



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Betoniseinän mitoitus

Ohjeet mitoitustaulukoiden käyttöön

Panu Kangasniemi

Opinnäytetyö
Syyskuu 2017
Rakennustekniikan ko.
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

KANGASNIEMI PANU:
Betoniseinän mitoitus
Ohjeet mitoitus-
taulukoiden käyttöön

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Syyskuu 2017

Tämä opinnäytetyö tehtiin Optiplan Oy:n pyynnöstä. Tarkoituksena oli laatia ohjeet elementtisuunnittelu.fi-sivustolta löytyviin väliseinäelementtien mitoitus-
taulukoihin. Taulukot esitetään excel-
taulukkoina. Optiplan Oy halusi selventää taulukoiden käyttöä ja arvojen tarkoitusta, tavoitteena helpottaa ja nopeuttaa uusien työntekijöiden mitoitus-
työtä.

Opinnäytetyössä laadittiin ohjeet raudoitettujen ja raudoittamattomien seinien mitoitus-
taulukoille. Ohjeissa käydään taulukoiden käyttö läpi kohta kerrallaan, kuvia apuna
käyttäen. Laajemmat ohjeet tehtiin seinän mitoitus-
taulukoille, joissa käyttäjä syöttää itse seinän mitat, raudoitukset ja kuormat. Optiplan Oy:n pyynnöstä tehtiin myös seinän
mitoitus-
taulukoiden yhteyteen palomitoitus-
taulukot 500 °C isotermimenetelmään sekä taulukkomitoitusmenetelmään perustuen. Palomitoitus-
taulukot tehtiin toimimaan alkuperäisen excel-
tiedoston kanssa ilman, että alkuperäisiin taulukoihin tehtiin muutoksia.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään väliseinäelementtien mitoitusmenetelmiä ja niiden tavoitteita. Väliseinien palomitoituksesta esiteltiin useampi menetelmä, joita vertailtiin keskenään tarkkuuden ja vaativuuden osalta. Menetelmistä on laadittu esimerkkilaskut. Teräsbetoniväliseinien palon aikaisia rasituksia ja mahdollisia vaurioita on myös tutkittu ja selitetty.

Tuloksena saatiin seinänmitoitus-työkalu jokapäiväiseen mitoitustyöhön. Työkalu sisältää myös palomitoitusosuuden. Täten palomitoitusta ei tarvitse tehdä kokonaan erikseen, mistä syystä mitoituksen tehokkuus paranee.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Engineering
Construction Engineering

KANGASNIEMI PANU:
Designing of Concrete Wall
Instructions for use of designing tables

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 9 pages
September 2017

This thesis work was made at the request of Optiplan Oy. The idea was to create instructions for designing tables of prefabricated separating wall units found at website called elementtisuunnittelu.fi. The tables are presented in excel. Optiplan Oy wanted to clarify the use of the tables and the meanings of the values, aiming to make new employees' designing work easier and faster.

Instructions in the thesis work were made for design tables of reinforced and nonreinforced concrete walls. In the instructions, the use of the tables is gone through step by step with the help of pictures, separately for both tables. More extensive instructions were made for wall designing tables (seinän mitoitus-aulukot), where the user fills the size of the wall, concrete reinforcements and loads himself. At the request of Optiplan Oy, firedesingtables were also made in connection with wall designing-tables (seinän mitoitus-aulukot), which are based on table design and 500-isotherm method. The fire-desingtables were made to work with the original excel file without changes made to the original tables in the file.

In the theory part of this thesis work is information about design methods of prefabricated separating wall units and their goals. Few methods of firedesigning were introduced, which were also compared with each other about precision and difficulty. Calculation examples were made of these methods. The stresses and possible damages of separating ferroconcrete walls caused by the fire are also studied and explained.

The thesis work resulted in a wall designing tool for everyday designing work which also includes firedesigning section. With this tool firedesigning is no longer needed to be done separately, which increases the efficiency of designing.

Key words: prefabricated separating wall unit, firedesign, eurocode, creep

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TERÄSBETONIVÄLISEINÄN MITOITUS EUROKOODIN MUKAAN.....	8
2.1	Väliseinän mitoitus	8
2.1.1	Rajatilamenetelmät.....	8
2.1.2	Kimmenteoria	9
2.2	Väliseinän palomitoitus	10
2.2.1	Tulipalon vaikutukset rakenteessa	10
2.2.2	Taulukkomitoitus	11
2.2.3	500 °C isothermimenetelmä.....	12
2.2.4	Vyöhykemenetelmä.....	14
3	LASKENTATAULUKOIDEN KÄYTTÖ.....	16
3.1	Valmiiden laskettujen arvojen sisältävien taulukoiden käyttö.....	16
3.1.1	Raudoitetut väliseinät.....	16
3.1.2	Raudoittamattomat väliseinät.....	21
3.2	Seinän mitoitustaulukon käyttö	26
3.2.1	Lähtöarvot	27
3.2.2	Lasketut arvot.....	30
3.2.3	Momentin suurennus, nimellisen käyristymän menetelmä.....	33
3.2.4	Normiarvot	36
3.2.5	Diagrammi.....	37
3.3	Palomitoitustaulukoiden käyttö	39
3.3.1	Taulukkomitoitukseen pohjautuva taulukko	39
3.3.2	500 °C isometrinen menetelmään pohjautuva taulukko	40
4	POHDINTA.....	44
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET	47
	Liite 1. Vähimmäispaksuudet ei-kantaville seinille (osastoiville seinille).....	47
	Liite 2. Esimerkkilasku 500 °C isothermimenetelmällä.....	48
	Liite 3. Lämpötilaprofiilit.....	50
	Liite 4. Laskuesimerkki: Vyöhykemenetelmä.....	52
	Liite 5. Esimerkki tulipalon vaikutuksesta väliseinän raudoitukseen	55

LYHENTEET JA TERMIT

A_c	betonin poikkileikkauksen pinta-ala
A_s	raudoituksen poikkileikkauksen pinta-ala
a_{z1}	vyöhykkeen paksuus palomitoituksen vyöhykemenetelmässä
b	poikkileikkauksen leveys
b_{fi}	poikkileikkauksen pienennetty leveys 500 °C isotermimenetelmässä
c	suojabetonin paksuus
d	poikkileikkauksen tehollinen korkeus
e	epäkeskisyys
E_c	betonin kimmokerroin
E_{cm}	betonin kimmokertoimen sekanttiarvo
E_s	betoniteräksen kimmokerroin
f_{cd}	betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
f_{ck}	betonin lieriölujuuden ominaisarvo 28 vrk ikäisenä
f_{cm}	betonin lieriölujuuden keskiarvo
f_{ctk}	betonin vetolujuuden ominaisarvo
f_{yk}	betoniteräksen ominaismyötölujuus
f_{sd}	betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo
h	poikkileikkauksen korkeus
h_{fi}	poikkileikkauksen pienennetty korkeus 500 °C isotermimenetelmässä
h_w	taulukoissa käytetty seinän paksuus.
I_c	betonin jäyhyysmomentti
I_s	teräksen jäyhyysmomentti
L	rakenteen pituus
Lk_o	nurjahduspituus mitoitusaulukossa
M_{Ed}	taivutusmomentin mitoitusarvo
$M_{0e,min}$	momentin vähimmäisarvo
M_2	toisen kertaluokan momentti
M_{01}	ensimmäisen kertaluokan pienempi momentti
M_{02}	ensimmäisen kertaluokan suurempi momentti
N_{Ed}	normaalivoiman mitoitusarvo

α_{cc}	puristuslujuuteen huomioitava aikavaikutus
γ_c	betonin osavarmuusluku
γ_s	teräksen osavarmuusluku
γ_E	kimmokertoimen varmuusluku
λ	hoikkuusluku
ρ	pääraudoituksen raudoitussuhde
μ	suhteellinen momentti
$k_{s(\theta)}$	teräksen heikennyskerroin
ν	suhteellinen normaalivoima
ω	mekaaninen raudoitussuhde
μ_{fi}	hyväksikäyttöaste
$\phi(\infty, t_0)$	virumaluku
ϕ	betoniteräksen halkaisija

1 JOHDANTO

Rakennesuunnittelutyössä käytetään useita erilaisia mitoitustyökaluja ja laskentapohjia mitoittamisen nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi. Työkalut tarjoavat paljon informaatiota ja nopeuttavat rakenteiden suunnittelua huomattavasti, mutta suunnittelijan tulee silti ymmärtää mitoituksen periaatteet, jotta suunnitellut rakenteet ovat turvallisia ja kestäviä.

Elementtisuunnittelu.fi sivuilta löytyy useampi excel-tilukko väliseinien mitoittamista varten. Tämän työn tavoitteena on Optiplan Oy:n pyynnöstä laatia yksinkertaiset ohjeet kyseisten mitoitustilukoiden käyttöä varten. Tilukoiden käyttö nopeuttaa työtä, mutta jos käyttäjällä ei ole kokemusta kyseisten tilukoiden käytöstä, syntyy riski suunnitteluvirheestä. Tarkoituksena on saada selvät ohjeet mistä arvot tulevat ja mitä ne tarkoittavat. Kaikista yksinkertaisimpia arvoja ei selitetä, koska ne oletetaan kuuluvan rakennesuunnittelijan perustietoihin.

Rakenteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdollinen tulipalo. Palomitoitus tehdään erikseen muusta mitoituksesta ja tästä johtuen lisää suunnitteluun kuluva aikaa. Työn tavoitteena on tehdä palomitoitustyökalu excel-tilukon muodossa elementtisuunnittelu.fi-sivuston excel-pohjaa hyväksikäyttäen. Kun palomitoitus saadaan muun mitoituksen yhteyteen, säästetään aikaa ja nopeutetaan koko suunnittelua.

Palomitoitus voidaan suorittaa useammalla eri menetelmällä. Tarkkuudet ja työmäärä vaihtelevat menetelmien välillä. Työn tarkoituksena on käydä läpi kyseisiä menetelmiä ja selvittää menetelmien vahvuuksia ja vertailla tuloksia. Kokonaisuudessaan työn tavoite on luoda Optiplan Oy:lle seinämitoitustyökalu jokapäiväiseen suunnittelutyöhön ohjeineen, johon sisältyy myös palomitoitus.

2 TERÄSBETONIVÄLISEINÄN MITOITUS EUROKOODIN MUKAAN

2.1 Väliseinän mitoitus

Mitoituksessa on tarkoitus suunnitella väliseinä niin, että se riittävällä varmuudella kestää sen käyttötarkoituksen edellyttämät kuormat, rasitukset ja olosuhteet. Huomioitavaa on myös suunnitella rakenne niin, ettei sen kunnan heikkeneminen käyttöiän aikana heikennä rakenteen toimivuutta aiottua huonommaksi, kun huomioidaan rakenteen ympäristö ja odotettava ylläpidon taso.

Mitoituksessa tulee huomioida seinän käyttökohde. Esimerkiksi asuinrakennuksessa tulee ottaa huomioon äänitekniset ominaisuudet eri tavalla kuin varastorakennuksessa. Myös elementtien koko tulee suunnitella tarkkaan, ettei elementeistä aiheudu ongelmia asennuksessa työmaalla tai kuljetuksessa. Mitoitukseen on useita menetelmiä perustuen tilastojen ja varmuuskertoimien käyttöön.

2.1.1 Rajatilamenetelmät

Rakenteen todellista kantokykyä arvioitaessa päästään suurempaan tilastolliseen tarkkuuteen käyttämällä osavarmuuslukuja ja määrittämällä rajatilat rakenteelle. Kyseisillä rajatiloilla selvitetään hetki jolloin rakenne ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Materiaalien osavarmuusluvuilla pyritään ottamaan huomioon esimerkiksi valmistusvirheet ja lujuuserot. Vastaavia tekijöitä kuormilla ovat esimerkiksi mittavirheet ja poikkeamat ominaisarvossa.

Ulkoisten rasitusten perusteella voidaan määrittää rakenteen kestävyys sisäisten voimien lujuusopillisilla funktioilla. Esimerkiksi rakenteen mitat ja materiaalien ominaisuudet vaikuttavat sisäisten voimien ja jännitysten suuruuteen. Rakenteen todennäköisyys vaurioitumiselle voidaan määrittellä tilastollisen suureen avulla, koska sisäisiin voimiin ja jännityksiin vaikuttavia osatekijöitä voidaan käsitellä tilastollisina suureina, jotka ovat toisistaan riippumattomia.

Rakenteen mitoituksessa esiintyy yleisesti kaksi rajatilojen päätyyppiä, jotka ovat käyttörajatila ja murtorajatila.

Käyttörajatila

Rakenteen tila, jossa kuormitus ei voi enää nousta ilman liian suuria muodonmuutoksia ja liiketiloihin käyttötarkoituksen huomioiden. Nämä raja-arvot, jotka siis asettavat rajoituksia rakenteen käytölle tai lyhentävät suunniteltua käyttöikää, kutsutaan käyttörajatilaksi. Käyttörajatilatarkastelun ideana on osoittaa, että rakenne kestää koko suunnitellun käyttöajan tavallisessa kuormituksessa. Tarkastelussa on yleensä otettava huomioon pitkäaikaiskuormitus ja ympäristön olosuhteet.

Murtorajatila

Murtorajatilassa rakenne murtuu ja jopa sortuu osittain tai kokonaan tai siihen syntyy suuria muodonmuutoksia niin, että siitä tulee liiketilan ja materiaaliominaisuuksien kautta käyttökelvoton. Tarkastelun tavoite on osoittaa, ettei tietty poikkeama rakenteen ominaisuuksissa, ulkoisissa olosuhteissa tai kuormituksessa aiheuta rakenteen murtumista tietyllä varmuudella.

2.1.2 Kimmoteoria

Kimmoteoriaan perustuvan mitoitusjärjestelmän ideana on määrittää rakenteen varmuus käyttötilan toiminnan tai jännitysten perusteella. Teoriassa oletetaan aineen toimivan täysin kimmoisasti. Laskelmien ja kokeiden avulla on osoitettava, ettei kuormitus aiheuta liian suurta muodonmuutosta rakenteessa, eikä kuormitus ole suurempi kuin vakaavuuden menetyksen aiheuttama kuorma jaettuna varmuuskertoimella. Jakamalla aineen myötö- tai murtolujuus kokonaisvarmuuskertoimella, saadaan selville sallitut jännitykset.

Mitoitusjärjestelmässä oletetaan, ettei terästen ja betonin välillä tapahdu liukumaa, joten tietyllä jännityksellä muodonmuutokset molemmassa aineissa ovat yhtä suuret. Oletuksena on myös, että betoni ja teräs noudattavat kumpikin Hooken lakia:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_c}{E_c} \quad (1)$$

2.2 Väliseinän palomitoitus

Tässä työssä on käyty läpi palomitoitus taulukkomitoituksella, 500 °C isotermimenetelmällä ja vyöhykemenetelmällä standardin EN 1992-1-2 mukaisesti. Palomitoituksen tavoite on mitoittaa rakenne kestämään suunnitelman mukainen aika tulipalossa sekä säilyttämään riittävä kestävyys palon jälkeen.

Palomitoituksessa on kolme erityisen tärkeää kriteeriä, joiden tulee täytyä rakenteessa tulipalon aikana. Osastoivuuden saavuttamiseksi tulee huolehtia, että rakenteen tiiviys (1) ja eristävyys (2) säilyvät palon ajan, sekä lämmönsäteily rakenteen vastakkaiselle puolelle pysyy tarpeeksi pienenä. Kun tutkitaan kantavuutta, kriteerinä toimii rakenteen mekaaninen kestävyys (3).

Palomitoituksessa on vaihtoehtona laskennallisen mitoituksen lisäksi myös polttokokeiden tuloksiin tai kokeiden ja laskelmien yhteiskäyttöön perustuva mitoitus.

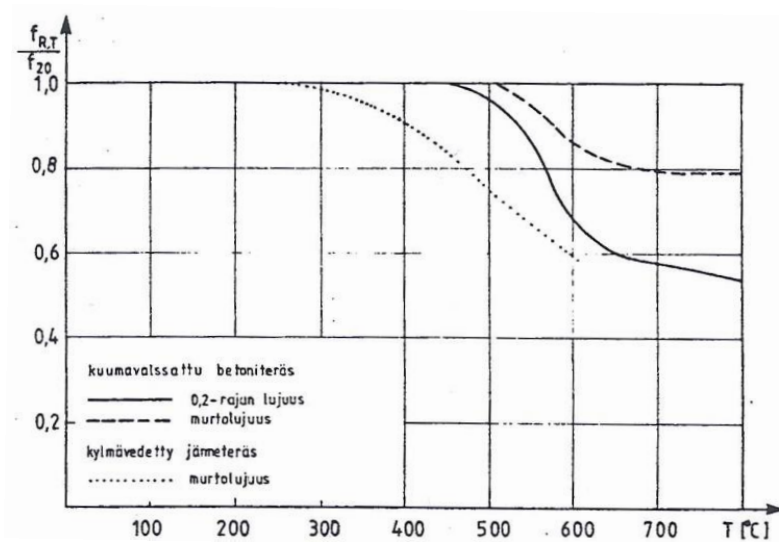
2.2.1 Tulipalon vaikutukset rakenteessa

Rakenne ei heikkene tulipalossa ainoastaan palon ajaksi, vaan se kärsii myös pysyviä vaurioita, jotka vaikuttavat rakenteeseen tulipalon jälkeen. Palon jälkeen tulee olla varma rakenteen turvallisuudesta ja olla tarkkana mahdollisten muodonmuutosten tai vaurioiden varalta.

Korkeissa lämpötiloissa terästen viruminen voimistuu ja voi vaikuttaa merkittävästi rakenteeseen. Betoniterästen viruminen alkaa arviolta noin 400 °C asteessa ja jänneteräksillä 300 °C asteessa. Tulipalon aikana ei välttämättä ehdi tapahtua suurta vahinkoa, mutta betonin suuren lämpökapasiteetin takia teräkset pysyvät kuumina pitkään palon jälkeenkin ja tällöin on mahdollisuus merkittäviin vaurioihin viruman jatkuessa.

Rakenne saattaa näyttää tulipalon jäljiltä täysin vahingoittumattomalta, mutta sen kantokyky saattaa olla merkittävästi heikentynyt alkuperäiseen verrattuna. Tutkimusten mukaan kuumavalssatut betoniteräkset kärsivät pysyvän lujuuden menetyksen niiden kuumentuessa vähintään 500 °C asteeseen.

Kuvassa 1. on esitetty eri lämpötiloihin kuumennettujen terästen jäännöslujuuksia. Teräkset on kuumennettu tiettyyn lämpötilaan ja tämän jälkeen annettu jäähtyä takaisin normaaliin 20 °C asteeseen ennen lujuuskoetta.



KUVA 1. Terästen jäännöslujuuksia eri lämpötiloihin kuumentamisen jälkeen.

Betonissa itsessään tapahtuu myös virumaa. Virumalla ei ole suurta merkitystä muodonmuutokseen alle 400 °C asteessa, mutta suuremmissa lämpötiloissa ja varsinkin suuremmilla kuormitusasteilla viruma tulee merkittäväksi.

Kun betoni kuumenee, siitä poistuu kosteutta ja sen kiviaines laajenee. Samalla sementtikivi kuitenkin kutistuu, joten materiaali ei millään voi säilyä ehjänä tulipalossa, vaan siihen syntyy ainakin pieniä mikrohalkeamia.

Betonin jäännöslujuuteen vaikuttavat betonin ominaisuudet mm. kiviaines ja vesisementtisuhte. Myös viilentymisen olosuhteet ja nopeus ovat jäännöslujuuteen vaikuttavia tekijöitä.

2.2.2 Taulukkomitoitus

Voidaan olettaa kantavilla väliseinillä olevan riittävä palonkestävyys, kun käytetään taulukon 1. arvoja. Kyseisiä arvoja voidaan käyttää myös raudoittamattomien seinien ja

kantavien umpiseiniä palomitoitukseen. Liitteessä 1. on esitetty vähimmäispaksuudet ei-kantaville seinille.

TAULUKKO 1. Kantavien seinien vähimmäispaksuudet.

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

* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.
Ks. kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen μ_{fi} määritelmää.

Standardipalonkestävyyden arvot kertovat tavoitellun paloluokituksen. REI kertoo seinän kantavuuden (R), tiiviyden (E) ja eristävyden (I) kestävydestä. Luku perässä ilmaisee ajan minuutteina, jonka mainitut ominaisuudet tulipalossa kestävät.

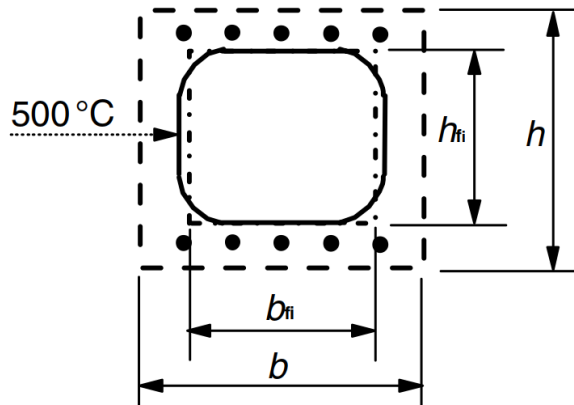
Keskiöetäisyys tarkoittaa pääraudoituksen keskipisteen etäisyyttä rakenteen reunasta. Kuten taulukossa 1. todetaan, alemmissa paloluokissa keskiöetäisyyden määräävä mitta on yleensä mitoituksen edellyttämä betonipeitteen paksuus.

Hyväksikäyttöaste μ_{fi} on tulipalonaikaisen kuormituksen aiheuttaman puristusjännityksen ja kyseisen betonin lämpötilaa +20 °C vastaavan kuutiolujuuden suhde. Yleisesti käytetään hyväksikäyttöasteena arvoa 0,7.

2.2.3 500 °C isotermimenetelmä

Isotermimenetelmässä on ideana, että yli 500 °C asteista betonia ei huomioida poikkeileikkauksen mittoihin ollenkaan. Jäljelle jäävän alle 500 °C asteisen betonin oletetaan säilyttävän alkuperäiset ominaisuutensa. Terästen lujuuden heikkeneminen tarkastetaan

eurokoodin taulukoista lämpötilan perusteella. Liitteestä 2. löytyy laskuesimerkki 500 °C isotermimenetelmällä.



KUVA 2. Paloaltistus neljältä sivulta.

Kuvasta 2. käy menetelmän idea selkeästi ilmi, eli määritetään poikkileikkaukselle uudet mitat b_{fi} ja h_{fi} . Mitoissa tulee ottaa huomioon kuinka monelta sivulta tulipalo rakenteeseen vaikuttaa. Uuden poikkileikkauksen pyöristyneet kulmat voidaan huomioida arviolta samankokoisella suorakaiteen muotoisella alueella.

Osa teräksistä saattaa jäädä uuden poikkileikkauksen ulkopuolelle, mutta ne voidaan tästä huolimatta sisällyttää poikkileikkauksen murtorajatilan mukaisen kestävyuden laskentaan.

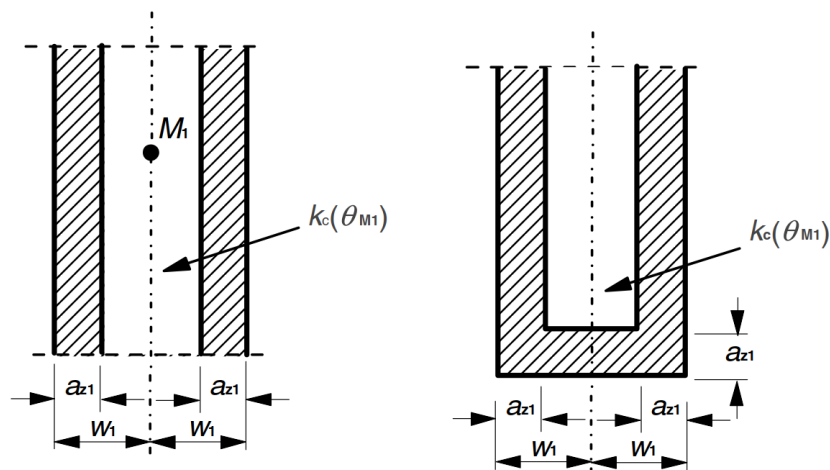
Eurokoodin EN 1992-1-2 liitteestä A löytyy lämpötilaprofiileita, joista näkee lämpötilan rakenteen sisällä eri poikkileikkauksilla ja eri paloluokissa. Tämän avulla selvitetään terästen lämpötila jonka jälkeen saadaan laskettua standardin EN 1992-1-2 kohdan 4.2.4.3 mukaan terästen pienentynyt lujuus. Vain toiselta puolelta palolle alttiina oleville seinille voidaan käyttää myös laattojen lämpötilaprofiileja. Liitteessä 3. on esitetty esimerkkejä lämpötilaprofiileista.

Pienentynyt poikkileikkaus mitoitetaan normaalisti käyttäen alkuperäistä teräsmäärää, mutta pienennettyä terästen lujuusarvoa sekä poikkileikkausta. Jos rakenne ei kestä, tulee raudoitusta lisätä tarvittava määrä vaadittuun arvoon pääsemiseksi.

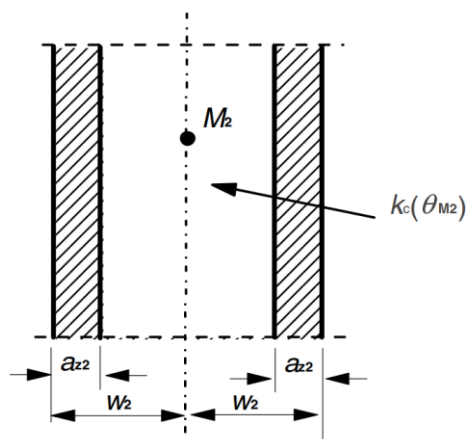
2.2.4 Vyöhykemenetelmä

Tässä menetelmässä rakenne jaetaan nimensä mukaisesti vyöhykkeisiin ja määritetään kullekin keskimääräinen lämpötila ja vastaava keskimääräinen puristuslujuus. Menetelmä on hieman työlämpi kuin edellä kuvattu 500 °C isotermimenetelmä. Liitteessä 4. on esimerkkilasku vyöhykemenetelmällä.

Palossa heikentynyt vyöhyke a_z jätetään huomioimatta ja käytetään uutta pienennettyä poikkileikkausta. Pistettä M käytetään pienentyneen poikkileikkauksen puristuslujuuden määrittämiseen ja sen paikka valitaan seinän keskiviivalta. Seinän paksuudeksi oletetaan $2w$, kun palo vaikuttaa seinään molemmilta puolilta. Kun palolle alttiina on myös seinän pääty, oletetaan heikentynyt vyöhyke a_z päädyssä yhtä paksuksi kuin pitkillä sivuilla.

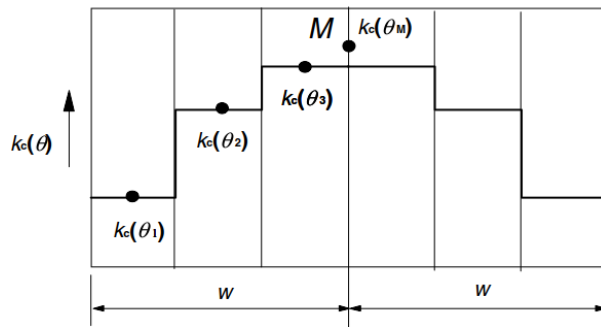


KUVA 3. Palolle molemmilta puolilta ja päädyistä altistunut seinä.



KUVA 4. Palolle molemmilta puolilta altistunut paksu seinä.

Seinän puolikas jaetaan samankokoisiin vyöhykkeisiin joita on vähintään kolme. Lämpötila selvitetään kunkin vyöhykkeen keskellä samalla tavalla lämpötilaprofiileista kuin 500 °C isotermimenetelmässä. Tämän jälkeen määritetään vastaava puristuslujuutta koskeva pienennyskerroin $k_c(\theta_i)$. Tarvittaessa selvitetään myös betonin uusi kimmokerroin.



KUVA 5. Vyöhykkeisiin jaettu seinä.

Arvot saadaan selvitettyä standardin EN 1992-1-2 Liitteen B kaavoilla (B.11) ja (B.13) sekä kuvan B.5 avulla.

Kun palotilanteen lujuus sekä pienennetty poikkileikkaus on selvitetty, edetään mitoituksessa samalla tavalla kuin 500 °C isotermimenetelmässä. Mitoitetaan rakenne normaalitilanteen mukaan, mutta käytetään arvoina saatuja palotilanteen pienennettyjä arvoja. Vyöhykemenetelmä on menetelmistä tarkempi erityisesti pilareita laskiessa, mutta erot ovat yleensä pieniä 500 °C isotermimenetelmään verrattuna.

3 LASKENTATAULUKOIDEN KÄYTTÖ

Elementtisuunnittelu.fi sivustolta löytyy valmiit mitoitusaulukot sekä raudoitetuille että raudoittamattomille väliseinäelementeille. Taulukoista käy ilmi elementtien kestävyudet eri poikkileikkaus- ja korkeusarvoilla sekä raudoituksilla.

Sivustolta löytyy myös seinän mitoitus excel, johon käyttäjä syöttää itse seinän mitat, raudoitukset ja kuormat. Kohdissa 3.1 sekä 3.2 käydään läpi näiden taulukoiden käyttöohjeet. Kohdassa 3.3 käydään tämän työn tekijän itse laatimien palomitoitus excel- taulukoiden käyttöohjeet läpi.

3.1 Valmiiden laskettujen arvojen sisältävien taulukoiden käyttö

Excel- taulukoissa on esitetty väliseinäelementtien kantokyvyt Eurokoodin mukaan. Taulukoita on molemmille seinätyypeille kaksi (2), toinen on esitetty normaaleilla materiaaliosavarmuuskertoimilla (1,5 ja 1,15) ja toinen alennetuilla kertoimilla (1,35 ja 1,1).

3.1.1 Raudoitetut väliseinät

Raudoitettujen väliseinäelementtien mitoitusaulukot ovat osavarmuuslukuja ja täten kantokykyarvoja lukuun ottamatta keskenään täysin samanlaiset (Kuva 7. ja Kuva 8.). Ohjeet on tehty alennettujen kertoimien taulukkoa käyttäen. Molemmissa taulukoissa mitoitus tapahtuu täysin samalla tavalla.

Raudoitettu seinä, yksinkertaistettu laskamenetely

- Tuuli $q_{ed} = 0,6 \text{ kN/m}^2$
 - Ensimmäisen kertaluvun momentti (suurempi)
 $M_{2,End} = Ned * e_{2,End} * 1/2 * 70 \text{ mm} * b * l_w * 25 \text{ kN/m}^3 * 285 \text{ mm}$
 - Ensimmäisen kertaluvun momentti (pienempi)
 $M_{1,End} = Ned * e_{1,End} * 1/2 * 70 \text{ mm} * b * l_w * 25 \text{ kN/m}^3 * 285 \text{ mm}$
 $\gamma_c = 1,35 \text{ (2.4.2.4)}$
 Raudoite B500K, $\gamma_s = 1,1 \text{ (2.4.2.4)}$
 Raudoite pystysuunnassa $0,002 A_s \leq A_{s,y} \leq 0,06 A_c$
 Virumaluku $\phi_{br} = 2,0 \text{ (3.1.4.5.8.4)}$
 $\beta = 1,0 \text{ (Taulukko 12.1)}$
 Tehollinen korkeus $d = h_w - c_{nom} - 1,5 d_{s,v} \text{ (5.8.8.3)}$
 Epäkeskisyydet $e_{1,2} \geq e_{1,2} \text{ (6.1.4)}$
 Raudoitettujen seinät, osavarmuus $\gamma_c = 1,35, \gamma_s = 1,1$

Betoniluokka	N_Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10														
Raudoite k150	0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4														
Epäkeskisyydet e1	0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4														
Epäkeskisyydet e2	20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4														
Seinän korkeus	Seinän paksuus 150																								
2400	1 213	891	932	623	1 312	955	1 015	728	1 320	983	1 051	664	1 413	1 068	1 113	781	1 398	1 051	1 129	699	2 662	1 497	1 172	1 227	825
2700	991	774	827	540	1 088	867	900	647	1 088	834	888	569	1 155	944	1 004	686	1 181	881	946	590	2 148	1 255	992	1 053	713
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1 039	826	872	609	992	742	793	506	1 491	1 099	866	913	628
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545	849	637	681	447	1 254	960	758	802	563
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458	677	518	551	380	1 042	795	639	671	488
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390	515	412	432	314	812	633	521	544	411
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333	403	331	346	263	632	510	430	447	351
	Seinän paksuus 180																								
2400	1 973	1 344	1 591	916	2 119	1 469	1 720	1 060	2 262	1 512	1 803	1 007	2 406	1 643	1 934	1 157	2 533	1 639	1 996	1 082	3 336	2 673	1 797	2 130	1 238
2700	1 762	1 174	1 402	813	1 912	1 319	1 537	951	1 981	1 308	1 561	870	2 129	1 434	1 700	1 023	2 171	1 427	1 679	924	3 336	2 318	1 550	1 843	1 089
3000	1 533	1 056	1 221	712	1 685	1 162	1 367	854	1 682	1 141	1 328	758	1 836	1 284	1 474	912	1 799	1 222	1 450	788	3 233	1 958	1 375	1 562	950
3300	1 324	928	1 080	635	1 476	1 066	1 202	778	1 397	1 002	1 172	662	1 581	1 145	1 303	812	1 508	1 050	1 244	678	2 649	1 622	1 203	1 396	841
3600	1 131	834	966	568	1 306	972	1 091	707	1 247	877	1 034	585	1 350	1 025	1 179	735	1 308	910	1 081	595	2 065	1 464	1 068	1 228	750
3900	980	707	827	491	1 099	846	962	624	1 103	782	919	526	1 254	934	1 062	671	1 157	792	944	530	1 663	1 293	951	1 104	681
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1 034	778	888	576	977	676	800	465	1 457	1 133	836	957	608
4500	647	476	546	352	784	608	682	468	706	511	591	372	852	652	737	496	764	544	631	389	1 172	919	694	787	522
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430	596	441	504	329	938	747	579	650	451
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376	472	363	407	281	751	613	491	541	393
	Seinän paksuus 200																								
2400	2 406	1 641	2 026	1 125	2 558	1 774	2 164	1 265	2 798	1 872	2 337	1 243	2 949	2 011	2 476	1 423	3 179	2 088	2 633	1 357	3 779	3 328	2 232	2 772	1 537
2700	2 242	1 483	1 847	1 002	2 401	1 623	1 992	1 175	2 580	1 670	2 102	1 106	2 737	1 818	2 250	1 270	2 898	1 808	2 335	1 180	3 779	3 053	1 995	2 485	1 361
3000	2 042	1 316	1 655	900	2 207	1 478	1 807	1 057	2 311	1 462	1 852	964	2 476	1 623	2 010	1 139	2 548	1 596	2 021	1 023	3 779	2 713	1 741	2 186	1 209
3300	1 817	1 190	1 470	797	1 988	1 330	1 627	959	2 010	1 294	1 600	848	2 184	1 455	1 783	1 023	2 165	1 389	1 716	883	3 637	2 345	1 565	1 899	1 067
3600	1 594	1 061	1 282	716	1 769	1 215	1 468	880	1 727	1 149	1 422	747	1 909	1 315	1 560	919	1 780	1 214	1 510	766	3 148	2 015	1 385	1 678	952
3900	1 405	960	1 175	644	1 580	1 121	1 313	803	1 478	1 019	1 257	664	1 682	1 185	1 426	837	1 586	1 060	1 333	675	2 560	1 728	1 244	1 497	853
4200	1 216	852	1 038	575	1 395	1 009	1 197	730	1 339	911	1 134	599	1 481	1 085	1 295	764	1 404	929	1 173	601	2 108	1 574	1 110	1 346	776
4500	1 022	714	874	490	1 183	875	1 027	638	1 154	778	968	522	1 315	949	1 137	682	1 264	827	1 048	543	1 762	1 422	1 101	1 226	711
4800	848	593	722	419	1 001	746	882	557	940	637	788	442	1 108	806	957	590	1 032	682	854	463	1 512	1 206	858	1 033	622
5100	692	492	592	360	849	639	744	488	755	525	637	378	922	684	804	515	814	554	681	393	1 253	996	722	857	540

KUVA 6. Väliseinäelementtien mitoitus alennetuilla osavarmuuskertoimilla.

Raudoitettu seinä, yksinkertaistettu laskamenetely

- Tuuli $q_{ed} = 0,6 \text{ kN/m}^2$
 - Ensimmäisen kertaluvun momentti (suurempi)
 $M_{2,End} = Ned * e_{2,End} * 1/2 * 70 \text{ mm} * b * l_w * 25 \text{ kN/m}^3 * 285 \text{ mm}$
 - Ensimmäisen kertaluvun momentti (pienempi)
 $M_{1,End} = Ned * e_{1,End} * 1/2 * 70 \text{ mm} * b * l_w * 25 \text{ kN/m}^3 * 285 \text{ mm}$
 $\gamma_c = 1,5 \text{ (2.4.2.4)}$
 Raudoite B500K, $\gamma_s = 1,15 \text{ (2.4.2.4)}$
 Raudoite pystysuunnassa $0,002 A_s \leq A_{s,y} \leq 0,06 A_c$
 Virumaluku $\phi_{br} = 2,0 \text{ (3.1.4.5.8.4)}$
 $\beta = 1,0 \text{ (Taulukko 12.1)}$
 Tehollinen korkeus $d = h_w - c_{nom} - 1,5 d_{s,v} \text{ (5.8.8.3)}$
 Epäkeskisyydet $e_{1,2} \geq e_{1,2} \text{ (6.1.4)}$
 Raudoitettujen seinät, osavarmuus $\gamma_c = 1,5, \gamma_s = 1,15$

Betoniluokka	N_Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10														
Raudoite k150	0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4														
Epäkeskisyydet e1	0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4		0 0		20 hw/4														
Epäkeskisyydet e2	20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4		20 hw/4														
Seinän korkeus	Seinän paksuus 150																								
2400	1 158	837	893	596	1 268	920	983	698	1 277	942	987	636	1 374	1 006	1 065	746	1 374	1 006	1 084	672	2 414	1 466	1 107	1 155	792
2700	978	745	791	519	1 072	819	852	620	1 034	799	854	550	1 138	913	949	661	1 127	851	907	569	2 159	1 188	957	1 019	685
3000	831	652	693	461	917	757	785	562	915	696	740	480	985	798	845	587	958	719	771	492	1 562	1 071	833	880	606
3300	699	543	579	391	787	641	675	487	783	597	637	423	891	705	742	525	834	624	667	434	1 203	933	738	783	545
3600	557	438	462	325	652	536	560	414	612	475	503	348	717	579	609	445	669	511	543	370	1 027	782	622	654	473
3900	439	354	371	272	536	444	463	355	476	380	400	291	579	480	500	379	514	404	426	307	804	622	510	533	401
4200	349	289	301	231	437	373	387	305	374	309	322	246	472	399	414	325	399	327	343	258	627	502	423	440	342
	Seinän paksuus 180																								
2400	1 822	1 259	1 482	868	1 962	1 376	1 605	994	2 095	1 421	1 685	952	2 232	1 542	1 809	1 103	2 352	1 567	1 872	1 033	3 022	2 486	1 695	1 998	1 176
2700	1 650	1 127	1 323	771	1 792	1 247	1 449	911	1 864	1 229	1 479	834	2 004	1 381	1 609	975	2 054	1 356	1 616	883	3 022	2 194	1 474	1 751	1 039
3000	1 458	994	1 173	685	1 602	1 125	1 301	818	1 611	1 095	1 271	729	1 756	1 211	1 425	875	1 736	1 169	1 376	761	3 022	1 884	1 325	1 510	914
3300	1 275	893	1 020	611	1 419	1 008	1 173	745	1 382	960	1 131	640	1 529	1 107	1 240	784	1 427	1 0							

Taulukossa on esitetty seinän paksuudelle vaihtoehdot 150 mm, 180 mm ja 200 mm. Seinän ollessa yli 200 mm paksu on taulukkoa mahdollista käyttää 200 mm paksuisen seinän arvoilla, mutta on kuitenkin suositeltavaa mitoittaa seinä eri menetelmällä. Kantavan ja jäykistävän seinän minimipaksuudeksi suositellaan 180 mm. Esimerkiksi on valittu seinä, jonka paksuus on 180 mm.

Raudoitettut seinät, osavarmuus $\gamma_c=1,35, \gamma_s=1,1$																									
Betoniluokka	N Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10		8		10										
Epäkeskisyyt e1	0	0	20 hw/4	0	0	20 hw/4	0	0	20 hw/4	0	0	20 hw/4	0	0	0	20 hw/4									
Epäkeskisyyt e2	20 hw/4	20 hw/4		20 hw/4	20 hw/4		20 hw/4	20 hw/4		20 hw/4	20 hw/4		20 hw/4	20 hw/4		20 hw/4									
Seinän korkeus	Seinän paksuus 150																								
2400	1 213	891	932	623	1 312	955	1 015	728	1 320	983	1 051	664	1 413	1 068	1 113	781	1 398	1 051	1 129	699	2 662	1 497	1 172	1 227	825
2700	991	774	827	540	1 088	867	900	647	1 088	834	888	569	1 155	944	1 004	686	1 181	881	946	590	2 148	1 255	992	1 053	713
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1 039	826	872	609	992	742	793	506	1 491	1 099	866	913	628
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545	849	637	681	447	1 254	960	758	802	563
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458	677	518	551	380	1 042	795	639	671	488
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390	515	412	432	314	812	633	521	544	411
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333	403	331	346	263	632	510	430	447	351
Seinän paksuus 180																									
2400	1 973	1 344	1 591	916	2 119	1 469	1 720	1 060	2 262	1 512	1 803	1 007	2 406	1 643	1 934	1 157	2 533	1 639	1 996	1 082	3 336	2 673	1 797	2 130	1 238
2700	1 762	1 174	1 402	813	1 912	1 319	1 537	951	1 981	1 308	1 561	870	2 129	1 434	1 700	1 023	2 171	1 427	1 679	924	3 336	2 318	1 550	1 843	1 089
3000	1 533	1 056	1 221	712	1 685	1 162	1 367	854	1 682	1 141	1 328	758	1 836	1 284	1 474	912	1 799	1 222	1 450	788	3 233	1 958	1 375	1 562	950
3300	1 324	928	1 080	635	1 476	1 066	1 202	778	1 397	1 002	1 172	662	1 581	1 145	1 303	812	1 508	1 050	1 244	678	2 649	1 622	1 203	1 396	841
3600	1 131	834	966	568	1 306	972	1 091	707	1 247	877	1 034	585	1 350	1 025	1 179	735	1 308	910	1 081	595	2 065	1 464	1 068	1 228	750
3900	980	707	827	491	1 099	846	962	624	1 103	782	919	526	1 254	934	1 062	671	1 157	792	944	530	1 663	1 293	951	1 104	681
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1 034	778	888	576	977	676	800	465	1 457	1 133	836	957	608
4500	647	476	546	352	784	608	680	468	706	511	591	372	852	652	737	496	764	544	631	389	1 172	919	694	787	522
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430	596	441	504	329	938	747	579	650	451
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376	472	363	407	281	751	613	491	541	393
Seinän paksuus 200																									
2400	2 406	1 641	2 026	1 125	2 558	1 774	2 164	1 265	2 798	1 872	2 337	1 243	2 949	2 011	2 476	1 423	3 179	2 088	2 633	1 357	3 779	3 328	2 232	2 772	1 537
2700	2 242	1 483	1 847	1 002	2 401	1 623	1 992	1 175	2 580	1 670	2 102	1 106	2 737	1 818	2 250	1 270	2 898	1 808	2 335	1 180	3 779	3 053	1 995	2 485	1 361
3000	2 042	1 316	1 655	900	2 207	1 478	1 807	1 057	2 311	1 462	1 852	964	2 476	1 623	2 010	1 139	2 548	1 596	2 021	1 023	3 779	2 713	1 741	2 186	1 209
3300	1 817	1 190	1 470	797	1 988	1 330	1 627	959	2 010	1 294	1 600	848	2 184	1 455	1 783	1 023	2 165	1 389	1 716	883	3 637	2 345	1 565	1 899	1 067
3600	1 594	1 061	1 282	716	1 769	1 215	1 468	880	1 727	1 149	1 422	747	1 909	1 315	1 560	919	1 780	1 214	1 510	766	3 148	2 015	1 385	1 678	952
3900	1 405	960	1 175	644	1 580	1 121	1 313	803	1 478	1 019	1 257	664	1 682	1 185	1 426	837	1 586	1 060	1 333	675	2 560	1 728	1 244	1 497	853
4200	1 216	852	1 038	575	1 395	1 009	1 197	730	1 339	911	1 134	599	1 481	1 085	1 295	764	1 404	929	1 173	601	2 108	1 574	1 110	1 346	776
4500	1 022	714	874	490	1 183	875	1 027	638	1 154	778	968	522	1 315	949	1 137	682	1 264	827	1 048	543	1 762	1 422	1 011	1 226	711
4800	848	593	722	419	1 001	746	882	557	940	637	788	442	1 108	806	957	590	1 032	682	854	463	1 512	1 206	858	1 033	622
5100	692	492	592	360	849	639	744	488	755	525	637	378	922	684	804	515	814	554	681	393	1 253	996	722	857	540

KUVA 8. Seinän paksuuden valinta taulukosta.

Oikean paksuuden löydyttyä valitaan seinän korkeus. Paksuuksille 180 mm ja 200 mm korkeusvaihtoehtoja löytyy väliltä 2400 – 5100 mm, 300 mm välein. 150 mm paksuiselle seinälle korkeuksia löytyy vain 4200 mm asti johtuen hoikkuuden liiallisesta kasvusta. Suositeltu maksimikorkeus elementeille on 3600 mm. Esimerkkitapauksessa on käytetty 2700 mm korkeaa seinää.

Raudoitettut seinät, osavarmuus $\gamma_c=1,35$, $\gamma_s=1,1$																									
Betoni luokka	N. Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10		8		10										
Raudoitte k150	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4									
Epäkeskiisyys e1	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4									
Epäkeskiisyys e2																									
Seinän korkeus	Seinän paksuus 150																								
2400	1213	891	932	623	1312	955	1015	728	1320	983	1051	664	1413	1068	1113	781	1398	1051	1129	699	2662	1497	1172	1227	825
2700	991	774	827	540	1088	867	900	647	1088	834	888	569	1155	944	1004	686	1181	881	946	590	2148	1255	992	1053	713
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1039	826	872	609	992	742	793	506	1491	1099	866	913	628
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545	849	637	681	447	1254	960	758	802	563
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458	677	518	551	380	1042	795	639	671	488
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390	515	412	432	314	812	633	521	544	411
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333	403	331	346	263	632	510	430	447	351
2400	1973	1344	1591	916	2119	1469	1720	1060	2262	1512	1803	1007	2406	1643	1934	1157	2533	1639	1996	1082	3336	2673	1797	2130	1238
2700	1762	1174	1402	813	1912	1319	1537	951	1981	1308	1561	870	2129	1434	1700	1023	2171	1427	1679	924	3336	2318	1550	1843	1089
3000	1533	1056	1221	712	1685	1162	1367	854	1682	1141	1328	758	1836	1284	1474	912	1799	1222	1450	788	3233	1958	1375	1562	950
3300	1324	928	1080	635	1476	1066	1202	778	1397	1002	1172	662	1581	1145	1303	812	1508	1050	1244	678	2649	1622	1203	1396	841
3600	1131	834	966	568	1306	972	1091	707	1247	877	1034	585	1350	1025	1179	735	1308	910	1081	595	2065	1464	1068	1228	750
3900	980	707	827	491	1099	846	962	624	1103	782	919	526	1254	934	1062	671	1157	792	944	530	1663	1293	951	1104	681
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1034	778	888	576	977	676	800	465	1457	1133	836	957	608
4500	647	476	546	352	784	608	680	468	706	511	591	372	852	652	737	496	764	544	631	389	1172	919	694	787	522
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430	596	441	504	329	938	747	579	650	451
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376	472	363	407	281	751	613	491	541	393
2400	2406	1641	2026	1125	2558	1774	2164	1265	2798	1872	2337	1243	2949	2011	2476	1423	3179	2088	2633	1357	3779	3328	2232	2772	1537
2700	2242	1483	1847	1002	2401	1623	1992	1175	2580	1670	2102	1106	2737	1818	2250	1270	2898	1808	2335	1180	3779	3053	1995	2485	1361
3000	2042	1316	1655	900	2207	1478	1807	1057	2311	1462	1852	964	2476	1623	2010	1139	2548	1596	2021	1023	3779	2713	1741	2186	1209
3300	1817	1190	1470	797	1988	1330	1627	959	2010	1294	1600	848	2184	1455	1783	1023	2165	1389	1716	883	3637	2345	1565	1899	1067
3600	1594	1061	1282	716	1769	1215	1468	880	1727	1149	1422	747	1909	1315	1560	919	1780	1214	1510	766	3148	2015	1385	1678	952
3900	1405	960	1175	644	1580	1121	1313	803	1478	1019	1257	664	1682	1185	1426	837	1586	1060	1333	675	2560	1728	1244	1497	853
4200	1216	852	1038	575	1395	1009	1197	730	1339	911	1134	599	1481	1085	1295	764	1404	929	1173	601	2108	1574	1110	1346	776
4500	1022	714	874	490	1183	875	1027	638	1154	778	968	522	1315	949	1137	682	1264	827	1048	543	1762	1422	1011	1226	711
4800	848	593	722	419	1001	746	882	557	940	637	788	442	1108	806	957	590	1032	682	854	463	1512	1206	858	1033	622
5100	692	492	592	360	849	639	744	488	755	525	637	378	922	684	804	515	814	554	681	393	1253	996	722	857	540

KUVA 9. Seinän paksuus 180 mm ja korkeus 2700 mm.

Betoni luokiksi taulukko tarjoaa C25/30, C30/37 ja C35/45. Väliseinäelementeissä yleisin lujuus on C25/30, joten esimerkissä on käytetty kyseistä betoni luokkaa.

Raudoitettut seinät, osavarmuus $\gamma_c=1,35$, $\gamma_s=1,1$																									
Betoni luokka	N. Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10		8		10										
Raudoitte k150	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4									
Epäkeskiisyys e1	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4									
Epäkeskiisyys e2																									
Seinän korkeus	Seinän paksuus 150																								
2400	1213	891	932	623	1312	955	1015	728	1320	983	1051	664	1413	1068	1113	781	1398	1051	1129	699	2662	1497	1172	1227	825
2700	991	774	827	540	1088	867	900	647	1088	834	888	569	1155	944	1004	686	1181	881	946	590	2148	1255	992	1053	713
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1039	826	872	609	992	742	793	506	1491	1099	866	913	628
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545	849	637	681	447	1254	960	758	802	563
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458	677	518	551	380	1042	795	639	671	488
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390	515	412	432	314	812	633	521	544	411
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333	403	331	346	263	632	510	430	447	351
2400	1973	1344	1591	916	2119	1469	1720	1060	2262	1512	1803	1007	2406	1643	1934	1157	2533	1639	1996	1082	3336	2673	1797	2130	1238
2700	1762	1174	1402	813	1912	1319	1537	951	1981	1308	1561	870	2129	1434	1700	1023	2171	1427	1679	924	3336	2318	1550	1843	1089
3000	1533	1056	1221	712	1685	1162	1367	854	1682	1141	1328	758	1836	1284	1474	912	1799	1222	1450	788	3233	1958	1375	1562	950
3300	1324	928	1080	635	1476	1066	1202	778	1397	1002	1172	662	1581	1145	1303	812	1508	1050	1244	678	2649	1622	1203	1396	841
3600	1131	834	966	568	1306	972	1091	707	1247	877	1034	585	1350	1025	1179	735	1308	910	1081	595	2065	1464	1068	1228	750
3900	980	707	827	491	1099	846	962	624	1103	782	919	526	1254	934	1062	671	1157	792	944	530	1663	1293	951	1104	681
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1034	778	888	576	977	676	800	465	1457	1133	836	957	608
4500	647	476	546	352	784	608	680	468	706	511	591	372	852	652	737	496	764	544	631	389	1172	919	694	787	522
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430	596	441	504	329	938	747	579	650	451
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376	472	363	407	281	751	613	491	541	393
2400	2406	1641	2026	1125	2558	1774	2164	1265	2798	1872	2337	1243	2949	2011	2476	1423	3179	2088	2633	1357	3779	3328	2232	2772	1537
2700	2242	1483	1847	1002	2401	1623	1992	1175	2580	1670	2102	1106	2737	1818	2250	1270	2898	1808	2335	1180	3779	3053	1995	2485	1361
3000	2042	1316	1655	900	2207	1478	1807	1057	2311	1462	1852	964	2476	1623	2010	1139	2548	1596	2021	1023	3779	2713	1741	2186	1209
3300	1817	1190	1470	797	1988	1330	1627	959	2010	1294	1600	848	2184	1455	1783	1023	2165	1389	1716	883	3637	2345	1565	1899	10

Raudoitettujen seinät, osavarmuus $\gamma_c=1,35$, $\gamma_s=1,1$																									
Betoni luokka Raudoite k150 Epäkeskisyyks e1 Epäkeskisyyks e2 Seinän korkeus	N. Edc [kN]																								
	C25/30				C30/37				C35/45																
	8		10		8		10		8		10		8		10										
	0	0	20	20	0	0	20	20	0	0	20	20	0	0	20	20									
	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4	hw/4									
Seinän paksuus 150																									
2400	1 213	891	932	623	1 312	955	1 015	728	1 320	983	1 051	664	1 413	1 068	1 113	781	1 398	1 051	1 129	699	2 662	1 497	1 172	1 227	825
2700	991	774	827	540	1 088	867	900	647	1 088	834	888	569	1 155	944	1 004	686	1 181	881	946	590	2 148	1 255	992	1 053	713
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1 039	826	872	609	992	742	793	506	1 491	1 099	866	913	628
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545	849	637	681	447	1 254	960	758	802	563
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458	677	518	551	380	1 042	795	639	671	488
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390	515	412	432	314	812	633	521	544	411
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333	403	331	346	263	632	510	430	447	351
Seinän paksuus 180																									
2400	1 973	1 344	1 591	916	2 119	1 469	1 720	1 060	2 262	1 512	1 803	1 007	2 406	1 643	1 934	1 157	2 533	1 639	1 996	1 082	3 336	2 673	1 797	2 130	1 238
2700	1 762	1 174	1 402	813	1 912	1 319	1 537	951	1 981	1 308	1 561	870	2 129	1 434	1 700	1 023	2 171	1 427	1 679	924	3 336	2 318	1 550	1 843	1 089
3000	1 533	1 056	1 221	712	1 685	1 162	1 367	854	1 682	1 141	1 328	758	1 836	1 284	1 474	912	1 799	1 222	1 450	788	3 233	1 958	1 375	1 562	950
3300	1 324	928	1 080	635	1 476	1 066	1 202	778	1 397	1 002	1 172	662	1 581	1 145	1 303	812	1 508	1 050	1 244	678	2 649	1 622	1 203	1 396	841
3600	1 131	834	966	568	1 306	972	1 091	707	1 247	877	1 034	585	1 350	1 025	1 179	735	1 308	910	1 081	595	2 065	1 464	1 068	1 228	750
3900	980	707	827	491	1 099	846	962	624	1 103	782	919	526	1 254	934	1 062	671	1 157	792	944	530	1 663	1 293	951	1 104	681
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1 034	778	888	576	977	676	800	465	1 457	1 133	836	957	608
4500	647	476	546	352	784	608	680	468	706	511	591	372	852	652	737	496	764	544	631	389	1 172	919	694	787	522
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430	596	441	504	329	938	747	579	650	451
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376	472	363	407	281	751	613	491	541	393
Seinän paksuus 200																									
2400	2 406	1 641	2 026	1 125	2 558	1 774	2 164	1 265	2 798	1 872	2 337	1 243	2 949	2 011	2 476	1 423	3 179	2 088	2 633	1 357	3 779	3 328	2 232	2 772	1 537
2700	2 242	1 483	1 847	1 002	2 401	1 623	1 992	1 175	2 580	1 670	2 102	1 106	2 737	1 818	2 250	1 270	2 898	1 808	2 335	1 180	3 779	3 053	1 995	2 485	1 361
3000	2 042	1 316	1 655	900	2 207	1 478	1 807	1 057	2 311	1 462	1 852	964	2 476	1 623	2 010	1 139	2 548	1 596	2 021	1 023	3 779	2 713	1 741	2 186	1 209
3300	1 817	1 190	1 470	797	1 988	1 330	1 627	959	2 010	1 294	1 600	848	2 184	1 455	1 783	1 023	2 165	1 389	1 716	883	3 637	2 345	1 565	1 899	1 067
3600	1 594	1 061	1 282	716	1 769	1 215	1 468	880	1 727	1 149	1 422	747	1 909	1 315	1 560	919	1 780	1 214	1 510	766	3 148	2 015	1 385	1 678	952
3900	1 405	960	1 175	644	1 580	1 121	1 313	803	1 478	1 019	1 257	664	1 682	1 185	1 426	837	1 586	1 060	1 333	675	2 560	1 728	1 244	1 497	853
4200	1 216	852	1 038	575	1 395	1 009	1 197	730	1 339	911	1 134	599	1 481	1 085	1 295	764	1 404	929	1 173	601	2 108	1 574	1 110	1 346	776
4500	1 022	714	874	490	1 183	875	1 027	638	1 154	778	968	522	1 315	949	1 137	682	1 264	827	1 048	543	1 762	1 422	1 011	1 226	711
4800	848	593	722	419	1 001	746	882	557	940	637	788	442	1 108	806	957	590	1 032	682	854	463	1 512	1 206	858	1 033	622
5100	692	492	592	360	849	639	744	488	755	525	637	378	922	684	804	515	814	554	681	393	1 253	996	722	857	540

KUVA 11. Raudoitteena on käytetty 10 mm teräksiä.

Seuraavaksi tulee selvittää kuorman epäkeskisyyks. Epäkeskisyyks e1 tarkoittaa seinän alareunassa mahdollisesti esiintyvää epäkeskisyyttä, kun taas e2 tarkoittaa yläreunaa. Yleisesti voidaan olettaa, että elementin yläpäässä esiintyy aina hieman epäkeskisyyttä.

Epäkeskisyyden vähimmäisarvo eurokoodin mukaan on suurempi arvoista $h_w/30$ ja 20 mm. Taulukoissa h_w tarkoittaa seinän paksuutta ja jokaisella seinän paksuudella $h_w/30$ on arvoltaan pienempi kuin 20 mm, joten taulukoissa on käytetty 20 mm vaihtoehtoa.

Vaihtoehto $h_w/4$ tulee Elementtisuunnittelu.fi-sivustolle aikanaan laadituista laskelmista, jotka perustuivat vanhan RakMK:n mukaiseen Runko-BES-kansioon. Runko-BESiin laskelmat oli tehty suurilla epäkeskisyyksillä. Kun uudet laskelmat laadittiin nykyisillä pienemmillä epäkeskisyyksillä, jäi mukaan vanha taulukko suuresta epäkeskisyydestä $h_w/4$. Epäkeskisyyks voi tietysti kasvaa suuremmaksi kuin 20mm, jos laatta/seinä-liitos tehdään konsolilla tai seinään kohdistuu suuria ulkoisia vaakakuormia, mutta yleensä $h_w/4$ vaihtoehtoa ei nykypäivänä käytetä. Esimerkissä on käytetty epäkeskisyyden arvoja e1=0 ja e2=20.

Raidoitettut seinät, osavarmuus $\gamma_c=1,35$, $\gamma_s=1,1$																
Betoniluokka Raidoite k150 Epäkeskisyyt e1 Epäkeskisyyt e2	N. Edc [kN]															
	C25/30				C30/37								C35/45			
	8		10		8		10		8		10		8		10	
	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4	0	0	20 hw/4	20 hw/4
Epäkeskisyyt e2	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4	20 hw/4
Seinän paksuus 150																
2400	1 213	891	932	623	1 312	955	1 015	728	1 320	983	1 051	664	1 413	1 068	1 113	781
2700	991	774	827	540	1 088	867	900	647	1 088	834	888	569	1 155	944	1 004	686
3000	879	679	720	478	936	783	829	586	943	716	768	496	1 039	826	872	609
3300	720	558	593	403	826	662	695	503	809	616	654	434	911	731	768	545
3600	566	447	472	334	667	549	576	429	625	485	513	358	738	594	623	458
3900	444	360	378	280	544	455	473	365	483	386	405	298	589	489	511	390
4200	352	294	306	237	445	381	395	314	377	314	328	251	478	407	422	333
Seinän paksuus 180																
2400	1 973	1 344	1 591	916	2 119	1 469	1 720	1 060	2 262	1 512	1 803	1 007	2 406	1 643	1 934	1 157
2700	1 762	1 174	1 402	813	1 912	1 319	1 537	951	1 981	1 308	1 561	870	2 129	1 434	1 700	1 023
3000	1 533	1 056	1 221	712	1 685	1 162	1 367	854	1 682	1 141	1 328	758	1 836	1 284	1 474	912
3300	1 324	928	1 080	635	1 476	1 066	1 202	778	1 397	1 002	1 172	662	1 581	1 145	1 303	812
3600	1 131	834	966	568	1 306	972	1 091	707	1 247	877	1 034	585	1 350	1 025	1 179	735
3900	980	707	827	491	1 099	846	962	624	1 103	782	919	526	1 254	934	1 062	671
4200	806	581	673	414	936	718	812	539	891	632	739	442	1 034	778	888	576
4500	647	476	546	352	784	608	680	468	706	511	591	372	852	652	737	496
4800	518	394	444	301	649	515	573	407	558	419	477	316	702	550	612	430
5100	418	329	366	259	542	441	483	356	447	347	388	271	580	466	514	376
Seinän paksuus 200																
2400	2 406	1 641	2 026	1 125	2 558	1 774	2 164	1 265	2 798	1 872	2 337	1 243	2 949	2 011	2 476	1 423
2700	2 242	1 483	1 847	1 002	2 401	1 623	1 992	1 175	2 580	1 670	2 102	1 106	2 737	1 818	2 250	1 270
3000	2 042	1 316	1 655	900	2 207	1 478	1 807	1 057	2 311	1 462	1 852	964	2 476	1 623	2 010	1 139
3300	1 817	1 190	1 470	797	1 988	1 330	1 627	959	2 010	1 294	1 600	848	2 184	1 455	1 783	1 023
3600	1 594	1 061	1 282	716	1 769	1 215	1 468	880	1 727	1 149	1 422	747	1 909	1 315	1 560	919
3900	1 405	960	1 175	644	1 580	1 121	1 313	803	1 478	1 019	1 257	664	1 682	1 185	1 426	837
4200	1 216	852	1 038	575	1 395	1 009	1 197	730	1 339	911	1 134	599	1 481	1 085	1 295	764
4500	1 022	714	874	490	1 183	875	1 027	638	1 154	778	968	522	1 315	949	1 137	682
4800	848	593	722	419	1 001	746	882	557	940	637	788	442	1 108	806	957	590
5100	692	492	592	360	849	639	744	488	755	525	637	378	922	684	804	515

KUVA 12. Epäkeskisyydet $e_1=0$ ja $e_2=20$.

Väliseinäelementti, jonka paksuus on 180 mm, korkeus 2700 mm, lujuus C25/30 ja joka on raidoitettu 10 mm teräsverkoilla voiman epäkeskisyyksien ollessa $e_1=0$ ja $e_2=20$, kestää 1912 kN voiman metrin matkalla.

3.1.2 Raidoittamattomat väliseinät

Väliseinä katsotaan raidoittamattomaksi, kun sen raidoitusten määrä on alle seinän vaaditun minimimäärän. Seinän poikkileikkauksen minimi pystyraudoitusmäärä on $A_{s,vmin}$ kun molemmat puolet lasketaan yhteen. Pystyraudoituksen tulee olla yli 0,2 % seinän vaakapoikkileikkauksen pinta-alasta (A_c), jotta se katsottaisiin raidoitetuksi.

Raidoittamattomissa seinissä käytetään pienennettyjä betonin lujuuksia. Puristuslujuutena käytetään 80 % normaalista puristuslujuudesta. Vetolujuus on puolestaan 60 % normaalista vetolujuudesta.

Raidoittamattomien väliseinien excel-taulukot (Kuva 14. ja Kuva 15.) ovat ulkomuodoltaan hieman erilaiset raidoitettuihin verrattuna, mutta taulukon käytössä on sama idea. Kuten edellisessä kohdassa, on tässäkin ohjeessa käytetty alennettujen osavarmuuslukujen taulukkoa.

Väliseinät**Lähtökohdat ja rajoitukset****Raudoittamaton seinä**- Viivakuorma $q_{Ed} = 0,5$ kN/m 1,2m korkeudella- $\gamma_c = 1,35$ (2.4.2.4)**-Ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyyys**

$$e_0 = \max(M_{02}/N_{ed}; M_{0Ed}/N_{ed}; h_w/30; 20\text{mm}) \quad (12.12; 6.1.4)$$

- Jännitystilä poikkileikkauksessa: $f_{cd,pl} \leq s_c \leq f_{ctd,pl}$ - $\beta = 1,0$ (Taulukko 12.1)- **Hoikkuus $l \leq 86$ (12.6.5.1.5)**

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	323	323	186	387	387	230	452	452	274
	2700	273	273	0	328	328	127	383	383	162
150	2400	591	591	472	709	709	569	827	827	666
	2700	542	542	406	650	650	491	758	758	575
	3000	493	493	339	591	591	411	690	690	483
	3300	443	443	271	532	532	330	621	621	390
	3600	394	394	197	473	473	245	552	552	293
180	2400	859	859	745	1 031	1 031	895	1 203	1 203	1 045
	2700	810	810	680	972	972	818	1 134	1 134	956
	3000	761	761	616	913	913	742	1 065	1 065	867
	3300	712	712	552	854	854	665	996	996	778
	3600	663	663	487	795	795	587	928	928	688
	3900	613	613	422	736	736	509	859	859	597
	4200	564	564	355	677	677	431	790	790	506
200	2400	1 038	1 038	925	1 245	1 245	1 111	1 453	1 453	1 297
	2700	989	989	861	1 187	1 187	1 035	1 384	1 384	1 208
	3000	940	940	797	1 128	1 128	959	1 316	1 316	1 120
	3300	891	891	734	1 069	1 069	882	1 247	1 247	1 031
	3600	841	841	670	1 010	1 010	806	1 178	1 178	942
	3900	792	792	606	951	951	729	1 109	1 109	853
	4200	743	743	541	892	892	652	1 041	1 041	764
	4500	694	694	476	833	833	575	972	972	674
4800	645	645	411	774	774	497	903	903	583	

KUVA 13. Raudoittamattoman elementin mitoitus alennetuilla osavarmuusluvuilla.

Väliseinät**Lähtökohdat ja rajoitukset****Raudoittamaton seinä**- Viivakuorma $q_{Ed} = 0,5$ kN/m 1,2m korkeudella- $\gamma_c = 1,5$ (2.4.2.4)**-Ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyyys**

$$e_0 = \max(M_{02}/N_{ed}; M_{0Ed}/N_{ed}; h_w/30; 20\text{mm}) \quad (12.12; 6.1.4)$$

- Jännitystilä poikkileikkauksessa: $f_{cd,pl} \leq \sigma_c \leq f_{ctd,pl}$ - $\beta = 1,0$ (Taulukko 12.1)- **Hoikkuus $\lambda \leq 86$ (12.6.5.1.5)**

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	290	290	146	348	348	204	406	406	243
	2700	246	246	0	295	295	102	344	344	138
150	2400	532	532	424	638	638	511	744	744	598
	2700	488	488	364	585	585	440	683	683	516
	3000	443	443	304	532	532	368	621	621	433
	3300	399	399	241	479	479	295	559	559	348
	3600	355	355	173	426	426	216	497	497	259
180	2400	773	773	669	928	928	805	1 082	1 082	940
	2700	729	729	612	875	875	736	1 021	1 021	860
	3000	685	685	554	822	822	666	959	959	779
	3300	641	641	495	769	769	597	897	897	699
	3600	596	596	437	716	716	527	835	835	618
	3900	552	552	378	663	663	457	773	773	536
	4200	508	508	317	610	610	385	711	711	453
200	2400	934	934	832	1 121	1 121	999	1 308	1 308	1 167
	2700	890	890	774	1 068	1 068	931	1 246	1 246	1 087
	3000	846	846	717	1 015	1 015	862	1 184	1 184	1 007
	3300	801	801	659	962	962	793	1 122	1 122	927
	3600	757	757	602	909	909	724	1 060	1 060	847
	3900	713	713	544	856	856	655	998	998	766
	4200	669	669	486	803	803	586	936	936	686
	4500	625	625	427	750	750	516	875	875	605
4800	580	580	368	697	697	445	813	813	523	

KUVA 14. Raudoittamattoman elementin mitoitus normaaleilla osavarmuusluvuilla.

Myös tässä ohjeessa aloitetaan seinän paksuuden valinnalla. Paksuuksia löytyy 120 mm, 150 mm, 180 mm ja 200 mm. Ohjeessa on käytetty 150 mm paksuutta.

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	323	323	186	387	387	230	452	452	274
	2700	273	273	0	328	328	127	383	383	162
150	2400	591	591	472	709	709	569	827	827	666
	2700	542	542	406	650	650	491	758	758	575
	3000	493	493	339	591	591	411	690	690	483
	3300	443	443	271	532	532	330	621	621	390
	3600	394	394	197	473	473	245	552	552	293
180	2400	859	859	745	1 031	1 031	895	1 203	1 203	1 045
	2700	810	810	680	972	972	818	1 134	1 134	956
	3000	761	761	616	913	913	742	1 065	1 065	867
	3300	712	712	552	854	854	665	996	996	778
	3600	663	663	487	795	795	587	928	928	688
	3900	613	613	422	736	736	509	859	859	597
	4200	564	564	355	677	677	431	790	790	506
200	2400	1 038	1 038	925	1 245	1 245	1 111	1 453	1 453	1 297
	2700	989	989	861	1 187	1 187	1 035	1 384	1 384	1 208
	3000	940	940	797	1 128	1 128	959	1 316	1 316	1 120
	3300	891	891	734	1 069	1 069	882	1 247	1 247	1 031
	3600	841	841	670	1 010	1 010	806	1 178	1 178	942
	3900	792	792	606	951	951	729	1 109	1 109	853
	4200	743	743	541	892	892	652	1 041	1 041	764
	4500	694	694	476	833	833	575	972	972	674
	4800	645	632	411	774	761	497	903	890	583

KUVA 15. Raudoittamattoman seinän paksuudeksi on valittu 150 mm.

Seuraavana valitaan seinän korkeus. Paksummille seinävaihtoehdoille on enemmän korkeusvaihtoehtoja kuin ohuemmille johtuen hoikkuuden kasvamisesta korkeammissa ja ohuemmissa seinissä. Seinäelementtien maksimikorkeudeksi kuitenkin suositellaan raudoittamattomilla seinilläkin 3600 mm. Esimerkkitapauksessa korkeudeksi on valittu 3000 mm.

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	323	323	186	387	387	230	452	452	274
	2700	273	273	0	328	328	127	383	383	162
150	2400	591	591	472	709	709	569	827	827	666
	2700	542	542	406	650	650	491	758	758	575
	3000	493	493	339	591	591	411	690	690	483
	3300	443	443	271	532	532	330	621	621	390
	3600	394	394	197	473	473	245	552	552	293
180	2400	859	859	745	1 031	1 031	895	1 203	1 203	1 045
	2700	810	810	680	972	972	818	1 134	1 134	956
	3000	761	761	616	913	913	742	1 065	1 065	867
	3300	712	712	552	854	854	665	996	996	778
	3600	663	663	487	795	795	587	928	928	688
	3900	613	613	422	736	736	509	859	859	597
	4200	564	564	355	677	677	431	790	790	506
	4800	515	515	288	618	618	354	721	721	415
200	2400	1 038	1 038	925	1 245	1 245	1 111	1 453	1 453	1 297
	2700	989	989	861	1 187	1 187	1 035	1 384	1 384	1 208
	3000	940	940	797	1 128	1 128	959	1 316	1 316	1 120
	3300	891	891	734	1 069	1 069	882	1 247	1 247	1 031
	3600	841	841	670	1 010	1 010	806	1 178	1 178	942
	3900	792	792	606	951	951	729	1 109	1 109	853
	4200	743	743	541	892	892	652	1 041	1 041	764
	4500	694	694	476	833	833	575	972	972	674
	4800	645	645	411	774	774	497	903	903	583

KUVA 16. Väliseinäelementin korkeuden valinta.

Betonin lujuusarvot ovat samat kuin raudoitettujen elementtien taulukossa ja ne näkyvät taulukon yläreunassa, eli C25/30, C30/37 ja C35/45. Esimerkissä on valittu arvoksi C30/37.

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	323	323	186	387	387	230	452	452	274
	2700	273	273	0	328	328	127	383	383	162
150	2400	591	591	472	709	709	569	827	827	666
	2700	542	542	406	650	650	491	758	758	575
	3000	493	493	339	591	591	411	690	690	483
	3300	443	443	271	532	532	330	621	621	390
	3600	394	394	197	473	473	245	552	552	293
	4200	323	323	186	387	387	230	452	452	274
180	2400	859	859	745	1 031	1 031	895	1 203	1 203	1 045
	2700	810	810	680	972	972	818	1 134	1 134	956
	3000	761	761	616	913	913	742	1 065	1 065	867
	3300	712	712	552	854	854	665	996	996	778
	3600	663	663	487	795	795	587	928	928	688
	3900	613	613	422	736	736	509	859	859	597
	4200	564	564	355	677	677	431	790	790	506
	4800	493	493	339	591	591	411	690	690	483
200	2400	1 038	1 038	925	1 245	1 245	1 111	1 453	1 453	1 297
	2700	989	989	861	1 187	1 187	1 035	1 384	1 384	1 208
	3000	940	940	797	1 128	1 128	959	1 316	1 316	1 120
	3300	891	891	734	1 069	1 069	882	1 247	1 247	1 031
	3600	841	841	670	1 010	1 010	806	1 178	1 178	942
	3900	792	792	606	951	951	729	1 109	1 109	853
	4200	743	743	541	892	892	652	1 041	1 041	764
	4500	694	694	476	833	833	575	972	972	674
	4800	645	645	411	774	774	509	903	903	606

KUVA 17. Betoniluokan valinta

Viimeisenä on valittu oikeat epäkeskisyydet. Kuten raudoitetuissa väliseinissä, myös raudoittamattomissa seinissä e1 on alareunan epäkeskisyyden ja e2 puolestaan yläpinnan. Pystykuorma ei käytännössä ole koskaan täysin keskellä seinää, joten yleisesti voidaan olettaa, että väliseinän yläpäässä esiintyy epäkeskisyyden vähimmäisarvo 20mm. Esi-merkissä on valittu e1=e2=20.

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	323	323	186	387	387	230	452	452	274
	2700	273	273	0	328	328	127	383	383	162
150	2400	591	591	472	709	709	569	827	827	666
	2700	542	542	406	650	650	491	758	758	575
	3000	493	493	339	591	591	411	690	690	483
	3300	443	443	271	532	532	330	621	621	390
	3600	394	394	197	473	473	245	552	552	293
180	2400	859	859	745	1 031	1 031	895	1 203	1 203	1 045
	2700	810	810	680	972	972	818	1 134	1 134	956
	3000	761	761	616	913	913	742	1 065	1 065	867
	3300	712	712	552	854	854	665	996	996	778
	3600	663	663	487	795	795	587	928	928	688
	3900	613	613	422	736	736	509	859	859	597
	4200	564	564	355	677	677	431	790	790	506
	4800	415	415	289	618	618	364	721	721	437
200	2400	1 038	1 038	925	1 245	1 245	1 111	1 453	1 453	1 297
	2700	989	989	861	1 187	1 187	1 035	1 384	1 384	1 208
	3000	940	940	797	1 128	1 128	959	1 316	1 316	1 120
	3300	891	891	734	1 069	1 069	882	1 247	1 247	1 031
	3600	841	841	670	1 010	1 010	806	1 178	1 178	942
	3900	792	792	606	951	951	729	1 109	1 109	853
	4200	743	743	541	892	892	652	1 041	1 041	764
	4500	694	694	476	833	833	575	972	972	674
	4800	645	645	411	774	774	500	903	903	585

KUVA 18. Epäkeskisyydet $e1=e2=20$. Loppuarvoksi saadaan 411kN/m

Esimerkkilaskusta saatiin selville, että raudoittamaton väliseinäelementti kestää kyseisillä lähtöarvoilla 411 kN voiman metrin matkalla. Jos lähtötiedoista on selvillä vain esimerkiksi kuorma, betoniluokka ja epäkeskisyydet, voi mitoituksen aloittaa toisesta suunnasta ja selvittää kuinka paksu ja korkea seinä kyseisen kuorman kestää.

3.2 Seinän mitoituslaskun käyttö

Elementtisuunnittelu.fi-sivuston seinän mitoitus excelissä löytyy taulukot seinien mitoittamiseen, jossa käyttäjä voi itse määrittää seinän mitat, kuormat ja raudoitukset. Tämän jälkeen excel laskee käyttäjälle tulokset valmiiksi ja näyttää ne toisella välilehdellä olevassa diagrammissa. Seuraavissa kohdissa on käyty läpi taulukon toimintaa, mitä arvoja tulee syöttää ja mistä ne saadaan.

3.2.1 Lähtöarvot

Tähän osioon käyttäjä syöttää seinän lähtöarvot yksi kerrallaan omaan kohtaansa. Ainoa poikkeus on murtorajatilan laskentakuormat, jotka tulevat diagrammi-välilehdelle syötettyjen kuormien perusteella.

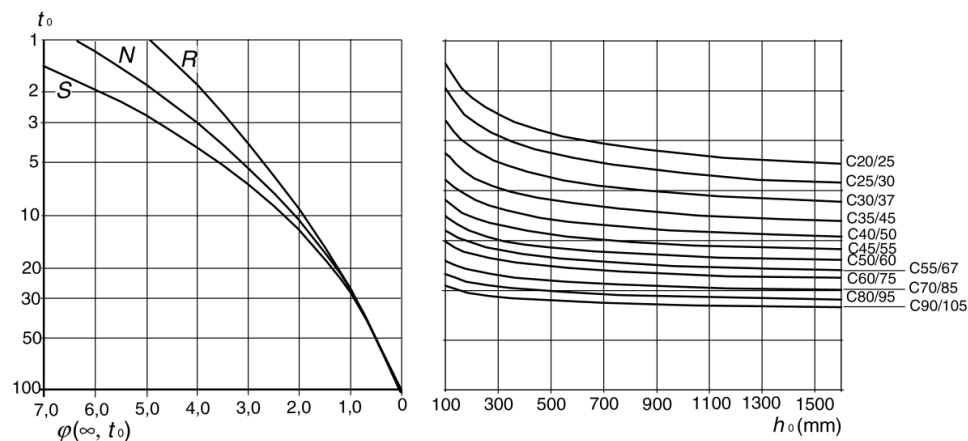
LÄHTÖARVOT				
Mitat				
sivu	h	mm		200
sivu	b	mm		1000
pituus	L	m		2,6
jäykistetty (1) tai ei (2)				1
pään 1 joustovakio	k_1			1000000
pään 2 joustovakio	k_2			1000000
Materiaaliosavarmuusluokka				
Toleranssit: normaali=2, tiukennettu=1				2
Betoni				
betonin lujuus	f_{ck}	N/mm ²		35
suojabetoni	c	mm		20
Viruma				
virumaluku	$\phi_{(oo,10)}$			3
Raudoitus				
Päätangot				
Myötölujuus	f_{yk}	N/mm ²		500
puristuspuoli paksuus	ϕ'	mm		10
puristuspuoli määrä	n'	kpl		5
vetopuoli paksuus	ϕ	mm		10
vetopuoli määrä	n	kpl		5
Haat				
tankopaksuus	ϕ	mm		10
hakaväli	s	mm		200
Kuormitus				
murtorajatilan laskentakuormat				
Normaalivoima	N_{Ed}	kN		400
Momentti 1 pienempi	M_{01}	kNm		7,6
Momentti 2 suurempi	M_{02}	kNm		7,6
käyttörajatila pitkäaikaisyhdistelmä				
KRT pitkäaikaisen momentin suhde MRT:n mitoitusmomenttiin	M_{0Eqp}/M_{0E}			0,7

KUVA 19. Seinän mitoituspohjan lähtöarvotaulukko.

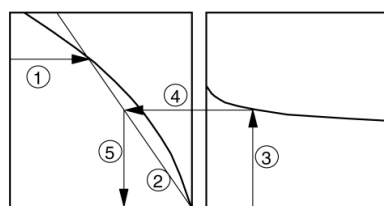
Ensimmäinen kohta on seinän mitat. Tässä ensimmäinen sivu (h) on seinän paksuus ja toinen sivu (b) seinän leveys. Pituudella (L) tarkoitetaan seinän korkeutta joka ilmoitetaan metreinä toisin kuin millimetreinä ilmoitetut aiemmat mitat. Mittoihin tulee vielä määrittellä onko seinä jäykistetty vai ei (1 tai 2).

Seinän päiden joustovakiot k_1 ja k_2 ovat päiden 1 ja 2 kiertymäjousivakioiden käänteisarvojen suhteelliset arvot jotka vaikuttavat nurjahduspituuden Lk_o laskentaan. Jäykkää kiinnitystä vastaa $k = 0$ ja vapaasti kiertyvää $k = \infty$. Täysin jäykkä kiinnitys on käytännössä erittäin harvinainen, joten suosituksena on käyttää k_1 ja k_2 vähimmäisarvoa 0,1 näissä tapauksissa. Kuvassa 20. on käytetty tarkoituksella isoja arvoja (1000000) kuvaamaan vapaasti kiertyvää päätä, eli käytännössä $k = \infty$.

Materiaaliosavarmuusluokka määritellään sen mukaan, aiotaanko laskuissa käyttää normaaleja vai alennettuja osavarmuuslukuja. Normaaleja osavarmuuslukuja käytettäessä betoni = 1,5 ja teräs = 1,15. Alennetut arvot ovat puolestaan betoni = 1,35 ja teräs = 1,1. Betonin lujuus tulee suoraan betonin lujuusluokan tunnuksesta. Esimerkiksi C25/30 betonin lujuus on 25 MPa, C35/45 lujuus on 35MPa jne. Virumaluku saadaan kuvaajalla kuvassa 21. jonka käyttöön löytyy ohjeet kuvan alapuolella.



a) sisätilat – suhteellinen kosteus = 50 %



HUOM.

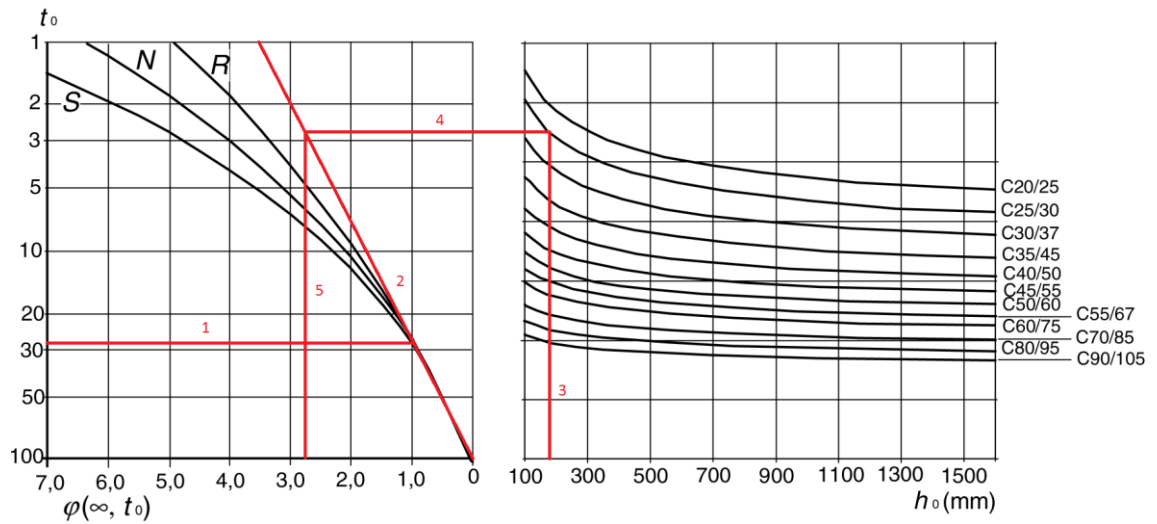
- Käyrien 4 ja 5 välinen leikkauspiste voi olla myös pisteen 1 yläpuolella.
- Kun $t_0 > 100$, saavutetaan riittävä tarkkuus, kun oletetaan $t_0 = 100$ (ja käytetään tangenttiiviivaa).

KUVA 20. virumaluvun määrittäminen kuvaajasta

Määrittäminen esimerkissä (Kuva 22.) käytetään seinää jonka paksuus on 200 mm, leveys 2 m, betonin tyyppi N, betoniluokka C25/30 ja betonin ikä kuormituksen alkaessa 28 vrk.

t_0 on betonin ikä vuorokausina kuormituksen alkaessa

h_0 on poikkileikkauksen muunnettu paksuus $h_0 = 2A_c/u$, jossa A_c on poikkileikkauksen pinta-ala ja u poikkileikkauksen piiri.



KUVA 21. virumaluvun esimerkkimääritys

Ensimmäiseksi piirretään kuvan 22. ohjeen mukaisesti vaakasuoraan viiva 1 valitun t_0 (28) kohdalta valitun betonityypin (N) käyrälle. Seuraavaksi piirretään viiva 2 oikeasta alanurkasta, joka kulkee ensimmäisen viivan ja betonin tyyppikäyrän leikkauspisteestä. Kolmanneksi vedetään pystysuora viiva 3 seinän paksuuden h_0 kohdalta valitun betoniluokan (C25/30) käyrälle. Edellä mainitulla kaavalla laskettuna $h_0 = 0,180$. Seuraavaksi viiva 4 vedetään vaakaan viivan 3 loppupisteestä viivalle 2. Viimeiseksi viiva 5 piirretään pystysuoraan alas asti josta saadaan virumaluku, joka tässä esimerkissä on $\phi(\infty, t_0) = 2,8$.

Raudoitukseen syötetään päätankojen ja hakojen määrät ja koot sekä teräksen myötölujuus. Myötölujuus riippuu terästen laadusta, esim. A500HW teräksen lujuus on suoraan tunnuksessa esiintyvä 500 N/mm^2 . Teräksissä puristuspuoli tarkoittaa rakenteen puolta, joka taipuu koveraksi eli siinä on puristusta ja vetopuoli tarkoittaa kuperaa puolta, jossa esiintyy vetoa.

Kuormituksen murtorajatilan laskentakuormista normaalivoima tulee syöttää diagrammi välilehdelle, jota käsitellään kohdassa 3.2.5. Momentit M_{0I} ja M_{02} tulevat diagrammi välilehdelle syötettävien arvojen $M_{2,end}$ ja $M_{1,end}$ avulla. Viimeiseen kohtaan syötetään käyttörajatilassa lasketun momentin M_{0Eqp} ja murtorajatilan mitoitusmomentin M_{0E} suhdeluku.

3.2.2 Lasketut arvot

Kyseisessä taulukossa näkyy excelin lasketut arvot betonin ja raudituksen ominaisuuksille sekä poikkileikkaussuureet. Kyseisiin kohtiin ei tule itse täyttää mitään, vaan excel laskee arvot edellisessä kohdassa annetuilla lähtöarvoilla.

LASKETUT			
Mitat			
Nurjahduspit	Lk _o	m	2,60
joustolisä jäykistetty			1,00
joustolisä ei jäykistetty			2236,07
Hoikkuus	λ		45,03
Betonin mekaaniset ominaisuudet			
osavarmuus	γ _c		1,5
puristuslujuus	f _{cm}	Mpa	43,0
puristuslujuus	f _{cd}	Mpa	19,8
vetolujuus	f _{ctm}	Mpa	3,21
vetolujuus	f _{ctk}	Mpa	2,25
vetolujuus	f _{ctd}	Mpa	1,50
myötövenymä	ε _c	%	0,20
murtövenymä	ε _{cu}	%	0,35
kimmokerroin	E _{cm}	Mpa	34077
kimmokerroin	E _{ck}	Mpa	28398
Raudituksen mekaaniset omin.			
osavarmuus	γ _s		1,15
laskentalujuus	f _{sd}	N/mm ²	434,78
kimmokerroin	E _s	N/mm ²	200000
Poikkileikkaussuureet			
Raud et. reunasta p.	d'		35
Raud et. reunasta v.	(d')		35
Raud tehokork. veto	d		165
Raud. p-a puristus	A' _s	mm ²	392,7
Raud. p-a veto	A _s	mm ²	392,7
Betoni pl p-a	A _c	mm ²	200000,0
Raud suht p-a purist	ρ'		0,0020
Raud suht p-a veto	ρ		0,0020
Raud. Suhde Σ		%	0,39
Mek. Raud suhde	ω'		0,043
Mek. Rau. suhde	ω		0,043
Kimmok. suhde	α		5,87
Ideaali pl. P-a	A _i	mm ²	203824,13
Pintakeskiön paikka	pp	mm	100,00
mom. varsi es'		mm	-65,00
mom. varsi es		mm	65,00
Jäyhyysmomentti	I _c	mm ⁴	666666667
Jäyhyysmomentti	I _s	mm ⁴	3318307

KUVA 22. Excel laskee lähtöarvojen perusteella arvot sinisellä merkattuihin kohtiin.

Nurjahduspituus määräytyy sen mukaan, onko seinä jäykistetty vai ei. Seinän ollessa jäykistetty on nurjahduspituus jäykistetyn seinän joustolisän ja seinän korkeuden tulo. Samoin seinän ollessa jäykistämätön, nurjahduspituus on jäykistämättömän seinän joustolisän ja seinän korkeuden tulo. Nurjahduspituus saadaan joustolisien avulla kaavoista (2) ja (3).

jäykistetty rakenne

$$Lk_o = L * 0,5 * \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45+k_1}\right) * \left(1 + \frac{k_2}{0,45+k_2}\right)} \quad (2)$$

jäykistämätön rakenne

$$Lk_o = L * maks \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1 + 10 * \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}} \\ \left(1 + \frac{k_1}{1+k_1}\right) * \left(1 + \frac{k_2}{1+k_2}\right) \end{array} \right. \quad (3)$$

Hoikkuus määräytyy seinän mittojen perusteella. Mitä ”hoikempi” rakenne, sitä suurempi on hoikkuusluku joka tulee kaavasta

$$\lambda = \frac{Lk_o}{h} * \sqrt{12} \quad (4)$$

jossa Lk_o on seinän nurjahduspituus ja h seinän paksuus.

Betonin mekaanisissa ominaisuuksissa osavarmuusluku (γ_c) on lähtöarvoissa valittu betoninosavarmuusluku 2 tai 1(1,5 tai 1,35). Puristuslujuuksista f_{cm} on betonin lieriölujuuden keskiarvo ja f_{cd} betonin puristuslujuuden mitoitusarvo. Puristuslujuuden arvot saadaan kaavoista

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (5)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} * \alpha_{cc} * \eta}{\gamma_c} \quad (6)$$

Betonin keskimääräisen vetolujuuden f_{ctm} avulla saadaan betonin vetolujuuden ominaisarvo (f_{ctk}). Betonin vetolujuuden mitoitusarvo f_{ctd} saadaan edellä mainittujen arvojen suhteesta. Laskuissa on käytetty kaavoja

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad (7)$$

$$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} \quad (8)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad (9)$$

Myötövenymä (ε_c) riippuu betonin lujuudesta. Lujuuden ollessa alle 50 N/mm² myötövenymän arvo on 0,20, muussa tapauksessa venymä lasketaan kaavalla (10). Murtovenymässä (ε_{cu}) käytetään samaa ideaa, eli lujuuden ollessa alle 50 N/mm² käytetään arvoa 0,35 ja muussa tapauksessa käytetään kaavaa (11). Betonin sekanttimoduuliin E_{cm} vaikuttavat betonin kimmokerroin kE ja lieriölujuuden keskiarvo. Kun sekanttimoduuli jaetaan betonin kimmokertoimen varmuusluvulla (γ_E), saadaan kimmokertoimen mitoitussarvo E_{ck} .

$$\varepsilon_c = 0,2 + 0,0085 * (f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,26 + 3,5 * \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (11)$$

$$E_{cm} = 1000 * kE * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} \quad (12)$$

$$E_{ck} = \frac{E_{cm}}{\gamma_E} \quad (13)$$

Raudoituksen ominaisuuksissa ensimmäisenä on raudoituksen osavarmuusluku (γ_s) joka betonin tapaan on lähtöarvoissa valittu joko 1 tai 2 (1,1 tai 1,15). Terästen laskentalujuus f_{sd} saadaan kun jaetaan terästen myötölujuus f_{yk} edellä mainitulla osavarmuusluvulla.

$$f_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (14)$$

Kimmokerroin E_s on vakio arvo teräksellä 200000 N/mm². Poikkileikkaussuureista löytyy lähinnä raudoitukseen liittyviä arvoja. Raudoitusten etäisyydet puristetusta ja vedetystä pinnasta ilmoitetaan merkeillä d' (puristuspinta) ja (d') (vetopinta). Raudoituksen tehollisella korkeudella (d) tarkoitetaan etäisyyttä vedetyn reunan raudoituksesta puristetun reunan pintaan. Terästen pinta-alat ilmoitetaan puristetulla ja vedetyllä pinnalla merkinnöillä A'_s ja A_s .

Seuraavassa kohdassa A_c on seinän poikkileikkauksen pinta-ala, eli leveyden (b) ja paksuuden (h) tulo. Raudoitusten suhteelliset pinta-alat tulevat raudoitusten pinta-alojen suhteesta seinän poikkileikkauksen pinta-alaan. Vedetyn reunan suhteellinen raudoitus ilmaistaan taulukossa merkillä ρ ja puristetun reunan merkillä ρ' . Näiden pinta-alojen summa on prosentteina raudoituksen suhde Σ .

Mekaaninen raudoitussuhde saadaan kaavoilla (15) ja (16). Tunnus on ω' puristukselle ja ω vedolle. Kimmokertoimien suhde α kertoo raudoituksen kimmokertoimen E_s ja betonin kimmokertoimen E_{cm} suhteen.

$$\omega' = \frac{\rho' * f_{sd}}{f_{cd}} \quad (15)$$

$$\omega = \frac{\rho * f_{sd}}{f_{cd}} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (17)$$

Kimmokertoimien suhteen avulla saadaan seuraava arvo eli ideaali poikkileikkauksen pinta-ala (A_i). Pintakeskiön paikka (pp) kertoo poikkileikkauksen painopisteen etäisyyden puristetusta reunasta. Momenttivarsien etäisyys kertoo raudoitusten etäisyyden juuri kyseisestä pintakeskiön paikasta. Jäyhyysmomentit on annettu teräkselle (I_s) ja betonille (I_c).

3.2.3 Momentin suurennus, nimellisen käyrityksen menetelmä

Tässä kohdassa on käyty läpi momentin suurennus, kun toisen kertaluvun vaikutukset otetaan huomioon.

Momentin suurennus			
Nimellisen käyritymän menetelmä			
(SFS-EN 1992-1-1, luku 5.8.8)			
suht. norm.voima akt. kuormalla	v		0,101
suht. norm.voima mrt:ssa	n_u		1,086
suht. norm.voima tasap. til.	n_{bal}		0,400
korjauskerroin	K_r		1,000
tehollinen virumissuhde	ϕ_{ef}		2,100
kerroin, kaava 5.37	β		0,225
virumisen vaikutus	K_ϕ		1,472
peruskäyritymä	$1/r_o$		2,928E-05
lopullien käyritymä	$1/r$		4,310E-05
käyr. jakautuma kerroin	c		10,0
2.kertaluvun epäkesk	e_2	mm	29,13
epäkeskisyyden vähimmäisarvo	$e_{o,min}$	mm	20
momentin vähimmäisarvo	$M_{0e,min}$	kNm	8,0
1. kl.ekv. momentti	M_{0e}	kNm	7,60
2. kl. momentti	M_2	kNm	11,65
Mitoitusmomentti	M_{Ed}	kNm	19,25
1.kl momentti	M_{02}	kNm	7,60
Mitoittava kuormitus			
Normaalivoima	N_d	kN	400
Momentti	M_d	kNm	19,3

KUVA 23. Momentin suurennukseen liittyvät arvot.

Suhteellinen normaalivoima aktiivisella kuormalla (v), tarkoittaa normaalivoiman ne-
liökuorman suhdetta betonin puristuslujuuden mitoitusarvoon (f_{cd}). Suhteellinen nor-
maalivoima murtorajatilassa (n_u) taas tulee mekaanisten raudoitussuhteiden (ω' ja ω)
perusteella. Suhteellinen normaalivoima tasapainotilassa (n_{bal}) on vakio 0,4. Kaikkia
edellä mainittuja arvoja tarvitaan korjauskertoimen K_r laskemiseen. K_r on pienempi
arvoista.

$$K_r = 1 \text{ tai,} \\ K_r = \frac{n_u - v}{n_u - n_{bal}} \quad (18)$$

Tehollinen virumissuhde (ϕ_{ef}) saadaan virumaluvun sekä KRT pitkäaikaisen momentin
ja MRT:n mitoitusmomentin suhdeluvun avulla. Kerroin β saadaan kaavalla

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150 \quad (19)$$

jossa f_{ck} on betonin lujuus ja λ merkitsee seinän hoikkuutta. Kertoimen β avulla saadaan virumisen vaikutus K_ϕ , joka on suurempi seuraavista

$$K_\phi = 1 \text{ tai} \\ K_\phi = 1 + \beta * \phi_{ef} \quad (20)$$

Peruskäyristymä $1/r_o$ ja lopullinen käyristymä $1/r$ saadaan kaavoista

$$1/r_o = \frac{\frac{f_{sd}}{E_s}}{0,45 * d} \quad (21)$$

$$1/r = K_r * K_\phi * 1/r_o \quad (22)$$

jossa f_{sd} on raudoituksen laskentalujuus, E_s teräksen kimmokerroin ja d raudoituksen tehollinen korkeus vedon puolella. Käyrän jakautuma kerroin c on vakio 10,0. Toisen kertaluvun epäkeskeisyys e_2 selvitetään kaavalla

$$e_2 = \frac{1/r * (L_{K0} * 1000)^2}{c} \quad (23)$$

jossa L_{K0} on seinän nurjahduspituus. Epäkeskisyyden vähimmäisarvo $e_{0,min}$ on suurempi arvo seuraavista

$$e_{0,min} = 20 \quad \text{tai} \\ e_{0,min} = h/30 \quad (24)$$

jossa h on seinän paksuus. Epäkeskisyyden ja normaalivoiman avulla saadaan momentin vähimmäisarvo

$$M_{0e,min} = e_{0,min} * N_{Ed} \quad (25)$$

Ensimmäisen kertaluvun momentin M_{0e} ratkaisukaava on riippuvainen seinän jäykistyksestä. Jos seinä ei ole jäykistetty, on $M_{0e} = M_{02}$. Muissa tapauksissa momentti ratkaistaan kaavoilla

$$M_{0e} = 0,6 * M_{02} + 0,4 * M_{01} \quad \text{tai}$$

$$M_{0e} = 0,4 * M_{02} \quad (26)$$

Toisen kertaluvun momentti M_2 ja mitoitusmomentti M_{Ed} saadaan kaavoilla

$$M_2 = \frac{e_2}{1000} * N_{Ed} \quad (27)$$

$$M_{Ed} = M_{0e} + M_2 \quad (28)$$

Mitoittava momentti M_d on suurin arvoista M_{02} , M_{Ed} ja $M_{0e,min}$.

3.2.4 Normiarvot

Normiarvoja taulukosta löytyy vakioarvoja joita käytetään laskukaavoissa ja joihin ei käyttäjän tarvitse juurikaan kiinnittää huomiota.

NORMIARVOJA		
Materiaaliosavarmuusluvut		
Toleranssit(norm.2, tiuk.1)	Betoni	Raud.
1	1,35	1,1
2	1,5	1,15
muu		
Betonin lujuuskertoimet		
aikavaikutus	α_{cc}	0,85
lujuus rakenteessa	η	1
puristusvyöh. korkeus	λ	0,8
kimmokerroin	kE	22
kimmokertoimen varmuusluku	γ_E	1,2
Raudoituksen vakioarvoja		
Kimmokerroin		200000
Rakenteellisia ohjeita		
Raudoituspäärän max	%	6

KUVA 24. Arvojen laskennassa käytettyjä vakioarvoja.

Taulukkoa ylhäältä alaspäin läpi käydessä ensimmäisenä kohtana ovat jo aiemmin mainitut betonin ja raudoituksen materiaaliosavarmuusluvut. Tästä excel valitsee oikeat luvut sen mukaan, kuinka käyttäjä on lähtöarvoissa valintansa tehnyt.

Seuraavat kohdat sisältävät betoniin liittyviä arvoja. Aikavaikutus α_{cc} on vakio 0,85 ja vaikuttaa puristuslujuutta laskiessa. Lujuus rakenteessa η on aina 1, kun betonin lujuus f_{ck} on 50 N/mm² tai alle. Jos betonin lujuus on suurempi, käytetään kaavaa

$$\eta = 1 - \frac{f_{ck}-50}{200} \quad (29)$$

Puristusvyöhykkeen korkeus λ noudattaa samaa ideaa. Betonin lujuuden f_{ck} ollessa 50 N/mm² tai alle, on korkeuden arvo 0,8. Lujuuden ollessa yli 50 N/mm² lasketaan arvo kaavalla

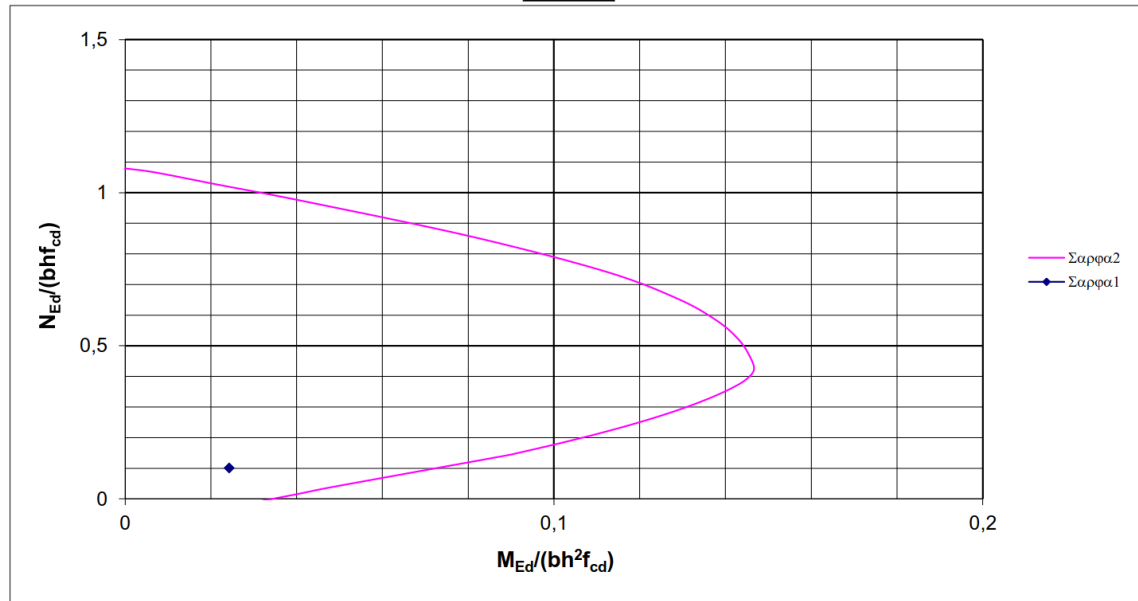
$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck}-50}{400} \quad (30)$$

Betonin kimmokerroin k_E on 22 N/mm² ja kimmokertoimen varmuusluku γ_E on 1,2. Raudoituksen arvoista kimmokerroin on 200000 N/mm² ja raudoituksen maksimimäärä prosentteina on 6 eli 0,06 A_c . Kohdassa 3.2.2 esitetty raudoituksen suhde Σ muuttuu pu-naiseksi, kun raudoituksen määrä ylittää sallitun arvon.

3.2.5 Diagrammi

Excel pohjan toisella välilehdellä löytyy diagrammi sekä kuormitusten syöttökentät. Diagrammista näkee mitoituksen lopullisen tuloksen kestävyys suhteen.

Normaalivoiman mitoitusarvo $N_{Ed} = 400$ kN $nyy = 0,10084$
 Momentin arvot rakenteen päissä (ilman epätarkkuutta) $myy = 0,02427$
 Itseisarvoltaan suurempi momentti (positiivisena) $M_{2,end} = 5$ kNm
 Itseisarvoltaan pienempi momentti $M_{1,end} = 5$ kNm



KUVA 25. Diagrammista selviää kestääkö seinä kuormituksen.

Diagrammin yläpuolelle syötetään jo aiemmin mainitut arvot normaalivoima N_{Ed} sekä momentit $M_{2,end}$ ja $M_{1,end}$. Seinän päissä vaikuttavista ensimmäisen kertaluvun momenteista momentti $M_{2,end}$ on itseisarvoltaan suurempi ja $M_{1,end}$ itseisarvoltaan pienempi. Jos momentit ovat erimerkkisiä, ilmoitetaan momentti $M_{1,end}$ negatiivisena. Syötettävien arvojen vieressä on kaksi kohtaa nyy ja myy . Ylempi eli nyy tarkoittaa nyy -kirjainta v , joka kertoo diagrammin pystysarakkeen arvon sillä

$$v = N_{Ed} / (b h f_{cd}) \quad (31)$$

Alempi tarkoittaa puolestaan myy -kirjainta μ , joka taas ilmaisee diagrammin vaakasarakkeen arvon sillä

$$\mu = M_{Ed} / (b h^2 f_{cd}) \quad (32)$$

Diagrammissa vaaleanpunainen viiva ilmaisee kantokyvyn maksimirajan kyseisillä mitoilla ja raudoituksilla. Sininen piste kertoo kuinka paljon nykyiset kuormat kuormittavat seinää. Piste sijainti tulee yllä mainittujen v ja μ arvoista. Kun sininen piste on vaaleanpunaisen viivan rajaaman alueen sisäpuolella, seinä kestä. Muussa tapauksessa seinä ei kestä kuormitusta ja seinän mittoja ja/tai raudoitusta tulee muuttaa.

3.3 Palomitoitustaulukoiden käyttö

Palomitoitustaulukoita ei ole alkuperäisessä excel-tiedostossa, vaan tämän työn tekijä on ne itse tehnyt Optiplan Oy:n pyynnöstä. Taulukoiden tavoitteena on saada palomitoitustyökalu seinän mitoituspohjan yhteyteen. Näin palomitoituksen saa suoritettua samalla muun mitoituksen kanssa, jolloin mahdollistetaan suurempi tehokkuus suunnittelussa.

3.3.1 Taulukkomitoituksen pohjautuva taulukko

Taulukkomitoituspohja perustuu kohdan 2.2.2 taulukkoon 1. ja se soveltuu nopeaan ja yksinkertaiseen palomitoitukseen.

PALOMITOITUS		
Taulukkomitoitus		
Kantavien seinien vähimmäismitat		
Palonkestävyys		REI 180
Vähimmäismitat (mm)		
Seinänpaksuus / keskiöetäisyys		
Hyväksikäyttöaste	μ_{fi}	0,7
altistus toiselta puolelta		210/50
altistus molemmilta puolilta		270/55
Hyväksikäyttöaste	μ_{fi}	0,35
altistus toiselta puolelta		180/40
altistus molemmilta puolilta		200/45

Kuva 26. Standardin EN 1992-1-2 taulukoihin perustuva mitoitus.

Palonkestävyys kohdassa valitaan suunniteltu paloluokka vaihtoehtoista REI 30, REI 60, REI 90, REI 120, REI 180 ja REI 240. Arvoa klikatessa aukeaa pudotusvalikko josta saa valittua haluamansa paloluokan (katso kuva 27.).

Paloluokkien tarkoitukset on selitetty kohdassa 2.2.2. Kun palonkestävyys on valittu, excel antaa vähimmäismitat seinän paksuudelle sekä terästen keskiöetäisyydelle. Arvot ovat samat kuin taulukossa 1. ja niiden merkitykset on selitetty myös kohdassa 2.2.2.

PALOMITOITUS		
Taulukkomitoitus		
Kantavien seinien vähimmäismitat		
Palonkestävyys		REI 90
		REI 30 REI 60 REI 90 REI 120 REI 180 REI 240
Vähimmäismitat (mm)		
Seinänpaksuus / keskiöetäisyys		
Hyväksikäyttöaste	μ_{fi}	0,35
altistus toiselta puolelta		140/25
altistus molemmilta puolilta		170/25
Hyväksikäyttöaste	μ_{fi}	0,35
altistus toiselta puolelta		120/20
altistus molemmilta puolilta		140/10

Kuva 27. Palonkestävyys valitaan pudotus valikon kautta.

3.3.2 500 °C isometrinen menetelmään pohjautuva taulukko

Kohdassa 2.2.3 käytiin läpi palomitoituksessa käytettävää 500 °C isometrinen menetelmää ja tämän työn tekijä on kyseiseen menetelmään perustuen tehnyt excel laskentapohjan Optiplan Oy:n käyttöön. Palomitoitus toimii yhdessä alkuperäisen seinän mitoituspohjan kanssa.

PALOMITOITUS			
500 °C isometrinen menetelmä			
(SFS-EN 1992-1-2, Liite B)			
Pienennetyn poikkileikkauksen selvitys			
500 °C asteisen betonin syvyys	a	mm	50
pienentynyt paksuus	h_{fi}	mm	100
pienentynyt leveys	b_{fi}	mm	1900
palolle alttiina			4 sivulla
terästen lämpötila	t	°C	630
teräksen heikennyskerroin	$k_{s(\theta)}$		0,265
teräksen lujuus palotilanteessa	f_{ydp}	Mpa	132,3
alle 500 °C asteisen betonin lujuus	f_{cdp}	Mpa	14,2
Pienennetyn poikkileikkauksen mitoitus			
suhteellinen normaalivoima	v		0,15
suhteellinen momentti	μ		0,05
mek. raud. suhteen tarpeellinen arvo	ω		0,05
vaadittu teräsmäärä	$A_{s,min}$	mm ²	1017,64
nykyinen teräsmäärä	$A_{s,nyk}$	mm ²	1256,64
MITOITUS OK!			

Kuva 28. 500 °C isometrinen menetelmä perustuva taulukko.

Palomitoitus aloitetaan selvittämällä rakenteelle jo aiemmin mainittu lämpötilaprofiili standardin EN 1992-1-2 liitteestä A. Profiilista selvitetään kuinka syväälle 500 °C asteinen betoni on edennyt halutussa paloluokassa ja syötetään arvo millimetreinä ensimmäiseen kohtaan.

Taulukko antaa annetun syvyyden a perusteella pienennetyn poikkileikkauksen mitat h_{fi} ja b_{fi} . Käyttäjän tulee valita pudotusvalikosta kuinka monelta sivulta seinä on tulelle alttiina, jotta excel antaa oikeat arvot edellä mainituille mitoille. Kun seinä on tulelle alttiina jokaiselta neljältä sivulta

$$h_{fi} = h - 2a \quad (33)$$

$$b_{fi} = b - 2a \quad (34)$$

kolmelta sivulta

$$h_{fi} = h - 2a \quad (35)$$

$$b_{fi} = b - a \quad (36)$$

kahdelta sivulta

$$h_{fi} = h - 2a \quad (37)$$

$$b_{fi} = b \quad (38)$$

yhdeltä sivulta

$$h_{fi} = h - a \quad (39)$$

$$b_{fi} = b \quad (40)$$

Terästen lämpötila selvitetään samasta lämpötilaprofiilista kuin arvo a . Terästen keskiöetäisyyden kohdalta tarkistetaan lämpötila joka syötetään sille tarkoitettuun kohtaan (t). Lämpötilan perusteella saadaan teräksen heikennyskerroin $k_{s(\theta)}$. Kertoimen laskentakaava vaihtelee lämpötilan mukaan kuvan 30. osoittamalla tavalla.

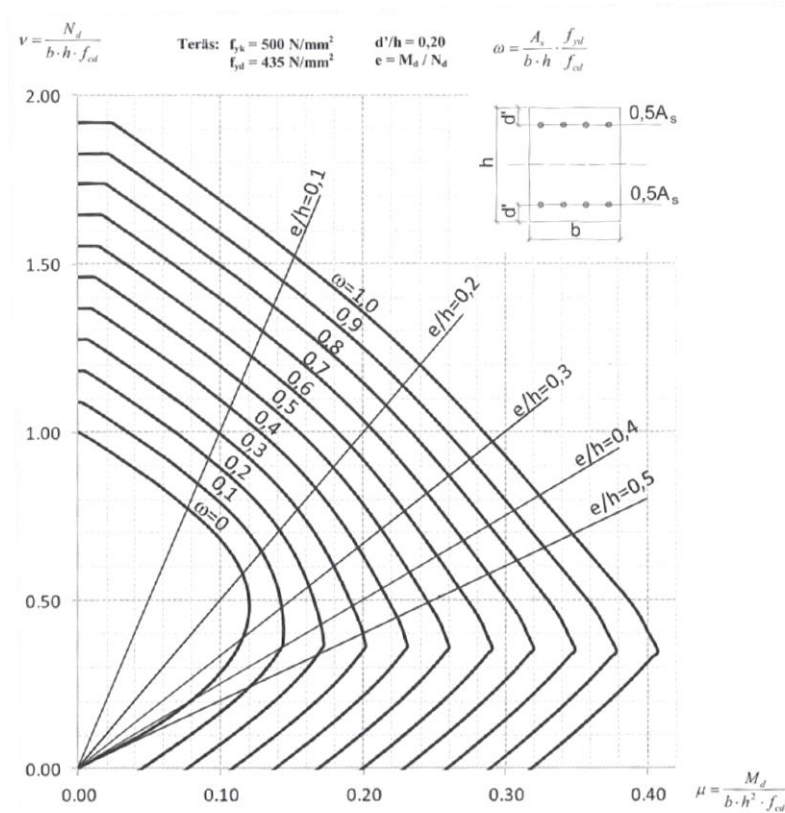
$k_s(\theta) = 1,0$	kun $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$
$k_s(\theta) = 0,7 - 0,3 (\theta - 400)/300$	kun $100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$
$k_s(\theta) = 0,57 - 0,13 (\theta - 500)/100$	kun $400^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C}$
$k_s(\theta) = 0,1 - 0,47 (\theta - 700)/200$	kun $500^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C}$
$k_s(\theta) = 0,1 (1200 - \theta)/500$	kun $700^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$.

KUVA 29. $k_{s(\theta)}$ laskentakaava vaihtelee lämpötilan mukaan.

Excel vaihtaa kaavaa itse lämpötilan mukaan ja antaa oikean kaavan mukaisen kertoimen. Kerrointa käytetään teräksen palotilanteen lujuuden f_{ydp} selvittämiseen. Alle 500°C betonin lujuus f_{cdp} on sama kuin aiemmassa taulukossa annettu betonin puristuslujuus f_{cd} .

$$f_{ydp} = f_{yk} * k_s \quad (41)$$

Suhteellinen normaalivoima ja suhteellinen momentti tulevat kaavoilla (42) ja (43) ja niiden avulla selvitetään mekaanisen raudoitussuhteen tarpeellinen arvo ω kuvan 30. kuvaajasta.



KUVA 30. Yhteisvaikutuskuvaaja jonka vaaka-akselilla suhteellinen momentti ja pystyakselilla suhteellinen normaalivoima

Vaadittu teräsmäärä $A_{s,min}$ saadaan kaavalla (44), ja se ilmoittaa teräsmäärän, jolla seinä kestää kyseessä olevan tulipalon. Nykyisen teräsmäärän $A_{s,nyk}$ arvon, joka tulee veto- ja puristusterästen pinta-alojen A'_s ja A_s summasta, tulee olla suurempi kuin vaadittu teräsmäärä $A_{s,min}$.

$$v = \frac{N_d}{h_{fi} * b_{fi} * f_{cdp}} \quad (42)$$

$$\mu = \frac{M_d}{h_{fi}^2 * b_{fi} * f_{cdp}} \quad (43)$$

$$A_{s,min} = b_{fi} * h_{fi} * \frac{\omega * f_{cdp}}{f_{ydp}} \quad (44)$$

$$A_{s,nyk} = A_s + A'_s \quad (45)$$

Jos vaadittu teräsmäärä ei toteudu, excel ilmoittaa raudoituksen lisäämisen tarpeesta. Muissa tapauksissa näkyy ilmoitus ”mitoitus ok!”. Mitoituksen ollessa kunnossa seinä kestää kyseessä olevan palotilanteen syötetyillä lähtötiedoilla.

4 POHDINTA

Elementtisuunnittelu.fi-sivuston mitoitustaulukot ovat kokeneemmalle suunnittelijalle helppokäyttöisiä ja selkeitä. Muutama kohta taulukoissa jää hieman epäselväksi ja tuoreempi suunnittelija joutuu perehtymään tarkasti taulukoihin, jotta varmasti käyttää oikeita arvoja mitoituksessa. Taulukot ja sivusto itsessään tarjoavat todella vähän informaatiota arvoista ja niiden alkuperästä, joten tieto on haettava muualta. Taulukot ovat kuitenkin erittäin kätevät mitoituksessa ja sen apuna, kunhan niiden käyttö ja käytettävät arvot ovat tuttuja suunnittelijalle.

Väliseinien palomitoituksessa käytetään yleisesti taulukkomitoitusta sen tarpeeksi suuren varmuuden ja nopeuden takia. Työssä käsitellyt 500 °C isotermimenetelmä sekä vyöhykemenetelmä kuitenkin tarjoavat suhteellisen yksinkertaiset keinot tarkempaan palomitoitukseen. Kuten työssä todettiin, vyöhykemenetelmä on jonkin verran työläämpi kuin 500 °C isotermimenetelmä, mutta tuloksissa ei ole suurta eroavaisuutta, josta johtuen 500 °C isotermimenetelmä on hyvä vaihtoehto esimerkiksi yksinkertaisten rakenteiden mitoitukseen. Palomitoitusmenetelmä riippuu pitkälti suunnittelijan tavoitteista. Taulukkomitoitus säästää aikaa suunnittelussa ja laskut ovat varman puolella, mutta yksinkertaisilla laskentamenetelmillä saadaan mitoitus tarkemmaksi ja vältetään ylimitoitukselta. Laskentamenetelmissä pientä heittoa tuloksissa aiheuttaa lämpötilaprofiilien ja yhteisvaikutuskuvaajan tulkinta. Käyttäjälle on epäselvissä tilanteissa kannattavaa valita aina varman puolella oleva vaihtoehto.

Seinissä mahdollisesti esiintyvät aukot, kuten ovet, tulee tarkastella erikseen. Jos aukko aiheuttaa seinään tarpeeksi hoikan kohdan, tulee se mitoittaa palkkina tai pilarina. Taulukoissa ei huomioida aukkoja lainkaan. Tässä työssä esitetyt palomitoitukset koskevat vain teräsbetoniseiniä. Palomitoituksessa tulee myös huomioida seinissä olevat aukot etenkin osastoivissa seinissä ja palo-osaston sisäisissä seinissä. Tämän työn menetelmät eivät ota kantaa aukkojen vaikutuksiin. Aukkojen vaikutukset tulisi selvittää mahdollisissa jatkotutkimuksissa.

Työtä testattiin muutaman Optiplan Oy:n työntekijän avulla. Tavoitteena oli saada tuloksia ja palautetta excel-tilin toiminnasta, sekä palomitoitusohjeiden käytöstä. Työntekijöillä ei ollut mitoituskokemusta kyseisestä palomitoitusmenetelmästä. Täten he joutuivat oikeasti käyttämään ohjeita ja etenemään mitoituksessa niiden mukaan.

Testaajat suorittivat palomitoituslaskun 500 °C isotermimenetelmällä käyttäen apuna kohdan 2.2.3 ohjeita sekä liitteen 2. laskuesimerkkiä. Tämän jälkeen suoritettiin sama lasku, mutta tällä kertaa excel-tiedoston 500 °C isotermimenetelmään perustuvalla palomitoitustaulukolla. Tulokset olivat lähes identtiset molemmilla laskumenetelmillä. Pientä heittoa tuloksissa aiheutti arvojen pyöristys käsin laskennassa. Tulosten perusteella excel-taulukko toimii erinomaisesti. Palaute ohjeiden ja taulukon käytöstä oli positiivista.

Työn tavoitteessa onnistuttiin hyvin ja lopputuloksena saatiin selkeät ja yksinkertaiset ohjeet mitoitustaulukoiden käyttöä varten. Käyttöohjeet toimivat tulevaisuudessa hyvänä tukena uusille ja vanhoille rakennesuunnittelijoille. Excel-tiedoston palomitoitustaulukot tehtiin helppokäyttöisiksi ja ne muodostavat kelvollisen mitoitustyökalun alkupe-
räisten taulukoiden kanssa.

LÄHTEET

Elementtisuunnittelu.fi. 2017. Runkorakenteet. Kantokykykäyrät. Väliseinät.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/valiseinat>

Tikanoja, T. erityisasiantuntija. 2017. Keskustelu sähköpostitse 1.9.2017. Haastattelija Kangasniemi, P.

SFS-EN 1992-1-2 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Luettu 29.7.2017.

SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Luettu 11.8.2017.

SFS-EN 1990 Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Luettu 10.8.2017.

LIITTEET

Liite 1. Vähimmäispaksuudet ei-kantaville seinille (osastoiville seinille)

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

Kuvassa on esitetty ei-kantavien seinien vähimmäispaksuudet eri paloluokissa.

Liite 2. Esimerkkilasku 500 °C isotermimenetelmällä

Esimerkkirakenne on kantava teräsbetoniseinä. Seinä mitoitetaan 500 °C isotermimenetelmällä. Mitoitetaan seinä 90 minuutin palolle. Seinä on palolle altis jokaisella neljällä sivulla. Betoniluokka C30/37.

$$h = 200\text{mm}$$

$$b = 2000\text{mm}$$

$$f_{cdp} = 17\text{N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 500\text{N/mm}^2$$

Standardin EN 1992-1-2 liitteen A lämpöprofiilien avulla saadaan selville, että 90 minuutin kohdalla 500 asteinen betoni on syvyydellä $a = 50\text{mm}$. Lähin varmalla puolella oleva profiili on 160mm paksu rakenne, joten laskussa on käytetty kyseistä profiilia. Kyseisen rakenteen lämpötilaprofiilit löytyvät myös tämän työn liitteessä 3. Uudet mitat saadaan kaavoilla (33) ja (34)

$$h_{fi} = 200\text{mm} - 2 * 50\text{mm} = 100\text{mm}$$

$$b_{fi} = 2000\text{mm} - 2 * 50\text{mm} = 1900\text{mm}$$

Terästen keskiösyvyys on esimerkkirakenteessa 30mm, joten edellisessä kohdassa käytetystä lämpötilaprofiilista saadaan teräksien lämpötilaksi $t = 630$. Terästen lämpötilan avulla määritetään terästen pienentynyt lujuus kuvan 29. kaavoilla. Käytetään lujuuden ratkaisemiseksi lämpötilalle 630 °C tarkoitettua kaavaa

$$k_s = 0,1 - \frac{0,47(t - 700)}{200}$$

$$k_s = 0,1 - \frac{0,47(630 - 700)}{200} = 0,265$$

Teräksen pienentynyt lujuus saadaan kertomalla teräksen ominaislujuus kyseisellä kertoimella

$$f_{ydp} = 500\text{N/mm}^2 * 0,265 = 132,3\text{N/mm}^2$$

Kuormat tässä esimerkissä

$$N_d = 412kN$$

$$M_d = 21,0kNm$$

yhteisvaikutuskuvaajaa varten lasketaan suhteellinen normaalivoima ja suhteellinen momentti kaavoilla (42) ja (43).

$$v = \frac{412 * 10^3 N}{100mm * 1900mm * 17N/mm^2} = 0,13$$

$$\mu = \frac{21,0 * 10^6 Nmm}{(100mm)^2 * 1900mm * 17N/mm^2} = 0,07$$

Yhteisvaikutuskuvaajasta (kuva 30.) saadaan teräsmäärän kaavoihin kerroin ω , joka ilmaisee mekaanisen raudoitussuhteen tarpeellisen arvon. Piste osuu suurin piirtein käyrien 0 ja 0,1 väliin, joten kuvaajasta saadaan kertoimelle arvoksi $\omega = 0,05$, kun käytetään aiemmin saatuja arvoja $\mu = 0,07$ ja $v = 0,13$.

Vaadittu raudoituksen määrä, jotta seinä kestää palotilanteessa saadaan kaavalla (44).

$$A_{s,min} = 100mm * 1900mm * \frac{0,05 * 17N/mm^2}{132,3N/mm^2} = 1220,7mm^2$$

Seinän poikkileikkauksen teräsmäärä on $4\phi 10$

$$4 * \phi 10 = 4 * \pi * (5mm)^2 = 314,2mm^2$$

Terästä ei ole tarpeeksi, joten kokeillaan erikokoisia teräksiä

$$4 * \phi 20 = 4 * \pi * (10mm)^2 = 1256,6mm^2$$

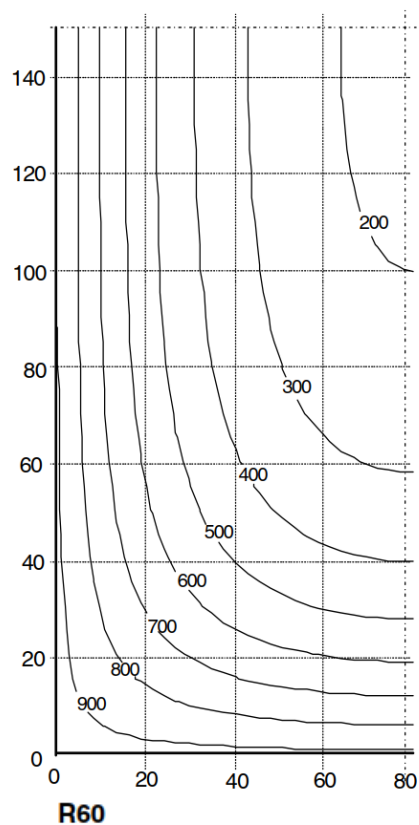
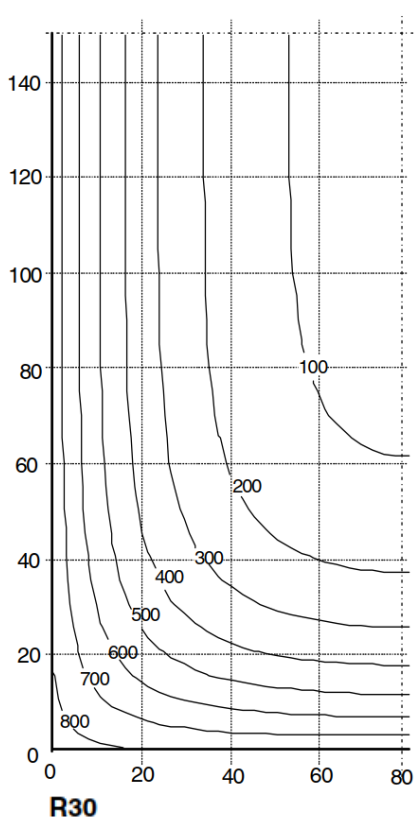
$$1256,6mm^2 > 1220,7mm^2 \text{ OK!}$$

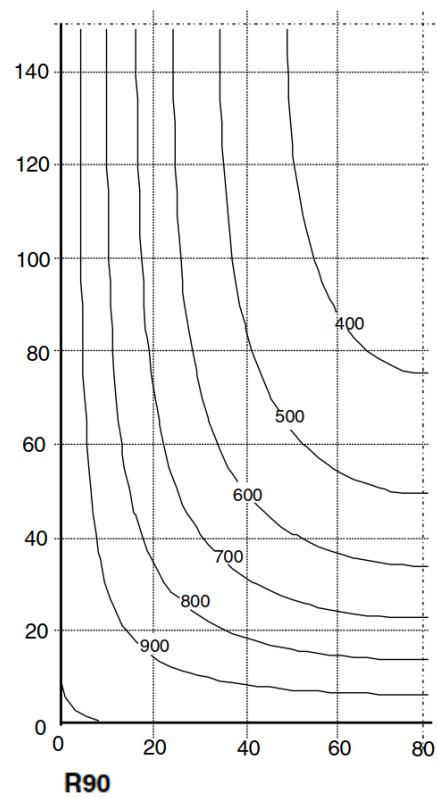
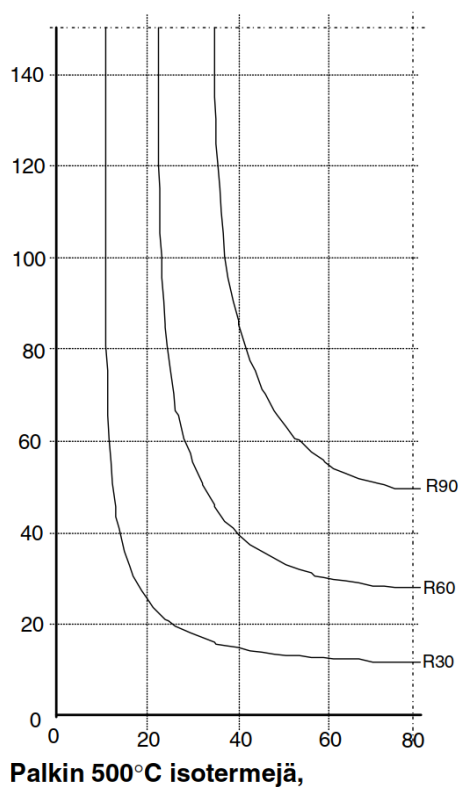
Vaihdetaan seinän terästen koko 10mm teräksistä 20mm teräksiin. Uusilla teräksillä seinä kestää vaaditun palonkestoajan (R90).

Liite 3. Lämpötilaprofiilit

Lämpötilaprofiileja käytetään betonin lämpötilan selvittämiseen tietyllä syvyydellä. Pysty- ja vaaka-akseleilla esitetään millimetreinä etäisyyttä rakenteen pinnasta. Käyrät kuvaavat lämpötilojen sijaintia palkissa kyseisessä palotilanteessa. Palkin 500 °C isotermejä kuvaavassa profiilissa käyrät kertovat 500 °C betonin syvyyden eri palotilanteissa.

Tässä liitteessä on esimerkkejä lämpötilaprofiileista. Liitteen 2 laskuesimerkissä on käytetty 160mm paksun pilarin ($h \times b = 300 \times 160$) lämpötilaprofiileja, joten esimerkkiprofiilit valittiin kyseisestä palkista.





Liite 4. Laskuesimerkki: Vyöhykemenetelmä

Esimerkki rakenne on samanlainen kantava teräsbetoniseinä kuin liitteessä 2. Seinä mitoitetaan 500 °C isotermimenetelmällä. Mitoitetaan seinä 90 minuutin palolle. Seinä on palolle altis jokaisella neljällä sivulla. Betoniluokka C30/37.

$$h = 200\text{mm}$$

$$b = 2000\text{mm}$$

$$f_{cd} = 17\text{N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 500\text{N/mm}^2$$

$$N_d = 412\text{kN}$$

$$M_d = 21,0\text{kNm}$$

Jaetaan poikkileikkauksen puolikas 4 vyöhykkeeseen. Tuli vaikuttaa seinään kahdelta sivulta, joten molemmat poikkileikkauksen puolikkaat lämpenevät samaa tahtia. Lämpötilojen selvittämiseen käytetään liitteen 3. lämpötilaprofiileja samaan tapaan kuin liitteen 2. laskuesimerkissä.

Kyseisessä profiilissa poikkileikkauksen puolikas on vain 80mm paksu, joten neljännän vyöhykkeen lämpötila on arvioitu. Kun kyseessä on 160mm paksun rakenteen lämpötilaprofiili, ollaan joka tapauksessa varman puolella. Etäisyys a on vyöhykkeen keskipisteen etäisyys seinän reunasta. Heikennyskerroin k_c lasketaan standardin EN 1992-1-2 taulukon 3.1 mukaan.

Vyöhyke	°C	k_c	a
1	760	0,21	12,5
2	490	0,615	37,5
3	370	0,78	62,5
4	270	0,88	87,5

Lasketaan yhteen vyöhykkeiden k_c arvot

$$\sum k_c = 0,21 + 0,615 + 0,78 + 0,88 = 2,49$$

Lasketaan poikkileikkauksen keskimääräinen pienennyskerroin kaavalla

$$k_{c,m} = \frac{\left(1 - \frac{0,2}{n}\right)}{n} * \sum k_c$$

$$k_{c,m} = \frac{\left(1 - \frac{0,2}{4}\right)}{4} * 2,49 = 0,59$$

jossa n on vyöhykkeiden lukumäärä.

Pienennyskerroimen avulla saadaan selvitettyä poistettavan betonin määrä kaavalla (), jossa $k_c(\theta_M)$ on pienennyskerroin pisteessä M ja w on puolikkaan poikkileikkauksen paksuus.

$$k_c(\theta_M) = 0,95 \text{ (arvio)}$$

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right]$$

$$a_z = 100\text{mm} * \left[1 - \left(\frac{0,59}{0,95} \right)^{1,3} \right] = 46,2\text{mm}$$

Palkin poikkileikkausta pienennetään 46,2mm jokaisesta suunnasta, kun tuli vaikuttaa jokaisella sivulla. Uudet mitat poikkileikkaukselle saadaan kaavoilla (33) ja (34).

$$h_{fi} = 200\text{mm} - 2 * 46,2\text{mm} = 107,6\text{mm}$$

$$b_{fi} = 2000\text{mm} - 2 * 46,2\text{mm} = 1907,6\text{mm}$$

Teräksen pienentynyt lujuus on sama kuin liitteen 2. laskussa, sillä palotilanne ja rakenne ovat samanlaiset.

$$f_{ydp} = 500\text{N/mm}^2 * 0,265 = 132,3\text{N/mm}^2$$

Suhteellinen normaalivoima ja suhteellinen momentti

$$v = \frac{412 * 10^3\text{N}}{107,6\text{mm} * 1907,6\text{mm} * 17\text{N/mm}^2} = 0,12$$

$$\mu = \frac{21,0 * 10^6\text{Nmm}}{(107,6\text{mm})^2 * 1907,6\text{mm} * 17\text{N/mm}^2} = 0,06$$

Yhteisvaikutuskuvaajasta (kuva 30.) saadaan kerroin $\omega = 0,04$. Vaadittu teräsmäärä lasketaan kaavalla (44).

$$A_{s,min} = 107,6mm * 1907,6mm * \frac{0,04 * 17N/mm^2}{132,3N/mm^2} = 1055,0mm^2$$

Seinän poikkileikkauksen teräsmäärä on $4\phi 10$

$$4 * \phi 10 = 314,2mm^2$$

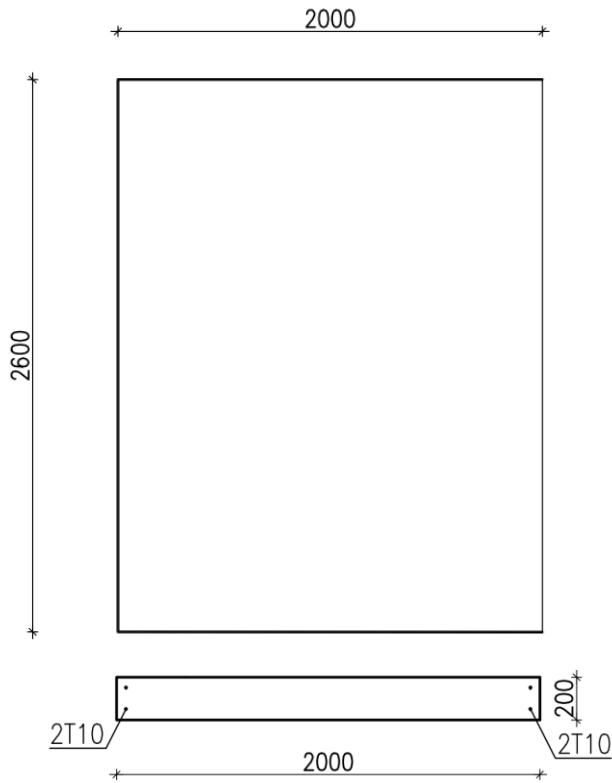
Lisätään teräskokoa

$$4 * \phi 20 = 4 * \pi * (10mm)^2 = 1256,6mm^2$$

$$1256,6mm^2 > 1055,0mm^2 \text{ OK!}$$

Rakenne kestää 90 minuutin palon kun raudoitukseksi valitaan 4 $\phi 20$ teräkset. Vyöhykemenetelmällä saatiin minimiraudoitukseksi palotilanteessa hieman pienempi tulos kuin 500 °C isotermimenetelmällä. Tuloksissa pientä heittoa aiheuttaa yhteisvaikutuskuvaajan tulkinta, varsinkin näin pienillä kuormilla.

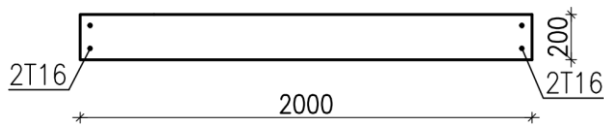
Liite 5. Esimerkki tulipalon vaikutuksesta väliseinän raudoitukseen



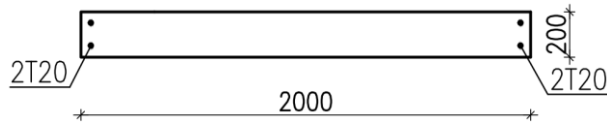
Väliseinä kestää normaalitilanteessa pystyraudoituksen ollessa 4 $\phi 10$. Vaikuttavat voimat ovat samat kuin liitteen 2. laskuesimerkissä.

$$N_d = 412 \text{ kN}$$

$$M_d = 21,0 \text{ kNm}$$



Tulipalon vaikutus raudoitukseen 60 minuutin palossa. Raudoitus 4 $\phi 16$.



Tulipalon vaikutus raudoitukseen 90 minuutin palossa. Raudoitus 4 $\phi 20$.