model, Fire Safety Journal, vol. 38, No 5, Pages 395-427.
- 23 Tulipalon simulointi. Luentomateriaali TKK:lle, luento 3. Timo Korhonen. Luettu 18.3.2011
- 24 Rahikainen, Jussi. 2011. Riskienhallintapäällikkö, Keski-Uudenmaan pelastuslaitos, Vantaa. Haastattelu 25.2.2011
- 25 Pöyry Finland Oy.
- 26 Teräsrakenteet. 1996. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B7. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 27 Inha Timo, Kallioniemi Pekka. 1991. Teräsrakenteiden palosuunnittelu. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 28 Hurme Kaj, Tarkastuspäällikkö ja Lamminen Jouko, Tarkastusinsinööri. 2011. Vantaan kaupungin rakennusvalvonta, Vantaa. Haastattelu 22.2.2011.
- 29 Pajanne, Kari. 2011. Rakennepäällikkö, Espoon rakennusvalvontakeskus, Espoo. Haastattelu 3.2.2011.
- 30 Korpela, Kalervo. 2011. Palokonsultti, KK-palokonsultti Oy, Espoo. Haastattelu 21.2.2011.

Kyselytutkimuslomake

1) Suunnitteluala ja -kokemus									
1.1 Suunnitteluala:									
teollisuusrakentaminen:									
			liikerakentaminen:					muu rakentaminen:	
toimisto- ja liikennarakentaminen			julkinen rakentaminen:						
1.2 Suunnittelukokemus:									
Uudisrakentaminen						vuotta			
Korjausrakentaminen						vuotta			
2) Suunnittelutyön sisältö:									
2.1 Määrä ja jakauma:									
1) Joudutko tekemään kantavien rakenteiden palomitoitusta työssäsi?									
	Kyllä								
	En								Jos et, hyppää kohtaan 2.3
2) Arvioi prosentuaalisesti, miten palomitoitus jakautuu uudis- ja korjaushankkeiden välillä (kummassa tapauksessa palomitoitusta on enemmän?):									
Uudiskohde						%			
Saneerauskohde						%			
3) Arvioi prosentuaalisesti, kumpaa mitoitusmenetelmää käytät useammin: taulukkomitoitusta vai toiminnallista mitoitusta?									

3) Kuinka usein joudut tekemään toiminnallista palomitoitusta työssäsi?									
Kommentteja kohtaan 2.2 liittyen:									
2.3 Ohjeiden ja normien käyttö:									
1) Mitä ohjeita ja normeja käytät suunnittelutyössäsi? Valitse yleisimmät:									
	RakMk								
	Eurokoodit								(Suomen rakentamismääräyskokoelma)
	Ulkomaiset normit								
	Muut								
	Esimerkki, mitä?								
2) Hallitsetko palomitoituksen periaatteet eurokoodien mukaan?									
	Kyllä								
	En								Osittain
Kommentteja kohtaan 2.3 liittyen:									
2.4 Suunnittelun työkalut:									
1) Oletko kuullut seuraavista palosimulointiohjelmista, merkitse rasti ruutuun sen ohjelman kohdalle, jonka nimi on tuttu:									

FDS		OZone							
Cfast		En ole kuullut mistään näistä							
2) Minkälaisia työkaluja käytät palomitoituksen apuna?									
Palosimulointiohjelmat									
Excel									
MathCad									
Robot									
Muu									
Mikä/Mitkä?									
3) Onko käyttämäsi sovellukset:									
Itse tehtyjä		Ilmaissovelluksia							
Kaupallisia sovelluksia		Ei mitään näistä							
Kommentteja kohtaan 2.4 liittyen:									
3) Paloteknisen suunnittelun arviointia									
3.1 Toiminnallinen palomitoitus									
		Tietynlaisissa kohteissa tarvitaan palokonsulttia, jolta rakennesuunnittelija saa tarvitsemansa lähtötiedot							
1) Hidastaako tämä mielestäsi suunnittelua?									
Pajjon		Vähän		Ei merkitystä					
2) Tekisitkö tarvittavat tarkastelut itse, jos käytössäsi olisi valmiita "pikatyökaluja"? Esim. teräksen lämpötilakehityksen laskenta									
Kyllä		En		Ehkä				Teen jos	

Kommentteja kohtaan									
3.1 liittyen:									
3.2 Koulutus									
1) Haluaisitko, että jostain alla mainituista aihealueista järjestettäisiin koulutusta/tietoiskuja työpaikallasi? Valitse mielestäsi tärkeimmät:									
Palomitoitus eurokoodella				Toiminnallisen palomitoituksen periaatteet					
Pikatyökälujen (OZone) käyttö palomitoituksessa				Palasioista ei tarvita lisäkoulutusta					
Jotain muuta									
Mitä?									
3.3 Mielipiteet									
1) Pitäisikö rakennesuunnittelijan työtehtäviä laajentaa tässä mielessä paloteknisen suunnittelun puolelle, edellyttäen, että siihen on olemassa sopivat välineet?									
Kyllä	<input type="checkbox"/>	Ei	<input type="checkbox"/>	En osaa sanoa	<input type="checkbox"/>				
2) Mielestäni rakennesuunnittelijan tarvitsee hallita vain perinteinen taulukkomitoitus:									
Kyllä	<input type="checkbox"/>	Ei	<input type="checkbox"/>	En osaa sanoa	<input type="checkbox"/>				

HI 360-palkin laskentaraaportti

OZone V 2.2.2 Report

Analysis Name:	HI360_inssityö
File Name:	G:\Inssityö_aineisto\HI360.ozn
Created:	14.4.2011 at 10:32:28

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0,2 Compartment Height
Fire Area	≥ 0,25 Floor Area

PARAMETERS**Openings**

Radiation Through Closed Openings:	0,8
Bernoulli Coefficient:	0,7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Heskestad
----------------------	-----------

Temperature Dependent Openings

All openings activated at:	400 °C
----------------------------	--------

Stepwise Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Linear Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Time Dependent Openings

Time [sec]	% of Total Openings [%]
0	5
1200	100

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Rectangular Floor
Height:	12,455 m
Depth:	7,034 m
Length:	33,8 m
Roof Type:	Flat Roof

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES**Floor**

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2500	1,6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Steel [EN1994-1-2]	36	7850	45	600
Kevytbetonimurske	10	500	0,19	1000
Glass wool & Rock wool	40	60	0,037	1030
Bitumikermi	0,5	1100	0,23	1000

Wall 1

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Wall 2

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	10,995	11,79	Constant	no
0	7,15	7,74	Constant	no

Wall 3

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Wall 4

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	14	2500	1,6	1000
Ilma	24	1,293	0,025	1010
Normal Bricks	13,5	1600	0,7	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	12,455	16,8	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	237,7 m ²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	0 m

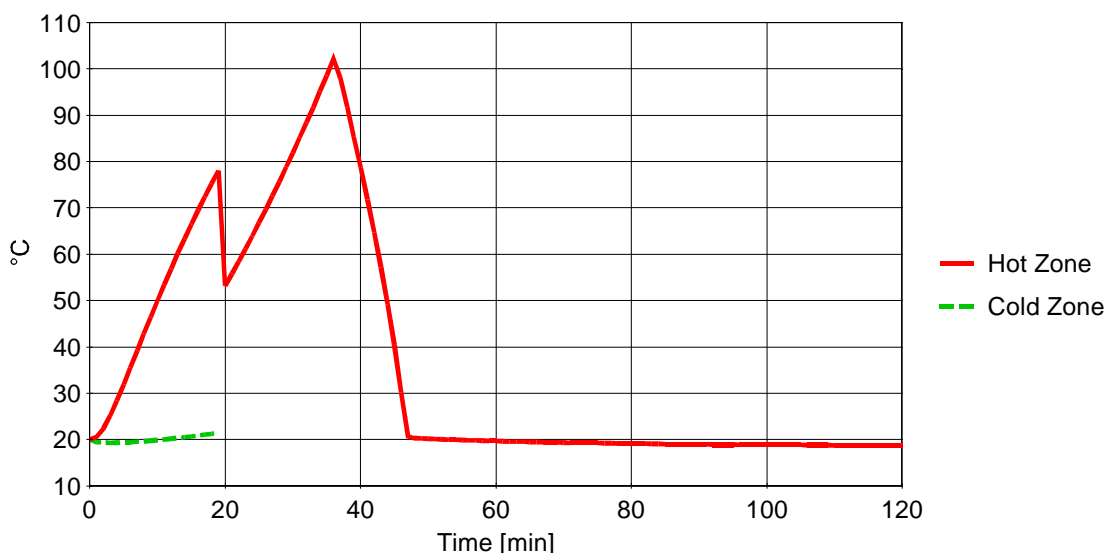
Fire	Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m ²]	Fire Load qf, k [MJ/m ²]	Danger of Activation
	Hospital	Medium	250	280	1
Active Measures					
	Description	Active	Value		
	Automatic Water Extinguishing System	No	$\gamma_{n,1} = 1$		
	Independent Water Supplies	No	$\gamma_{n,2} = 1$		
	Automatic Fire Detection by Heat	Yes	$\gamma_{n,3} = 0,87$		
	Automatic Fire Detection by Smoke	No			
	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\gamma_{n,5} = 1$		
	Work Fire Brigade	No			
	Off Site Fire Brigade	Yes	$\gamma_{n,7} = 0,78$		
	Safe Access Routes	Yes	$\gamma_{n,8} = 1$		
	Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No			
	Fire Fighting Devices	Yes	$\gamma_{n,9} = 1$		
	Smoke Exhaust System	Yes	$\gamma_{n,10} = 1$		
	Fire Risk Area:	237,7	m ²	$\gamma_{q,1} = 1,5$	
	Danger of Fire Activation:			$\gamma_{q,2} = 1$	
	q _{f, d}	228,0	MJ/m ²		
	Combustion Heat of Fuel:	17,5	MJ/kg		
	Combustion Efficiency Factor:	0,8			
	Combustion Model:	Extended fire duration			

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (237.70m²) is greater than 25% of the floor area (237.75m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone: Area of fire > 25.0% of floor area at time [s] 1160.00

Gas Temperature



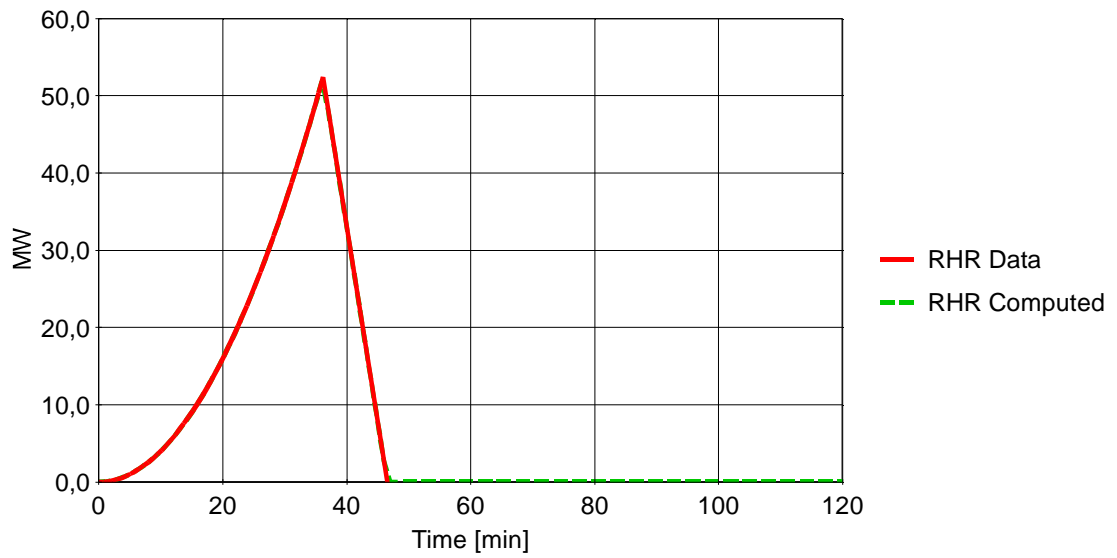
Analysis Name: HI360_inssityö

Peak: 102 °C

At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

Rate of Heat Release



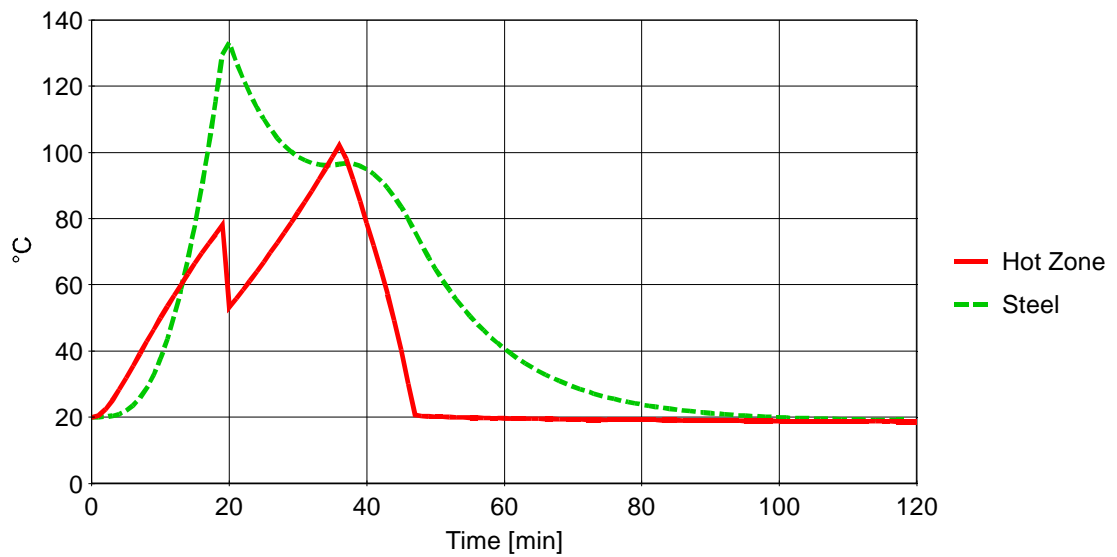
Analysis Name: HI360_inssityö

Peak: 52,42 MW

At: 36,2 min

Figure 2. RHR Data and Computed

Steel Temperature



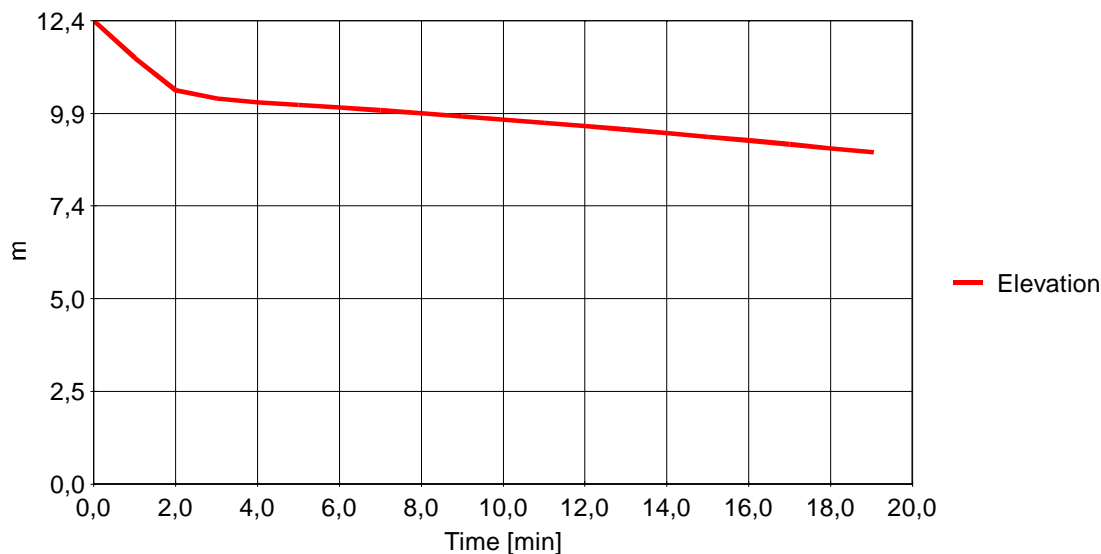
Analysis Name: HI360_inssityö

Peak: 133 °C

At: 20 min

Figure 3. Hot Zone and Steel Temperature

Zones Interface Elevation



Analysis Name: HI360_inssityö

h = 8,88 m

At: 19,00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

STEEL PROFILE

Unprotected Section

Catalog Profile: IPE 360

Exposed to Fire on: 3 sides

HEATING

Profile heated by: Maximum Between Hot Zone and Localised Fire Temperature

Convection coefficient: 25 W/m²K

Relative emissivity: 0,5

Horizontal Distance Between Fire Axis and Profile: 0 m

FIRE RESISTANCE

Element Submitted to Bending

Nominal Steel Grade: S 235

Design effect of actions in fire situation

$M_{fi,d} = 72,3$ kNm

Adaptation Factors

Non-uniform Temperature Across the Cross-Section: $\kappa_1 = 1$

Non-uniform Temperature Along the Beam: $\kappa_2 = 1$

Lateral Torsional Buckling

Length of the Beam between Points of Lateral Restraint: 799 cm

Loading

Load: Transverse Load

Bending Moment Diagram: Distributed Load Fix Ends

Bending Moment Ratio: 1

Load Applied in Shear Centre

Effective Length Factor k: 1,0

RESULTS

Critical Temperature: 411 °C

Failure Mode: Lateral Torsional Buckling

$\lambda_{LT} = 1,502747$

Class of the Cross Section:
Fire Resistance:

1
7200 sec at least

HEB220-pilarin laskentaraaportti

OZone V 2.2.2 Report

Analysis Name:	HEB220_inssityö
File Name:	G:\Inssityö_aineisto\HEB220_Ozone.ozn
Created:	14.4.2011 at 10:43:14

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300
°C	
Interface Height	≤ 0,2 Compartment Height
Fire Area	≥ 0,25 Floor Area

PARAMETERS**Openings**

Radiation Through Closed Openings:	0,8
Bernoulli Coefficient:	0,7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Heskestad
----------------------	-----------

Temperature Dependent Openings

All openings activated at:	400 °C
----------------------------	--------

Stepwise Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Linear Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Time Dependent Openings

Time [sec]	% of Total Openings [%]
0	5
1200	100

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Rectangular Floor
Height:	12,455 m
Depth:	7,034 m
Length:	33,8 m
Roof Type:	Flat Roof

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES**Floor**

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	30	2500	1,6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Steel [EN1994-1-2]	36	7850	45	600
Kevytbetonimurske	10	500	0,19	1000
Glass wool & Rock wool	40	60	0,037	1030
Bitumikermi	0,5	1100	0,23	1000

Wall 1

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Wall 2

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	10,995	11,79	Constant	no
0	7,15	7,74	Constant	no

Wall 3

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Alumiinirunko	22	2700	220	897
Lasi	1	2500	1	750

Wall 4

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	5	2500	1,6	1000
Ilma	24	1,293	0,025	1010
Normal Bricks	13,5	1600	0,7	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	12,455	16,8	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire
Maximum Fire Area:	237,7 m ²
Fire Elevation:	0 m
Fuel Height:	0 m

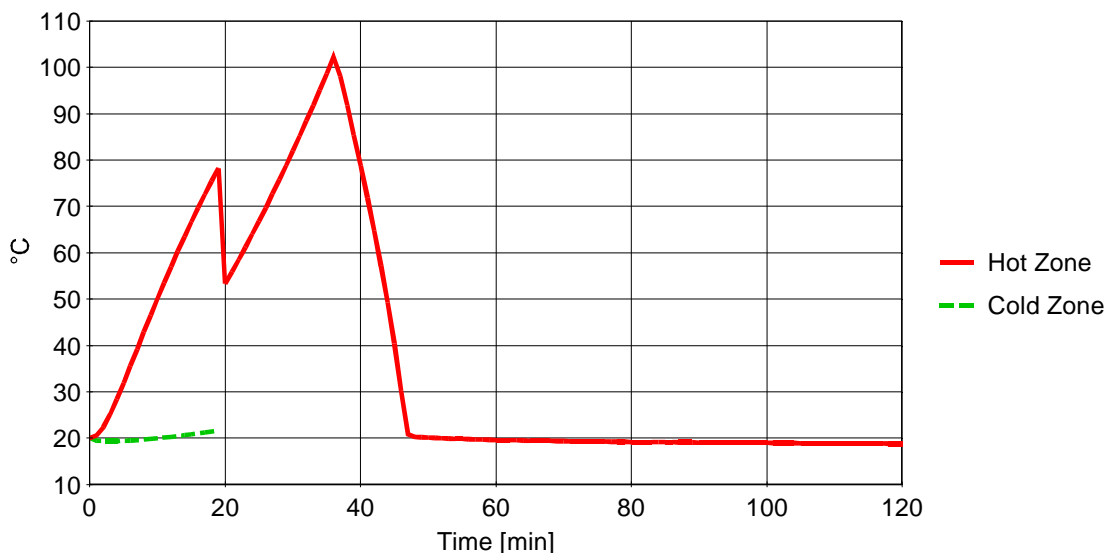
Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m ²]	Fire Load qf,k [MJ/m ²]	Danger of Activation
Hospital	Medium	250	280	1
Active Measures				
Description	Active	Value		
Automatic Water Extinguishing System	No	$\gamma_{n,1} = 1$		
Independent Water Supplies	No	$\gamma_{n,2} = 1$		
Automatic Fire Detection by Heat	Yes	$\gamma_{n,3} = 0,87$		
Automatic Fire Detection by Smoke	No			
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\gamma_{n,5} = 1$		
Work Fire Brigade	No			
Off Site Fire Brigade	Yes	$\gamma_{n,7} = 0,78$		
Safe Access Routes	Yes	$\gamma_{n,8} = 1$		
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No			
Fire Fighting Devices	Yes	$\gamma_{n,9} = 1$		
Smoke Exhaust System	Yes	$\gamma_{n,10} = 1$		
Fire Risk Area:	237,7	m ²	$\gamma_{q,1} = 1,5$	
Danger of Fire Activation:			$\gamma_{q,2} = 1$	
$q_{f,d}$	228,0	MJ/m ²		
Combustion Heat of Fuel:	17,5	MJ/kg		
Combustion Efficiency Factor:	0,8			
Combustion Model:	Extended fire duration			

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (237.70m²) is greater than 25% of the floor area (237.75m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone: Area of fire > 25.0% of floor area at time [s] 1160.00

Gas Temperature

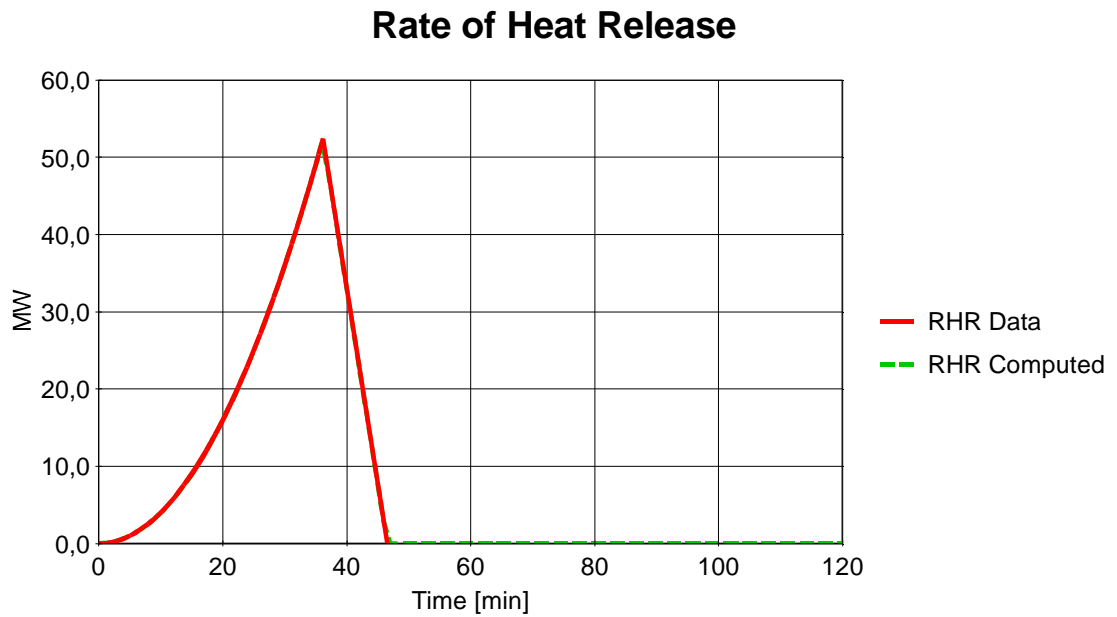


Analysis Name: HEB220_inssityö

Peak: 102 °C

At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

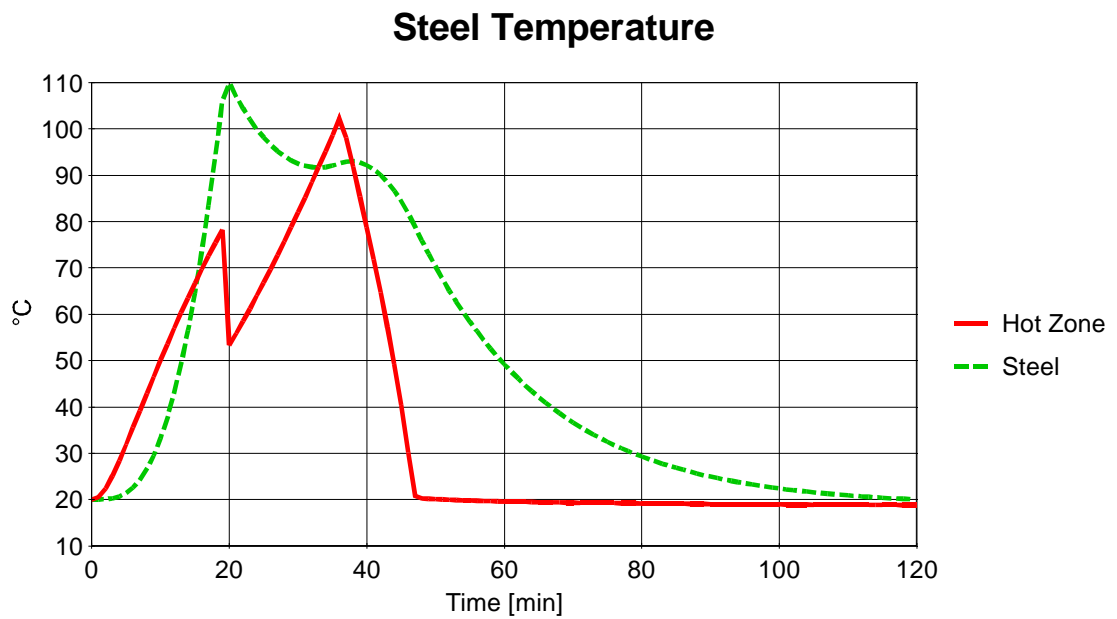


Analysis Name: HEB220_inssityö

Peak: 52,42 MW

At: 36,2 min

Figure 2. RHR Data and Computed



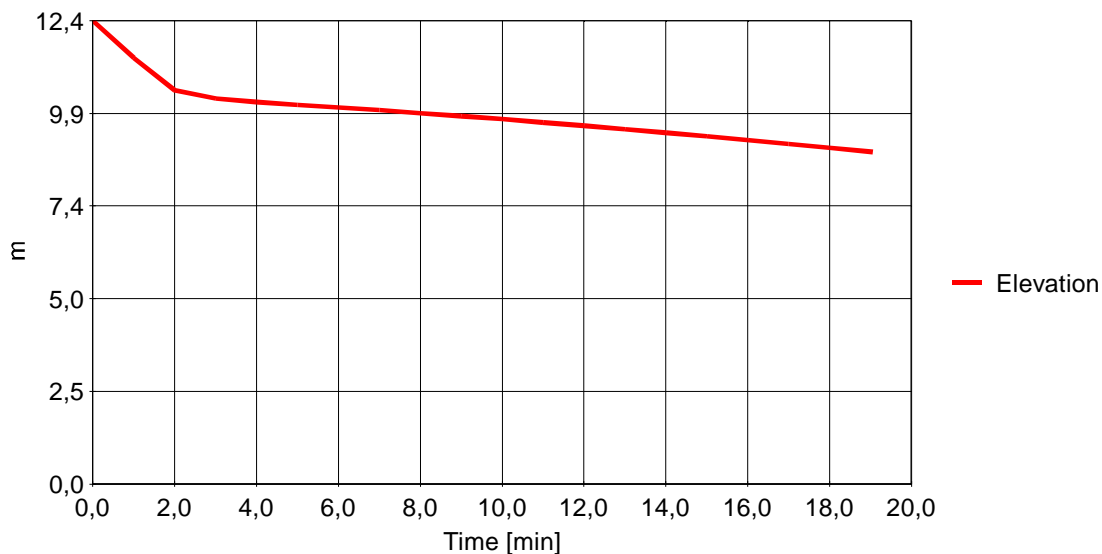
Analysis Name: HEB220_inssityö

Peak: 110 °C

At: 20 min

Figure 3. Hot Zone and Steel Temperature

Zones Interface Elevation



Analysis Name: HEB220_inssityö

h = 8,90 m

At: 19,00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

STEEL PROFILE

Unprotected Section

Catalog Profile: HE 220 B

Exposed to Fire on: 3 sides

HEATING

Profile heated by: Maximum Between Hot Zone and Localised Fire Temperature

Convection coefficient: 25 W/m²K

Relative emissivity: 0,5

Horizontal Distance Between Fire Axis and Profile: 0 m

FIRE RESISTANCE

Element Submitted to Compression

Nominal Steel Grade: S 235

Design effect of actions in fire situation

$N_{fi, d} = 97,2 \text{ kN}$

Fire Design Buckling Length

Buckling Length About Major Axis (y - y): 1385 cm

Buckling Length About Minor Axis (z - z): 273,5 cm

RESULTS

Critical Temperature: 678 °C

Fire Resistance: 7200 sec at least