

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / Rakennetekniikka

Riku Lehtonen

KORKEAN RAKENNUKSEN RUNGON KOKOONPURISTUMISEN HUOMIOI-
MINEN SUUNNITTELUSSA JA RAKENTAMISESSA

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikka

LEHTONEN,RIKU

Opinnäytetyö
Työn ohjaajat
Toimeksiantaja
Maaliskuu 2013
Avainsanat

Korkean rakennuksen rungon kokoonpuristumisen huomi-
oiminen suunnittelussa ja rakentamisessa

26 sivua + 6 liitesivua

lehtori Juha Karvonen

Wise Group Finland Oy

korkea rakennus, kokoonpuristuminen, betonirakenteet

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan korkea rakentamisessa ilmenevää rakenteiden kokoonpuristumista. Opinnäytetyössä selvitettiin euronormien antamien mitoitusohjeiden perusteella, mitkä tekijät vaikuttavat pystyrakenteiden muodonmuutoksiin. Työn toimeksiantaja oli Wise Group Finland Oy.

Työssä käydään läpi kokoonpuristumiseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden tekijöiden suhteellista vaikutusta. Tämän työn on tarkoitus olla hyvä ohje rakennesuunnittelijalle, joka laskee kokoonpuristumista. Opinnäytetyön yksi tärkeimpiä asioita oli myös kokoonpuristumista laskevan laskentapohjan toteuttaminen yrityksen käyttöön.

Suomessa rungon kokoonpuristumista ei ole tutkittu matalien kerroskorkeuksien takia, mutta tulevaisuudessa myös Suomessa rakennetaan yhä korkeampia rakennuksia. Rakenteiden kokoonpuristumisen arviointi on silloin tärkeää, koska kokoonpuristumisella on suuri merkitys rungon jännityksiin.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

LEHTONEN, RIKU

Taking axial shortening into account in planning and construction of high rise building

Bachelor's Thesis

26 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Juha, Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Wise Group Finland Oy

March 2013

Keywords

High rise buildings, axial shortening, concrete structures

This thesis work contains studies of high rise buildings axial shortening. Thesis aims to study how Eurocode design rules effect on axial shortening. The study was commissioned by Wise Group Finland Oy.

In my thesis I go through which factors affect the most in axial shortening, and factors relative affect. This work is intended to be a good guide for civil engineer whom calculates axial shortening of the building. Also one of the major things was produce calculation program for company's use.

There have not been studies in Finland in this field because of the low building heights. However building high buildings in Finland is more common everyday and estimating axial shortening is then important.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	KORKEA RAKENTAMINEN	5
	2.1 Korkea rakentaminen Suomessa	5
	2.2 Korkea rakentaminen maailmalla	7
3	KOKOONPURISTUMISEN ONGELMAT	9
4	EURONORMIEN MUKAINEN MITOITUS	10
	4.1 Kimmoinen muodonmuutos	10
	4.2 Muodonmuutos virumasta	11
	4.3 Muodonmuutos kutistumasta	12
5	LASKENTAOHJELMAN TEKEMINEN	14
	5.1 Käyttöjärjestelmä	14
	5.2 Laskentaohjelman muodostuminen	14
	5.3 Reunaehdot ja tavoitteet	15
	5.4 Ohjelman lopputulos	15
	5.5 Laskentaohjelman hyödyt yritykselle	15
6	SUUNNITTELIJAN VALINNAT JA NIIDEN VAIKUTUS	15
	6.1 Betonin lujuus	17
	6.2 Betonin poikkileikkauspinta-ala	19
	6.3 Pilarin/seinän teräsmäärän vaikutus	19
	6.4 Kerroskorkeus	20
	6.5 Kuormat	21
	6.6 Lämpötila	22
	6.7 Yhteenveto tuloksista	22
7	LOPPUTARKASTELU	23
	LÄHTEET	26

LIITTEET

Liite 1. Laskentaohjelman käyttöohje

Liite 2. Laskentaohjelmalla tehty laskenta kokoonpuristumisesta

1 JOHDANTO

Alussa käydään läpi lyhyesti korkearakentamista yleisellä tasolla maailmalla ja Suomessa. Korkearakentamisen yleistyminen Suomessa on lisännyt korkea rakentamisen tutkimista ja ohjeistuksien luomista Suomessa. Esimerkiksi Helsinki on julkaissut oman ohjeen korkearakentamiselle.

Korkeissa rakennuksissa pystykuormat kasvavat suuriksi, ja siksi rakennuksen muodonmuutos pystysuunnassa on huomattavaa ja on huomioitava suunnittelussa että rakentamisessa. Muodonmuutokseen vaikuttaa oleellisesti betonin viruma, kimmainen muodonmuutos sekä kuivumiskutistuma.

Opinnäytetyö tehtiin Wise Group Finland Oy:lle. Tutkimuksessa keskityttiin kolmeen muodonmuutoksen päätekijään: kimmoiseen muodonmuutokseen, betonin virumaan sekä kuivumiskutistumaan. Kaikki tarkastelut muodonmuutoksien laskemiseen on tehty euronormien mukaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli että tutkimustulokseksi saadaan käytännön suunnittelun ohjeistus rakennesuunnittelijoille ja laskentapohja pystyrakenteiden muodonmuutoksen arviointiin. Laskentaohjelma tehtiin Excel-pohjalle, ja se tuli ainoastaan yrityksen käyttöön. Työssä on kuvattu laskentaohjelman toimintaa ja esitetty tehtyjä laskelmia. Työssä tarkasteltiin myös eri tekijöiden suhteellista vaikutusta kokoonpuristumaan case-esimerkillä havainnollistaen.

2 KORKEA RAKENTAMINEN

2.1 Korkea rakentaminen Suomessa

Suurin osa Suomessa tehtävistä korkeista rakenteista on radio- ja puhelinverkko mastoja. Näiden mastojen rakenteet ovat pääasiassa teräsrakenteita tai yhdistelmä rakenteita. Tässä työssä keskityn asuinkerrostalojen pystyrakenteiden muodonmuutoksiin.

Korkea asuinrakentaminen Suomessa on keskittynyt lähes täysin pääkaupunki-seudun alueelle johtuen tonttialueiden vähäisyydestä. Tämä pakottaa rakennuksien korkeuden kasvuun. Vuonna 2012 Helsingissä otettiin käyttöön korkearakentamisen suunnitteluohje. Ohjeen tarkoituksena on yhtenäistää käytäntöjä korkeiden rakenteiden suunnittelussa. (1,1.)

Helsingin korkearakentamisen ohje sisältää erityisvaatimuksia esimerkiksi suunnittelijoiden pätevyyksiin ja palovaatimuksiin. Tästä johtuen vain kourallinen suunnittelijoita tai suunnittelutoimistoja osallistuu korkeiden rakenteiden rakentamiseen.

Suomen korkein asuinrakennus Cirrus sijaitsee Helsingin Vuosaarella. Korkeutta rakennuksella on 87,5 metriä. Rakennuksen rakennesuunnittelusta vastasi Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy.



Kuva 1. Vesa Jakkulan ottama kuva Vuosaarella sijaitsevasta Cirrus talosta.
(3.)

Tulevaisuuden kohteina SRV Yhtiöt Oyj rakennuttaa Espoon Keilaniemeen neljä pyöreää tornitaloa, joista on tarkoitus tulla 32–36-kerroksisia. Tällöin rakennuksen korkeus olisi noin 110 metriä ja rikkoisi Suomen korkeimman asuinrakennuksen ennätyksen. (7.)



Kuva 2. Mallinnettu kuva Keilaniemeen suunnitteilla olevista tornitaloista. (7.)

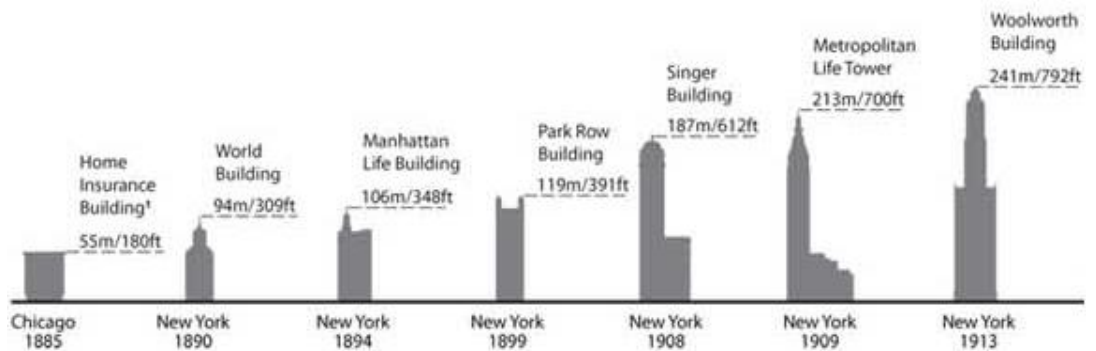
2.2 Korkea rakentaminen maailmalla

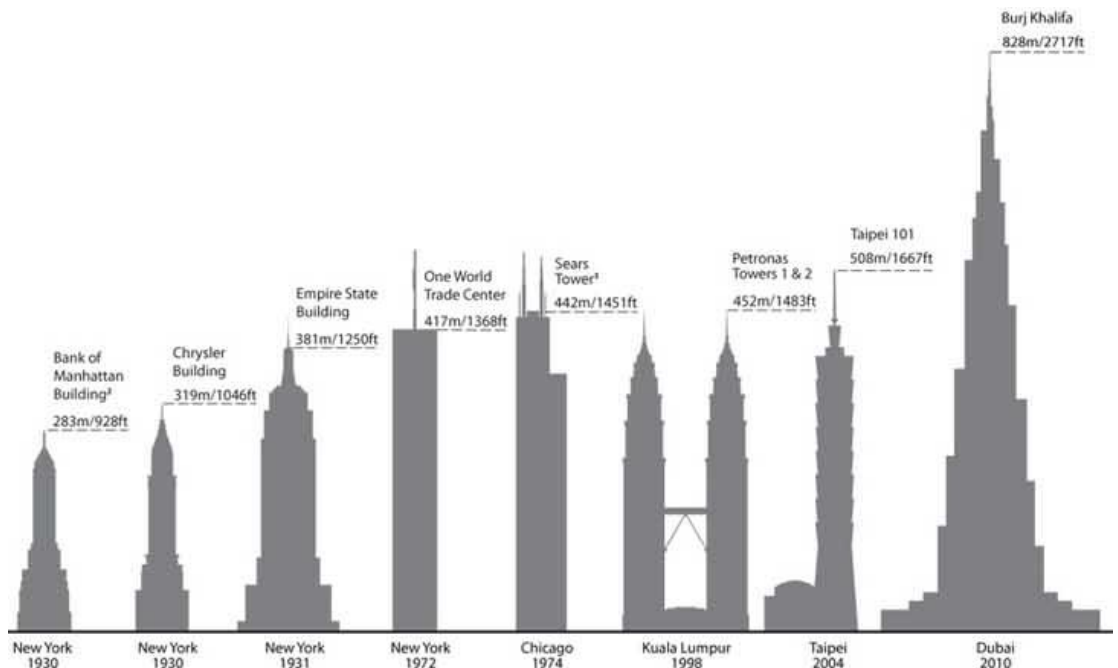
Maailman korkein rakennus on Arabiemiraateissa sijaitseva Burj Khalifa. Rakennuksen korkeus on 828 metriä ja siinä on yli 160 kerrosta. Burj Khalifan rakentaminen rikkoi myös monia muita ennätyksiä, kuten eniten kerroksia maailmassa ja maailman korkein betonipumppaus. Burj Khalifan korkuisessa rakennuksessa rakenteiden kokoonpuristumisella on huomattava vaikutus rakenteen toimivuuteen sekä asumismukavuuteen. (8,1.)

Toinen mielenkiintoinen rakennus on Abu Dhabissa sijaitseva The Landmark Of Abu Dhabi. Sillä on korkeutta 324 metriä. Rakennuksen kokoonpuristumaksi arvioitiin 48-57 senttimetriä, riippuen laskenta alueesta. (9,1.) Tämän suurin kokoonpuristuma on huomioitava suunnittelussa ja rakentamisessa niin rakenteiden, kuin myös lämpö-, vesi- ja ilmastointitekniikan osalta. Tietenkään

yllä mainittu kokoonpuristuma ei jäänyt lopputilanteeseen vaan pystyrakenteiden korkeuksia kasvatettiin arvion pohjalta. Ja lopullinen kokoonpuristuminen saatiin näin hillittyä.

Maailmalla on rakennettu korkeita rakennuksia jo pitkään. Kuvassa 3 on esitetty rakennuskorkeuden kehitystä vuodesta 1885 alkaen.





Kuva 3. Maailman korkeimman rakennuksen kehitys. (10,1.)

3 KOKOONPURISTUMISEN ONGELMAT

Rakennuksen kokoonpuristumisen arvioiminen on tärkeää korkeissa rakennuksissa, koska se vaikuttaa yksityiskohtien suunnitteluun sekä rakentamismenettelmään. Kokoonpuristumisen laskeminen on vaikea monen muuttujan yhteenlaskenta. Siihen vaikuttaa kimmoinen muodonmuutos, viruma sekä kutistumat. Esimerkkinä 40 kerroksisen rakennuksen pystysuuntainen muodonmuutos voi olla jopa 10–20 senttimetriä. (4,4.)

Pystysuunnassa tapahtuvan muodonmuutoksen haitta kohdistuu myös ei kantaviin rakenteisiin koska kantavat rakenteet vierellä puristuvat kasaan, aiheuttaen jännityksiä rakenteiden välille. Väliseinät, verhoilut ja putkistot eivät muuta muotoaan kantavan rakenteen mukana. Päinvastoin esimerkiksi putkisto saattaa venyä kuumen veden tai ilman vaikutuksesta. (4,4.)

4 EURONORMIEN MUKAINEN MITOITUS

4.1 Kimmoinen muodonmuutos

Pilarin tai seinän kimmainen muodonmuutos on laskettavissa Hooken lain mukaan. Kun kappaletta puristaa tai vetää, sen muodonmuutos on kuvattavissa kertoimella ε . Kerroin ε on kappaleen alkuperäisen pituuden ja jännityksen aiheuttaman muodonmuutoksen suhde. (2,1.)

$$\varepsilon := \frac{\Delta l}{l}$$

ε	= muodonmuutos kerroin
Δl	= pituus muodonmuutoksen jälkeen
l	= Alkuperäinen pituus

Kertoimen ε määrittämisessä on otettava huomioon teräksen ja betonin suhteet.

Kerroin ε määritetään seuraavasti:

Kun kappaletta puristaa voima F , se jakaantuu betonille sekä teräkselle, joten voidaan merkitä:

$$F := F_s + F_c$$

F	= kappaleeseen vaikuttava voima
F_s	= teräksiin vaikuttava voima
F_c	= betoniin vaikuttava voima

Voima F_s ja F_c voidaan jakaa komponentteihin:

$$F_s := A_s \cdot \sigma_s \quad F_c := A_c \cdot \sigma_c$$

A_c	= betonin pinta-ala
A_s	= terästen pinta-ala
σ_c	= betonin jännitys
σ_s	= terästen jännitys

$$\text{-----} > F := A_s \cdot \sigma_s + A_c \cdot \sigma_c$$

Jännitys voidaan jakaa kahteen osatekijään alla olevien mukaisesti:

$$\sigma_s := E_s \cdot \varepsilon_s \quad \sigma_c := E_c \cdot \varepsilon_c \quad \begin{array}{l} E_s = \text{teräksen kimmokerroin} \\ \varepsilon_s = \text{terästen muodonmuutos kerroin} \\ E_c = \text{betonin kimmokerroin} \\ \varepsilon_c = \text{betonin muodonmuutos kerroin} \end{array}$$

$$F := A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s + A_c \cdot E_c \cdot \varepsilon_c$$

Koska kappaletta puristettaessa tai vedettäessä poikkileikkaus toimii yhdessä, täytyy terästen ja betonin muodonmuutoksen olla yhtäsuuri. Voidaan siis merkitä:

$$\varepsilon_s := \varepsilon_c$$

Kerroin ε voidaan siis lausua:

$$\varepsilon := \frac{F}{A_s \cdot E_s + A_c \cdot E_c}$$

4.2 Muodonmuutos virumasta

Kun betoni on kuormituksen alaisena, sen lujuus heikkenee ajan myötä. Tätä kutsutaan virumiseksi. Virumiseen vaikuttavat ympäristön kosteus, rakenneosan mitat ja betonin koostumus. Virumisen laskeminen on esitetty euronormien mukaan seuraavasti: (2,1.)

$$\varphi := \varphi_0 \cdot \beta_{c,t,t_0}$$

φ	= virumaluku
φ_0	= nimellinen virumaluku
β_{c,t,t_0}	= virumisen kehittymistä ajan suhteen esittävä kerroin

Nimellinen virumaluku saadaan kaavasta:

$$\varphi_0 := \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t_0}$$

φ_{RH}	= suhteellisen kosteuden huomioiva kerroin
β_{fcm}	= betonin lujuuden huomioiva kerroin
β_{t_0}	= kuormituksen alkamisajan huomioiva kerroin

Yllä mainitut kertoimet saadaan seuraavista yhtälöistä:

$$\varphi_{RH} := \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{RH}{100}\right)}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.7} \right) \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2}$$

$$\beta_{f_{cm}} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$$\beta_{t_0} := \frac{1}{(0.1 \cdot t_0^{0.20})}$$

RH = ilmansuhteellinen kosteus
 f_{cm} = betonin puristus lujuus 28 päivän iässä
 t_0 = betonin ikä vuorokausissa kuormituksen alusta
 h_0 = poikkileikkauksen muunnettu paksuus

Virumisen kehittyminen ajan myötä kuormituksen jälkeen huomioon ottava kerroin saadaan yhtälöistä:

$$\beta_{c,t,t_0} := \left(\frac{(t - t_0)}{(\beta_h + (t - t_0))} \right)^{0.3}$$

+

$$\beta_h := 1.5 \cdot \left(1 + (0.012 \cdot RH)^{18} \right) \cdot h_0 + 250 \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } f_{cm} \\ \geq 35 \end{array} \right.$$

$$\beta_h := 1.5 \cdot \left(1 + (0.012 \cdot RH)^{18} \right) \cdot h_0 + 250 \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } f_{cm} \\ < 35 \end{array} \right.$$

β_h = kerroin joka riippuu suhteellisesta kosteudesta ja muunnetusta poikkileikkauksesta
 t = betonin ikä vuorokausina
 t_0 = betonin ikä vuorokausissa kuormituksen alusta

4.3 Muodonmuutos kutistumasta

Betonin kuivuessa siinä esiintyy kutistumista. Betonissa tapahtuu kahden tyyppistä kutistumista, kuivumiskutistumista sekä sisäistä kutistumista. Sisäinen kutistuma kehittyy betoniin nopeasti, jo valun jälkeisenä päivänä, kun taas kuivu-

miskutistuma kehittyy hitaasti ajan myötä. Kuivumiskutistumista tapahtuu, kun betonin huokosissa oleva vesi poistuu sen kuivuessa. Jos taas reaktioon osallistuvien hydraatiotuotteiden tilavuus on suurempi kuin sementin, syntyy sisäistä kutistumista.

Kokonaiskutistuma on siis euronormien mukaan: (2,1.)

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

ε_{cd} = kuivumiskutistuma
 ε_{ca} = sisäinen kutistuma

Sisäinen kutistuma määritellään seuraavasti:

$$\varepsilon_{ca} := 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

f_{ck} = betonin lujuus

Kuivumiskutistuman määritelmä on monimutkaisempi:

$$\varepsilon_{cd} := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

β_{ds} = kerroin joka huomioi betonin ikää
 k_h = kerroin joka riippuu muunnetusta paksuudesta
 $\varepsilon_{cd,0}$ = nimellinen kutistuma

Muunnetun paksuuden määritelmän kautta valitaan k_h kerroin:

$$h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{u}$$

h_0 100, $k_h = 1$
 h_0 200, $k_h = 0.85$ A_c = betonin poikkileikkaus
 h_0 300, $k_h = 0.75$ u = haihtumiselle altiin
 $h_0 \geq 500$, $k_h = 0.7$ poikkileikkauksen piiri

Betonin iän huomioiva kerroin saadaan seuraavasti:

$$\beta_{ds} := \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

t = betonin ikä vuorokausina
 t_0 = betonin ikä vuorokausissa kuormituksen alusta
 h_0 = poikkileikkauksen muunnettu paksuus

Nimellinen kuivumiskutistuma saadaan kaavasta:

$$\varepsilon_{cd,0} := 0.85 \left((220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)} \right) \cdot 10^{-6} \cdot \left(1.55 \left(1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right) \right)$$

α_{ds1} = 3, kun sementti on S-tyyppiä
 = 4, kun sementti on N-tyyppiä
 = 6, kun sementti on R-tyyppiä
 α_{ds2} = 0.13, kun sementti on S-tyyppiä
 = 0.12, kun sementti on N-tyyppiä
 = 0.11, kun sementti on R-tyyppiä

RH_0 = 100 %
 f_{cm0} = 10 MPa

5 LASKENTAOHJELMAN TEKEMINEN

5.1 Käyttöjärjestelmä

Laskentaohjelman pohjaksi käytettävän ohjelman valinta käytiin Microsoftin Excel-ohjelman sekä Zenex Computing Oy:n tarjoaman Mathcad-ohjelman välillä. Käyttöjärjestelmäksi valittiin Excel. Valintaan vaikutti Mathcad-ohjelman kalliit lisenssimaksut sekä pidempi kokemukseni Excel-ohjelman käytöstä.

5.2 Laskentaohjelman muodostuminen

Laskelmaohjelma tehtiin euronormien suunnitteluohjeiden mukaan, koska rakentamismääräyskokoelma poistuu käytöstä ympäristöministeriön ohjeiden mukaan 1.7.2013. Aluksi tein alustavan pohjan laskentaohjelmasta, joka alkoi sitten muokkaantua työnantajan toivomien käyttöominaisuuksien mukaan. Tärkeänä pidettiin ohjelman antamien tulosten oikeellisuutta sekä ohjelman käyttämisen selkeyttä ja helppoutta. Ohjelman käyttö tulisi rajoittumaan vain muu-

tamiin henkilöihin, joten ohjelman käytöstä ei tarvitse tehdä yhtä perusteellista käyttöopasta kuin jos se tulisi käyttöön sadoille henkilöille.

5.3 Reunaehdot ja tavoitteet

Ohjelman reunaehtoja ei ole rajoitettu, ohjelmalla voidaan laskea vaikka 300-metrinen tornitalo. Kaikki muuttujat voidaan syöttää ilman rajoituksia. Ohjelmaa käyttäessä on oltava perillä euronormien antamista rajoituksista, esimerkiksi yli tai ali raudoittamisen suhteen. Myös korkealujuusbetonia käytettäessä on muistettava tarkistaa sen saatavuus.

5.4 Ohjelman lopputulos

Yrityksessä oltiin tyytyväisiä ohjelman lopputulokseen. Ohjelma laskee rakennuksen kokonaiskoonpuristuman sekä yksittäisen kerrosvälin kokoonpuristuman. Ohjelman käyttö on todettu helpoksi ja selkeäksi. Ohjelmasta saadaan helposti tuloste, josta selviävät rakennuksessa tapahtuvat muodonmuutokset. Tulostetta voi tarkastella tarkemmin liitteestä 2.

5.5 Laskentaohjelman hyödyt yritykselle

Laskentaohjelman ja opinnäytetyön kirjallinen osio antaa yritykselle valmiudet laskea kokoonpuristumisen rakennuksille. Sen huomioon ottaminen suunnittelussa ja rakentamisessa on etu rakenteiden mitoitukselle sekä myös kustannustehokkuuden kannalta. Yritys pystyy myös näin tarjoamaan parempaa palvelua asiakkaalle, se lisää yrityksen asiantuntemusta korkearakentamisesta sekä parantaa yrityksen kilpailukykyä.

6 SUUNNITTELIJAN VALINNAT JA NIIDEN VAIKUTUS

Euronormien sekä laskentaohjelman pohjalta käytiin läpi suunnittelijan valitsemien rakenteellisten ratkaisujen vaikutuksen rakennuksen kokonaiskoonpuristumiseen. Case-esimerkissä selviävät asiat, joihin suunnittelijan kannattaa

vaikuttaa, jos haluaa pienentää kokoonpuristumia. Tässä luvussa käydään läpi case-esimerkki, joka havainnollistaa hyvin eri tekijöiden vaikutukset kokoonpuristumaan.

Esimerkkikohteen lähtökohdat on kuvattu alla.

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

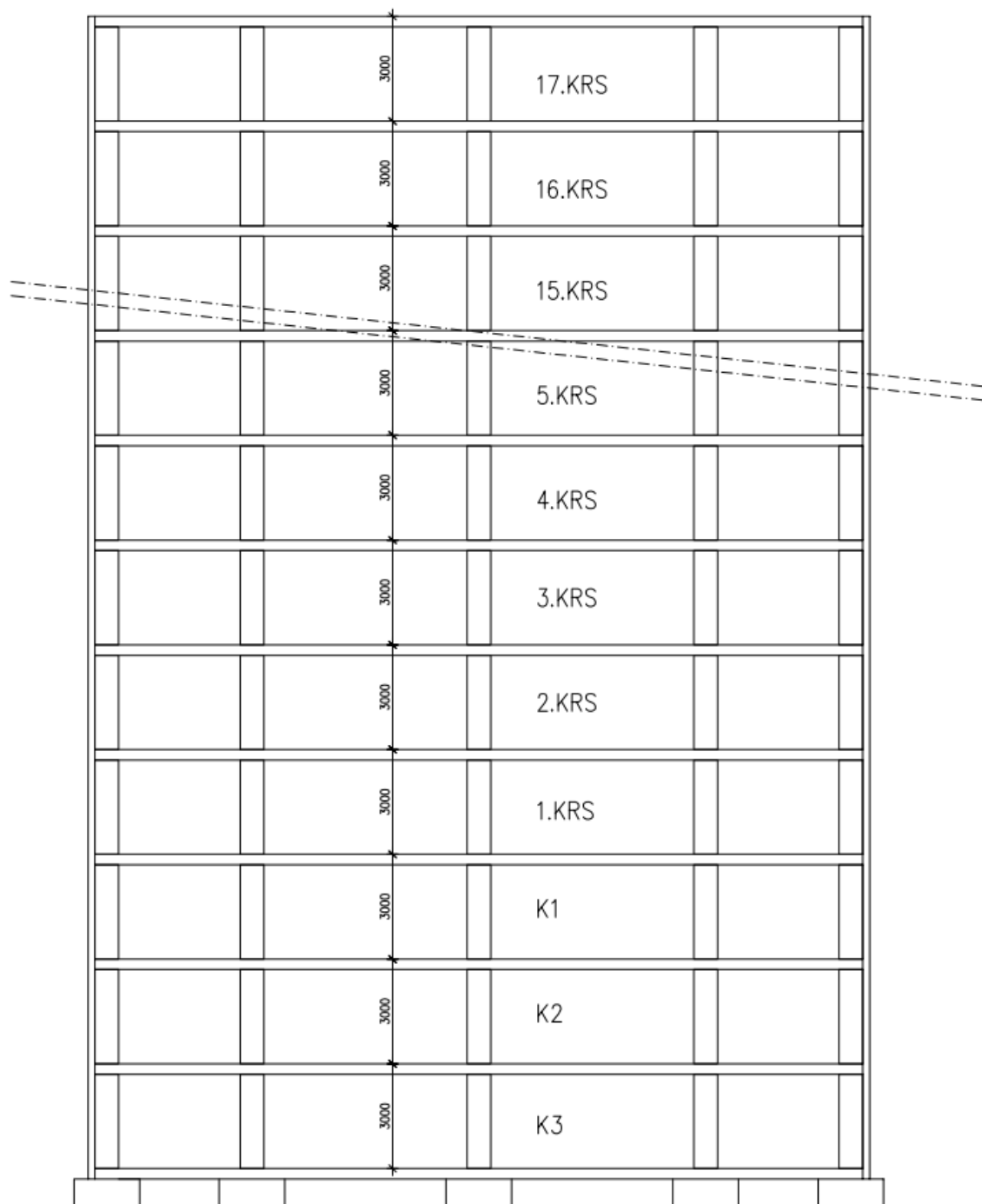
SEMENTINLAATU	N-
TERÄSLAATU	A500HW
YMPÄRISTÖN KOSTEUS	50 %
MUUTTUVAN KUORMAN ALKAMISAJANKOHTA	250
JÄLKIHOIDON PÄÄTTYMISAIKA	2
KUORMIEN YHDISTELMÄ KERROIN	LUOKKA A: ASUINTILAT

Kuva 4. Esimerkkikohteen lähtötietoja

Taulukko 1. Esimerkkikohteen pilareiden ominaisuudet, dimensiot ja kuormat

KOHTIEN TIEDOT

	Q.k1	G.k1	G.k2	L	D	B	H	A.s	BETONIN LUJUUS
1	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
2	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
3	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
4	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
5	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
6	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
7	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
8	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
9	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
10	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
11	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
12	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
13	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
14	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
15	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
16	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
17	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
18	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
19	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67
20	25	300	25	3000	680	0	0	10889,52	C55/67



Kuva 5. Esimerkki kohteen periaateleikkaus.

6.1 Betonin lujuus

Betonin lujuus valitaan kuormien aiheuttaman puristusjännityksen perusteella. Betonin lujuus merkitään euronormien mukaan esim. C30/35. Ensimmäinen lu-

kuarvo tarkoittaa betoninlieriölujuutta 30MPa. Seuraava arvo kertoo betonin kuutiolujuuden 35MPa. Kokoonpuristumisessa betonin lujuus vaikuttaa jokaiseen kolmeen kokoonpuristumisen tekijään virumaan, kuivumiskutistumaan ja kimmoiseenmuodonmuutokseen. Sillä on siis keskeinen merkitys kokoonpuristumiseen.(5,1.)

Tein vertailulaskelmia ohjelmallani erilaisilla betoninlujuuksilla pitäen muut tekijät vakioina. Pidin lujuutta C55/67 nollapisteenä.

Taulukko 2. Betonin puristuslujuuden vaikutus kokonaiskokoonpuristumaan

Betonin lujuus	Betonin puristuslujuuden muutos	Kokoonpuristuman muutos
C35/45	-36,4 %	+24,8 %
C45/55	-18,2 %	+13,2 %
C55/67	0	0
C70/85	+27,3 %	-7 %
C90/105	+63,6 %	-15 %

Betonissa muita kokoonpuristumaan vaikuttavia asioita on betonin kovettumisnopeus, jälkihoidon pituus ja laatu sekä betonin ikä tarkasteluhetkellä. Huonosta jälkihoidosta johtuvia ongelmia suunnittelija voi ehkäistä hyvillä jälkihoito-ohjeilla sekä työmaalla tapahtuvalla hoidon valvonnalla. Betonin kovettumisnopeuden valinnassa on taas kyse yleensä aikataulusta. Betonin kovettumisnopeus jaetaan kolmeen luokkaan hitaasti kovettava, normaalisti kovettava ja nopeasti kovettava betoni. Laadunarvosteluiät ovat 93 vrk, 28 vrk ja 7 vrk. (6,1).

6.2 Betonin poikkileikkauspinta-ala

Betonin poikkileikkauspinta-ala kerroksissa on rakenteellisten ja arkkitehtonisten ratkaisujen yhdistelmä. Jos betonin poikkileikkauspinta-alaa kasvatetaan, menetetään neliöitä lattia-alasta. Tein vertailuja erilaisille pilarin poikkileikkauspinta-aloille.

Taulukko 3. Pilarin halkaisijan vaikutus kokonaiskoonpuristumaan

Pilarin halkaisija	Poikkileikkauspinta-alan muutos	Kokoonpuristuman muutos
480 mm	-29,4 %	+21,9 %
580 mm	-14,7 %	+6,6 %
680 mm	0	0
780 mm	+14,7 %	-3,8 %
880 mm	+29,4 %	-6,7 %

Kuten taulukosta 3 huomaa, pilarinhalkaisijan vaikutus kokoonpuristumaan on merkittävä.

6.3 Pilarin/seinän teräsmäärän vaikutus

Teräsmäärä vaikuttaa muodonmuutokseen kimmomoduulin kautta, joka on tyyppillisellä A500HW-teräksellä 200 GPa. Jos vertaa sitä esimerkiksi betonin C55/67 kimmomoduuliin on se noin 4,5 kertaa suurempi. Teräs on siis kimmoisempaa materiaalia. Teräksen vaikutus poikkileikkauspinta-alassa kasvaa, jos betonin puristuslujuutta pienennetään. Tein muutamia taulukossa 4 esitettyjä eri teräsmäärien vertailuja betonin puristuslujuuden ollessa C55/67.

Taulukko 4. Teräsmäärän vaikutus kokonaiskoonpuristumaan

Poikkileikkauksen teräsmäärä	Teräsmäärän muutos	Kokoonpuristuman muutos
2 %	-33,3 %	1,5 %
2,5 %	-16,6 %	1 %
3 %	0	0
3,5 %	+16,6 %	1 %
4 %	+33,3 %	1,5 %

Teräsmäärän suurentaminen kokoonpuristumisen takia on kustannustehotonta. Sillä on pieni merkitys kokoonpuristuman muutokseen verrattuna raudituksen lisäämisestä johtuviin kustannuksiin.

6.4 Kerroskorkeus

Huonekorkeuteen vaikuttaa arkkitehdin ja tilaajan visio tilankäytöstä. Korkea rakentaminen on kallista, ja siinä halutaan tehdä näyttäviä erikoisratkaisuja. Korkeimmat huonekorkeudet saavutetaan yleensä rakennuksen sisääntuloaula, josta halutaan tehdä näyttävä ja mieleen painuva. Laskin erikorkuisille kerroskorkeuksille suhteellisia kokoonpuristumia. On tärkeää käyttää kerroskorkeutta eikä huonekorkeutta laskelmissa, koska esimerkkinä 40-kerroksisessa talossa 300 millimetrin laatala laatta tuo 12 metriä lisää korkeutta rakennukseen.

Taulukko 5. Kerroskorkeuden vaikutus kokonaiskoonpuristumaan

Kerroskorkeus	Kerroskorkeuden muutos	Kokoonpuristuman muutos
5000 mm	+66,6 %	+66,4 %
4000 mm	+33,3 %	+33,3 %
3500 mm	+16,6 %	+16,5 %
3000 mm	0	0
2750 mm	-8,4 %	8,6 %
2500 mm	-16,6 %	16,8 %

Omassa esimerkkikohteessa huonekorkeuden vaikutus oli suoraan verrannollinen kokoonpuristumaan. Muodonmuutos johdetaan Hooken lain mukaan, joten on selvää, että pilarin korkeus vaikuttaa samassa suhteessa kokoonpuristumaan.

6.5 Kuormat

Kuormista aiheutuvaa jännitystä voidaan pienentää lisäämällä poikkipinta-alaa pystyrakenteisiin. Tämä pienentää aina lattia-alaa. Kuormien ominaisarvoja ei voida pienentää, kuormat määrittelevät euronormistandardit mutta pilareiden määrää, jolle kuormat jakaantuvat, voidaan kasvattaa. Laskin muutamia esimerkkejä siitä, miten kerroksen kokoonpuristuminen muuttuu, jos kuormat jaetaan suuremmalle tai pienemmälle määrälle pilareita. Yhteen pilariin kohdistuu tällöin vähemmän tai enemmän kuormaa.

Taulukko 6. Kuormien vaikutus kokonaiskoonpuristumaan

kokonaiskuorman ominaisarvo pilarissa	Kokonaiskuorman muutos	Kokoonpuristumisen muutos
250 kN	28,5 %	20,5 %
300 kN	14 %	10 %
350 kN	0	0
400 kN	14 %	10 %
450 kN	28,5 %	20,5 %

Kerroksen pilareidenmäärän vaikutus kokoonpuristumaan on huomattava. Jos kuormat voidaan jakaa suuremmalle pilarimäärälle, saadaan yhteen pilariin kohdistuvat voimat pieneneväksi.

6.6 Lämpötila

Valun aikaisen ulkotilan lämpötilan vaikutus betonipuristuslujuuden kehittymiseen voidaan korjata euronormien avulla. Mitä lämpimämmässä betoni pääsee lujittumaan, sitä nopeammin se saavuttaa tavoitelujuuden.

6.7 Yhteenveto tuloksista

Rakennesuunnittelija voi vaikuttaa moneen asiaan, joka vaikuttaa myös kokoonpuristumiseen. Yleensä se koostuu kuitenkin kolmesta tekijästä: rungonvalinta, betonipuristuslujuus ja pystyrakenteiden teräsmäärä. Laskelmissani käy ilmi, että suhteellinen teräsmäärä ei vaikuta kokoonpuristumiin merkittävästi. Suurin vaikutus tulee betonin ominaisuuksista, ja niihin vaikuttaminen on helppoa. Rungon valinta taas on monen yhteistekijän kompromissi, siinä yksi tär-

keimpiä tekijöitä on rungon jäykistäminen. Taulukoitani tarkastellessa pitää muistaa, että ne on tehty tietyillä kuormilla, betoninlujuuksilla, kerroskorkeuksilla sekä kuormilla. Suhteelliset muutokset ovat tietenkin erilaisia erityyppisillä tarkasteluarvoilla.

Rungon kokoonpuristumista on mahdoton välttää. Sen ymmärtäminen ja sen huomioiminen rakentamisessa ja suunnittelussa ehkäisee siitä johtuvat ongelmat. Rakenteiden kokoonpuristuminen ei kuitenkaan yleensä tule määrääväksi rakenteita mitoittaessa. Kokoonpuristuminen arvioidaan ja siitä saatavia arvoja käytetään kokoonpuristumisen huomioimiseen rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan.

Case-esimerkki on tehty havainnollistamaan eri tekijöiden suhteellisia vaikutuksia. Todellisuudessa betonin lujuus, betonipilareiden koko, poikkileikkauksen teräsmäärä ja kerroskorkeus vaihtelevat rakennuksessa. Tämä on kustannustehokkaampaa ja kokoonpuristuman kannalta parempi, koska kerrosvälien kokoonpuristuminen pysyy pienemmällä vaihteluvälillä.

7 LOPPUTARKASTELU

Suomessa korkea rakentaminen yleistyy kaupunkien väkimäärän kasvaessa. Rakentamiseen käytettävä pinta-ala sen sijaan vähenee. Korkea rakentaminen mahdollistaa palveluiden pysymisen ihmisten lähellä. Laajalle alueelle rakentaminen lisää esimerkiksi kunnallistekniikan, terveystaloiden ja infrarakentamisen kustannuksia. Myös ihmisten halu asua kaupungeissa kasvattaa kysyntää korkearakentamiselle. Suomessa otetaan yhä enemmän mallia maailman suurkaupunkien rakennuskulttuureista ja rakentamistavoista. Euronormien käyttöönotto yleisenä ohjeena Eurooppaan lisää myös toimintatapojen yhtenäistämistä.

Korkea rakentamisessa on monia uusia haasteita verrattuna matalarakentamiseen. Rakenteiden korkeus monimutkaistaa rakenteiden stabiilisuutta, esimer-

kiksi tuulikuormien, seismisten kuormien, suurien pohjapaineiden sekä suurien pystykuormien osalta suunnitteluprosessin merkitys kasvaa.

Korkea rakentamiseen Suomessa osallistuvat tahot tällä hetkellä tutkivat korkearakentamisesta syntyviä haasteita ottaen mallia maailmalta. Espoon kaupunki on seuraamassa Helsingin jalanjälkiä ja julkaisee korkearakentamisohjeen. Tämä tutkimus lisää tietämystä yhdestä tärkeästä korkearakentamisessa syntyvästä ongelmasta. Se toimii hyvänä ohjeena rakennesuunnittelijalle sen huomioimiseen, sekä tekemäni Excel-ohjelma antaa yritykselle valmiudet laskea rakenteiden kokoonpuristuman. Rakenteiden kokoonpuristumista voidaan käyttää tukena tarkasteltaessa rakenteen kokonais-stabiilisuutta.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että tavallisen kahdeksan kerroksinen asuinkerrostalon rakentamisessa kokoonpuristuman huomioiminen on turhaa sen pienuuden takia. Jää rakennesuunnittelijan arvioitavaksi, milloin se todella on tarpeellista ja sen takia täytyy tehdä toimenpiteitä. Mitään tiettyä tai tarkkaa rajaa ei ole asetettu asiasta. Ehkä ilmiön tutkimisen ja tietämyksen lisääntyminen sellaisen tulevaisuudessa asettaa.

Seuraavassa on yhteenveto kokoonpuristumaan vaikuttavista tekijöistä:

- Betoninlujuudella on suuri vaikutus, pieni lujuus tarkoittaa suurta kokoonpuristumaa.
- Betonin poikkileikkauspinta-alalla suuri vaikutus tiettyyn pisteeseen asti: suuri hoikkuus, suuri kokoonpuristuma.
- Teräsmäärällä on pieni vaikutus, teräsmäärällä voidaan vaikuttaa kokoonpuristumaan vain muutamia prosentteja.
- Kerroskorkeudella on suuri vaikutus: suuri kerroskorkeus, suuri kokoonpuristuma.
- Kuormilla on suuri vaikutus: suuret kuormat, suuri kokoonpuristuma.
- Muita vaikuttavia tekijöitä ovat valulämpötila, jälkihoito, kuormituksen alkamishetket, rakentamisnopeus, sementin laatu, ympäristön kosteus ja teräslaa-

tu. Näillä tekijöillä on pienempi vaikutus, mutta niiden yhteisvaikutusta ei saa unohtaa.

Korkeissa rakennuksissa kokoonpuristuminen on otettava huomioon kokonaisvaltaisesti. Kuten edellä on todettu pahimmillaan kokoonpuristuminen aiheuttaa rakenteisiin haitallisia muodonmuutoksia ja jännityksiä. Rakentamisen aikana asennustyöt vaikeutuvat mittapoikkeamien vuoksi. Jopa rakennuksen käyttömukavuus voi heiketä. Tämän vuoksi korkeissa rakennuksissa pitäisi aina tehdä arvio miten rakenteiden kokoonpuristuminen otetaan kokonaisvaltaisesti huomioon suunnittelussa, toteutustavassa ja rakentamisen aikatauluissa.

Korkeasta rakentamisesta saadaan jatkossa meillä Suomessakin monipuolisesti kokemuksia ja tietoa. Tämän perusteella tullaan laatimaan uusia ohjeita. Jos niin halutaan, voidaan täsmällistä tietoa hankkia myös asentamalla toteutettaviin rakenteisiin monitorointijärjestelmiä. Järjestelmillä voidaan seurata rakenteiden todellista käyttäytymistä niiden valmistumisesta aina ylläpitoon saakka. Seuranta voi pitää sisällään muun muassa valittujen referenssipisteiden muodonmuutoksien ja siirtymien mittaamista sekä jännitystilan tarkkailua. Tätähän tehdään maailmalla jo monissa erikoisrakenteissa kuten silloissa.

LÄHTEET

1. Korkea rakentaminen. Helsingin kaupunki. 2012. Saatavissa: <http://www.uuttahelsinki.fi/korkearakentaminen> [Viitattu 25.9.2012]
2. SFS-EN 1992-1-1 Betonirakenteiden suunnittelu. Suomen standardisoimisliitto. 2011. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit/julkaisut> [Viitattu 26.9.2012]
3. Jakkula, V. Kuva. Saatavissa: http://www.vuonet.fi/kaupunkipolut/Kartano-Aurinkolahti/30_Kartano-Aurinkolahti.html [Viitattu 2.1.2013]
4. Fintel, M., Ghosh, S. K. & Lyengar, H. 1987. Column shortening in tall structures – Prediction and compensation. Portland Cement Association
5. Tietoa betonista. 2012. Finnsementti.. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-lujuus> [Viitattu 15.12.2012]
6. Rakennebetonit. 2012. Rudus. Saatavissa: <http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/rakennebetonit> [Viitattu 16.12.2012]
7. Keilaniemi. SRV. Saatavissa: <http://www.srv.fi/espoo/keilaniemi> [Viitattu 2.1.2013]
8. Burj Khalifa. Saatavissa: <http://www.burjkhalifa.ae> [Viitattu 15.1.2013]
9. Mamdouh, G. 2009. The landmark of Abu Dhabi. Saatavissa: <http://www.alhosnu.ae/subsites/aci/Presentations.aspx> [Viitattu 15.1.2013]
10. World's tallest buildings. Saatavissa: <http://pathtoworldpeace.blogspot.fi/> [Viitattu 28.1.2013]

Tämä ohjelma on tehty rakenteiden kokoonpuristumisen huomioimiseen korkearakentamisessa. Ohjelman käyttö on tarkoitettu vain henkilöille, jotka ymmärtävät teräsbetonirakenteiden toiminnan. Kaikki ohjelman laskenta on tehty euronormien mukaisesti.

Excel ohjelma sisältää neljä välilehteä, joista syöttö ja tulokset on tarkoitettu käyttäjille. Kaikki ohjelmaan syötettävät arvot syötetään syöttö välilehdellä. Solujen tunnuksissa on kommentteja, jotka pitää lukea ennen arvon syöttämistä.

Soluihin voidaan syöttää arvot missä järjestyksessä tahansa. Arvojen yksiköihin pitää kiinnittää huomiota, alla on lueteltu kuhunkin soluun syötettävän arvon muoto, tarkoitus ja yksikkö:

Laskennan lähtötiedot

1. Sementinlaatu

R = Nopeasti kovettuva betoni (7vrk)

N = Normaalisti kovettuva betoni (28vrk)

S = Hitaasti kovettuva betoni (91vrk)

2. Teräslaatu

A500HW

A700HW

3. Ympäristön kosteus

Ympäristön kosteus valitaan tapauskohtaisesti. Soluun syötetään arvo prosenteissa. Normaalisti käytettävät arvot ovat:

Sisällä 50%

Ulkona 80%

4. Muuttuvan kuorman alkamisajankohta

Tämä arvo määrittelee asukkaiden sisään muuton ajankohdan, tähän arvoon on sidottu myös virumisen ja kutistuman loppuarvo. Arvo syötetään päivissä rakentamisen alkamisajankohdasta.

5. Jälkihoidon päättymisaika

Jälkihoidon päättymisaika vaikuttaa euronormien mukaan kuivumiskustistuman suuruuteen. Sen laatua on tietenkin vaikea määrittää. Yleensä käytetään kahta päivää. Soluun syötetään arvo päivissä.

6. Kuormien yhdistelmä kerroin

Kuormitusohjeen mukaan muuttuva kuorma kerrotaan rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan eri kertoimella. Alasvetolaatikosta valitaan rakennuksen käyttötarkoitus.

7. Lämpötila

Betonin kovettumisen aikainen ympäristön lämpötila. Lämpötilan kasvassa kovettuminen tapahtuu nopeammin.

Kohteen tiedot

1. Muuttuva kuorma $Q, k1$

Rakennuksen muuttuva kuorma pilarilinjalle syötetään tähän soluun yksikkönä kN.

2. Pysyvä kuorma $G, k1$

Tähän soluun syötetään kerroksen laatan painosta syntyvä kuorma yksikkönä kN.

3. Pysyvä kuorma $G, k2$

Tähän soluun syötetään kerroksen muista pysyvistä kuormituksista syntyvät kuormat, kuten esimerkiksi: pintavalu, ei kantavat seinät, Jne.

4. Kerrokorkeus L

Tähän soluun syötetään kerrokorkeus millimetreissä.

5. Pilarin halkaisija D

Tähän soluun syötetään pilarin halkaisija millimetreissä, jos käytetään neiliön/suorakaiteen muotoista pilaria laita tähän soluun arvo 0

6. Pilarin sivumitat B, H

Pilarin sivumitat syötetään millimetreissä. Jos käytetään pyöreää pilaria laita tähän soluun arvo 0

7. Pilarin teräsmäärä A, s

Pilarin teräsmäärä syötetään yksikkönä mm^2 .

8. Betonin lujuus

Betonin lujuus valitaan alasvetolaatikosta jokaiselle pilarille erikseen.

9. Kerroksen rakentamiseen käytetty aika $t,1$

Tämä arvo kertoo muottikierron, eli kuinka monta päivää kestää ennen kuin seuraavaa kerrosta aletaan valamaan. Syötä arvo päivissä.

10. Pintarakenteista johtuvien kuormien alkamisajankohta

Arvo vaikuttaa siihen koska kuorma $G,k2$ alkaa vaikuttaa rakenteisiin. Eli syötä arvo päivinä kerroksen rakentamisen aloitus ajankohdasta.

11. Kuivumiselle alttiin poikkileikkauksen piiri

Arvon laskee automaattilaskenta. Erikoistapauksissa arvon voi joutua syöttämään. Arvo on millimetreissä.

12. Poikkileikkauksen muunnettu paksuus $h,0$

Arvon laskee automaattilaskenta älä syötä arvoa tähän soluun itse.

13. Kuivumiskutistuman kerroin Kh

Kerroin syötetään soluun, solun kommentin mukaisesti $h,0$:asta riippuen. Interpoloi väliarvot.

KOHDE: 45 Kerroksinen tornitalo
ASIAKAS: Matti Meikäläinen



Suunnittelija Riku Lehtonen

versio 1.0

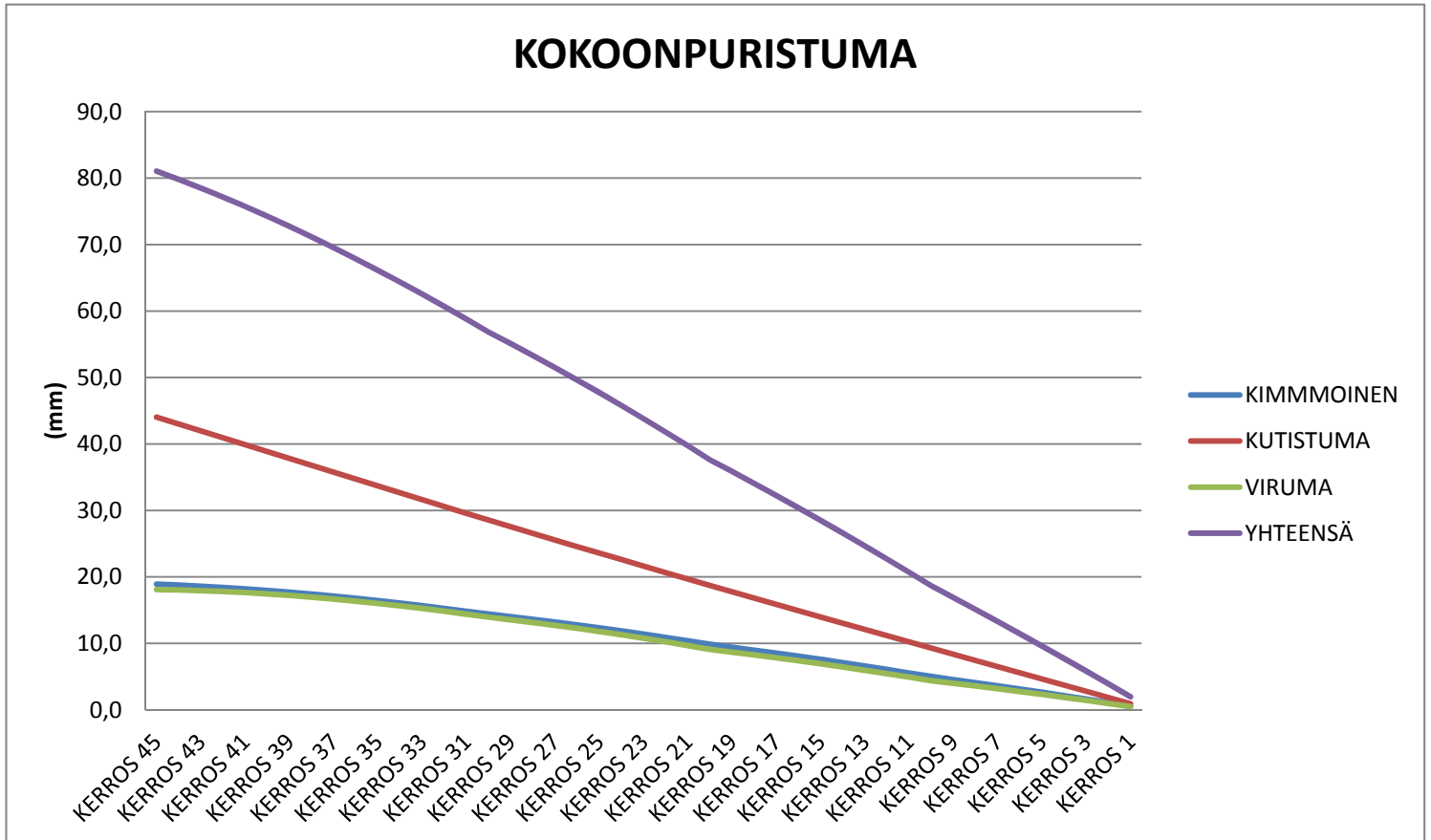
LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

LASKELMA KERROS KOHTAISESTA KOKOONPURISTUMISESTA

LASKELMAT SUORITETTUTTU SFS-EN 1992 SEKÄ SFS-EN 1991 MUKAISESTI

SEMENTINLAATU	R-
TERÄSLAATU	A500HW
YMPÄRISTÖN KOSTEUS	50
MUUTTUVAN KUORMAN ALKAMISAJANKOHTA	600
JÄLKIHOIDON PÄÄTTYMISAIKA	2
KUORMIEN YHDISTELMÄ KERROIN	LUOKKA A: ASUINTILAT

KOKOONPURISTUMA



KERROSTEN VÄLINEN LYHENEMÄ

KERROSTEN KOKOONPURISTUMINEN

KERROS	KIMMOINEN	KUTISTUMA	VIRUMA	YHTEENSÄ	RAKENNUKSEN KORKEUS		KERROS	KIMMOINEN	KUTISTUMA	VIRUMA	YHTEENSÄ
VÄLI 44-45	0,1	1,0	0,1	1,2	135		KERROS 45	18,9	44,0	18,1	81,1
VÄLI 43-44	0,2	1,0	0,1	1,3	132		KERROS 44	18,8	43,0	18,0	79,8
VÄLI 42-43	0,2	1,0	0,1	1,4	129		KERROS 43	18,6	42,0	17,9	78,5
VÄLI 41-42	0,2	1,0	0,2	1,4	126		KERROS 42	18,4	40,9	17,8	77,1
VÄLI 40-41	0,2	1,0	0,2	1,5	123		KERROS 41	18,2	39,9	17,6	75,7
VÄLI 39-40	0,3	1,0	0,2	1,5	120		KERROS 40	18,0	38,9	17,5	74,3
VÄLI 38-39	0,3	1,0	0,3	1,6	117		KERROS 39	17,7	37,8	17,2	72,7
VÄLI 37-38	0,3	1,0	0,3	1,6	114		KERROS 38	17,4	36,8	17,0	71,2
VÄLI 36-37	0,3	1,0	0,3	1,7	111		KERROS 37	17,1	35,7	16,7	69,5
VÄLI 35-36	0,4	1,0	0,4	1,7	108		KERROS 36	16,8	34,7	16,4	67,8
VÄLI 34-35	0,4	1,0	0,4	1,8	105		KERROS 35	16,4	33,7	16,0	66,1
VÄLI 33-34	0,4	1,0	0,4	1,8	102		KERROS 34	16,1	32,6	15,6	64,4
VÄLI 32-33	0,4	1,0	0,4	1,9	99		KERROS 33	15,7	31,6	15,3	62,6
VÄLI 31-32	0,4	1,0	0,4	1,9	96		KERROS 32	15,3	30,6	14,8	60,7
VÄLI 30-31	0,5	1,0	0,5	2,0	93		KERROS 31	14,8	29,5	14,4	58,8
VÄLI 29-30	0,4	1,0	0,4	1,7	90		KERROS 30	14,4	28,5	13,9	56,8
VÄLI 28-29	0,4	1,0	0,4	1,8	87		KERROS 29	14,0	27,5	13,5	55,1
VÄLI 27-28	0,4	1,0	0,4	1,8	84		KERROS 28	13,6	26,5	13,1	53,3
VÄLI 26-27	0,4	1,0	0,5	1,9	81		KERROS 27	13,2	25,6	12,7	51,5
VÄLI 25-26	0,4	1,0	0,5	1,9	78		KERROS 26	12,8	24,6	12,3	49,6
VÄLI 24-25	0,5	1,0	0,5	1,9	75		KERROS 25	12,3	23,6	11,8	47,7
VÄLI 23-24	0,5	1,0	0,5	2,0	72		KERROS 24	11,9	22,6	11,3	45,8
VÄLI 22-23	0,5	1,0	0,5	2,0	69		KERROS 23	11,4	21,6	10,8	43,8
VÄLI 21-22	0,5	1,0	0,6	2,1	66		KERROS 22	10,9	20,7	10,2	41,8
VÄLI 20-21	0,5	1,0	0,6	2,1	63		KERROS 21	10,4	19,7	9,7	39,7
VÄLI 19-20	0,4	0,9	0,4	1,8	60		KERROS 20	9,9	18,7	9,1	37,6
VÄLI 18-19	0,4	0,9	0,4	1,8	57		KERROS 19	9,4	17,7	8,7	35,9
VÄLI 17-18	0,5	0,9	0,4	1,8	54		KERROS 18	9,0	16,8	8,3	34,1
VÄLI 15-17	0,5	0,9	0,4	1,9	51		KERROS 17	8,5	15,9	7,8	32,2
VÄLI 15-16	0,5	0,9	0,5	1,9	48		KERROS 16	8,1	14,9	7,4	30,4
VÄLI 14-15	0,5	0,9	0,5	1,9	45		KERROS 15	7,6	14,0	6,9	28,5
VÄLI 13-14	0,5	0,9	0,5	1,9	42		KERROS 14	7,1	13,0	6,4	26,6
VÄLI 12-13	0,5	0,9	0,5	2,0	39		KERROS 13	6,6	12,1	6,0	24,7
VÄLI 11-12	0,5	0,9	0,5	2,0	36		KERROS 12	6,1	11,2	5,4	22,7
VÄLI 10-11	0,5	0,9	0,5	2,0	33		KERROS 11	5,5	10,2	4,9	20,7
VÄLI 9-10	0,5	0,9	0,4	1,8	30		KERROS 10	5,0	9,3	4,4	18,7
VÄLI 8-9	0,5	0,9	0,4	1,8	27		KERROS 9	4,5	8,4	4,0	16,9
VÄLI 7-8	0,5	0,9	0,4	1,8	24		KERROS 8	4,1	7,4	3,6	15,1
VÄLI 6-7	0,5	0,9	0,4	1,8	21		KERROS 7	3,6	6,5	3,2	13,3
VÄLI 5-6	0,5	0,9	0,4	1,9	18		KERROS 6	3,1	5,6	2,8	11,5
VÄLI 4-5	0,5	0,9	0,4	1,9	15		KERROS 5	2,6	4,6	2,3	9,6
VÄLI 3-4	0,5	0,9	0,5	1,9	12		KERROS 4	2,1	3,7	1,9	7,7
VÄLI 2-3	0,5	0,9	0,5	1,9	9		KERROS 3	1,6	2,8	1,4	5,8
VÄLI 1-2	0,5	0,9	0,5	1,9	6		KERROS 2	1,1	1,9	1,0	3,9
VÄLI 0-1	0,5	0,9	0,5	2,0	3		KERROS 1	0,5	0,9	0,5	2,0

KOHTEEN TIEDOT

	Q,k1	G,k1	G,k2	L	D	B	H	A,s	BETONIN LUJUUS	t,1	t,2
1	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
2	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
3	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
4	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
5	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
6	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
7	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
8	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
9	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
10	50	300	49	3000	1080	0	0	27468	C80/95	9	28
11	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
12	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
13	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
14	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
15	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
16	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
17	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
18	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
19	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
20	50	300	49	3000	980	0	0	22617	C70/85	9	28
21	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
22	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
23	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
24	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
25	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
26	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
27	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
28	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
29	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
30	50	300	49	3000	880	0	0	18237	C60/75	9	28
31	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C60/75	9	28
32	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C60/75	9	28
33	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C60/75	9	28
34	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C60/75	9	28
35	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C60/75	9	28
36	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
37	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
38	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
39	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
40	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
41	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
42	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
43	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
44	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28
45	50	300	49	3000	780	0	0	14327	C55/67	9	28