



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

TERÄSBETONISEN ELEMENTTIPILARIN SUUNNITTELU

Tommi Pihlajamäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennesuunnittelu



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennesuunnittelu

PIHLAJAMÄKI TOMMI:
Pilariementin suunnitteluohje

Opinnäytetyö 76 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Toukokuu 2018

Betoninen pilariementti on eräs elementtirakentamisessa käytetty pystysuuntainen kantava rakenne. Sitä käytetään laajasti sekä toimitila- että teollisuusrakentamisessa. Pilariementin olennainen tehtävä on välittää rakennuksessa kuormia alaspäin ja mahdollisesti myös jäykistää rakennusta. Elementtisuunnittelijan täytyy pilariementtien suunnittelussa tarkastella rakennetta useista eri näkökulmista, jotta elementti saavuttaa siltä vaaditut ominaisuudet. Suunnittelijan täytyy miettiä suunnitteluvaiheessa myös elementin toteutuksen asettamia vaatimuksia, sillä elementtitehdas saattaa asettaa myös omia rajoitteita pilarin valmistuksen suhteen.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:lle. Työn tarkoituksena oli kerätä pilariementin suunnitteluprosessissa tarvittava tieto ja tehdä pilariementtien suunnittelusta yleispätevä ohje, joka vastaisi Swecolla suunnittelua tekevien henkilöiden tarpeisiin. Ohjeen on myös tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa kokemattomien suunnittelijoiden työtä. Opinnäytetyötä varten toteutettiin Swecon organisaation sisällä muutamia henkilöhaastatteluja, joiden avulla pyrittiin selvittämään pilariementin suunnitteluohjeeseen tarvittavaa sisältöä. Saatujen vastausten perusteella koottiin ohjekortti, jonka tarkoituksena on antaa mahdollisimman selkeä kuva siitä, miten pilariementti tulee suunnitella. Työssä apuna käytettiin valmiita pilariementtien suunnitteluun tarkoitettuja laskentapohjia.

Opinnäytetyössä ja sen perusteella tehdyssä suunnitteluohjeessa tarkasteltiin betonisen pilariementin mitoituksessa tarvittavia mitoitus suureita ja yleisiä mitoitusperusteita. Työssä esitettiin yleisimmin käytetyt pilarin mitoitusperusteet eurokoodin EC2:n mukaisesti sekä annettiin ohjeet mitoitus suureiden määrittämiseksi. Pilariementin toiminta ja liitokset muihin rakenteisiin rakennusrungossa esitettiin kuvien ja detaljien avulla. Pilariementtien varusteluosien mitoitus- ja valintaperusteet esitettiin osien valmistajien ohjeiden mukaisesti. Pilarin palomitoitusta tarkasteltiin työssä taulukkomitoituksena. Lisäksi opinnäytetyössä ohjeistettiin pilarin kuljetuksen, käsittelyn ja asennuksen huomioimiseen suunnittelussa.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

PIHLAJAMÄKI TOMMI:
Design of Prefabricated concrete columns

Bachelor's thesis 76 pages, appendices 9 pages
May 2018

A prefabricated concrete column is a load-bearing vertical structure. It is a typical structure in prefabricated office buildings and also in prefabricated manufacturing buildings. The essential function of the column is carry vertical loads and sometimes also stiffen the frame of the building. Designer of a prefabricated concrete column has to ensure that the function of the column is correct. Also the designer has to consider the requirements of manufacturing the prefabricated concrete column.

This thesis was done for Sweco Rakennetekniikka Oy. The idea of the thesis was to gather essential information about the design of the prefabricated columns. The objective was to create a design guide for the prefabricated concrete column, which will help designers at their work. Another objective was to make the work easier and faster. For this thesis, some interviews were conducted inside the organization of Sweco. Purpose of the interviews was to find what would be necessary information in the design guide of the prefabricated column. The guide was made based on these interviews.

Function of the column in the structural frame of the building and joints to other structures are showed in pictures and in the details. The calculations are introduced according to Eurocode EC2. The selection and dimensioning of additional parts is presented according to manufacturers' guides. The fire designing of the concrete column is explained with spreadsheets. In addition the requirements of transport, handling and installation were also addressed in this thesis.

Key words: prefabricated columns, designing guide, element building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	PILARIELEMENTIT OSANA RAKENNUSRUNKOA	10
2.1	Rakenteellinen toiminta.....	11
2.2	Kuormitukset	12
3	SUUNNITTELUPERUSTEET.....	14
3.1	Materiaaliominaisuudet	14
3.2	Pilareiden mitat	14
3.3	Säilyvyys ja betonipeite.....	17
3.3.1	Suunnittelukäyttöikä	19
3.3.2	Rasitusluokat	19
3.4	Toleranssit	20
3.5	Pintakäsittelyt.....	23
4	VARUSTELUOSAT	28
4.1	Pilaripultit	28
4.2	Pilarikengät	28
4.3	Konsolit	29
4.4	Neopreenilaakeri	30
4.5	Kiinnityslevyt.....	31
4.6	Nosto-osat.....	34
4.7	Väliaikainen tuenta.....	35
5	MITOITUS EUROKOODIN EC2 MUKAAN.....	37
5.1	Mitoituksen eteneminen	37
5.1.1	Mitoituksen lähtötiedot	39
5.1.2	Pilaripoikkileikkauksen alustava koko	39
5.1.3	Nurjahduspituus.....	40
5.1.4	Hoikkuus ja hoikkuuden raja-arvo.....	41
5.1.5	Epäkeskisyyden määrittäminen	44
5.2	Mitoitustarkastelu.....	47
5.2.1	Raudituksen määrittäminen	49
5.2.2	Pääraudoitus	51
5.2.3	Hakaraudoitus.....	52
5.3	Pilarin mitoitus vinolle taivutukselle	53
5.4	Pilarin palomitoitus	56
5.5	Pilarin laskentaesimerkki.....	59
6	LIITOKSET	67
6.1	Pilarin liitos perustuksiin.....	67

6.2 Pilarin liitos pilariin.....	68
6.3 Pilarin liitos palkkiin	69
6.3.1 Pilarin liitos palkkiin pulttiliitoksella	69
6.3.2 Betonisen ulokekonsolin raudoituseriaate.....	70
6.3.3 Pilarin liitos palkkiin teräksisellä piilokonsolilla	73
7 YHTEENVETO	75
LÄHTEET	77
LIITTEET.....	79
Liite 1. Pyöreän pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi	79
Liite 2. Pyöreän pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi	80
Liite 3. Suorakaidepoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi	81
Liite 4. Suorakaidepoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi	82
Liite 5. Pilarin liitos perustuksiin	83
Liite 6. Pilarin liitos pilariin pulttijatoksella	84
Liite 7. I- ja HI-palkin liitos pilariin yhdellä pultilla.....	85
Liite 8. Suorakaidepalkkien liitos pilariin betonikonsoleilla	86
Liite 9. Palkin liitos pilariin AEP-piilokonsolilla	87

ERITYISSANASTO

c_{nom}	betonipeitteen nimellisarvo
c_{min}	betonipeitteen minimiarvo
Δc_{dev}	betonipeitteen mittapoikkeama
$c_{min,dur}$	ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo
$c_{min,b}$	terästen tartuntavaatimuksista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo
M_{Ed}	taivutusmomentin mitoitusarvo
M_{Rd}	taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo
N_{Ed}	puristusvoiman mitoitusarvo
N_{Rd}	puristuskestävyyden mitoitusarvo
neopreeni	synteettisesti valmistettu kestävä kumimateriaali
V_{Ed}	leikkausvoiman mitoitusarvo
V_{Rd}	leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo
T_{Ed}	vääntömomentin mitoitusarvo
T_{Rd}	vääntömomenttikestävyyden mitoitusarvo
\emptyset	harjaterästangon halkaisija
γ_c	betonin osavarmuusluku
γ_s	teräksen osavarmuusluku
f_{ck}	betonin ominaislujuus
f_{yk}	teräksen ominaislujuus
$M_{2,end}$	isompi sauvan päissä vaikuttavista momenteista
$M_{1,end}$	pienempi sauvan päissä vaikuttavista momenteista
M_1	1. kertaluvun päätemomentti sauvan ylä- tai alapäässä
M_2	1. kertaluvun päätemomentti sauvan ylä- tai alapäässä
λ	sauvan hoikuusluku
λ_{lim}	hoikuuden raja-arvo
l_0	sauvan nurjahduspituus
e_o	kuormitusten alkuepäkeskisyyden arvo
e_i	1. kertaluvun epäkeskisyyys
e_2	2. kertaluvun epäkeskisyyys
n, v	suhteellisen normaalivoiman arvo

μ	suhteellisen momentin arvo
ω	mekaanisen raudoitussuhteen arvo
A_s	poikkileikkauksen teräspinta-ala
d	pyöreään pilaripoikkileikkauksen halkaisija
h	suorakaidepoikkileikkauksen korkeus
b	suorakaidepoikkileikkauksen leveys
l	rakenteen vapaa jänneväli
e_d	epäkeskisyyden mitoitusarvo
K_φ	betonin virumisen huomioiva kerroin
f_{cd}	betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
A_c	poikkileikkauksen suhteellinen betonin pinta-ala
i	poikkileikkauksen jäyhyyssäde
I_c	poikkileikkauksen hitausmomentti
θ_i	pilarin vinouden arvo
d	poikkileikkauksen tehollinen korkeus
d'	raudoituksen keskiöetäisyys betonipintaan
d_g	kiviaineksen suurin raekoko
kk	raudoituksen keskeltä keskelle mitattu jakoväli
M_{0e}	ensimmäisen asteen ekvivalentti vakiomomentti

1 JOHDANTO

Betonirakenteet ovat jo vuosisatoja vanha keksintö, mutta elementtirakentamisen tekniikka on alettu käyttämään tosissaan Euroopassa vasta toisen maailmansodan jälkeen, kun pyrittiin löytämään mahdollisimman nopea ja kustannustehokas tapa sodan tuhojen korjaamiseen. Suomessa betonielementtien betonitekniikka alettiin kehittämään 1940- ja 50-lukujen vaihteessa. Noista vuosista asti betonielementit ovat olleet hyvin olennainen osa kaikkea betonirakentamista. (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. Luettu 10.3.2018.)

Pilariementit kuuluvat elementtirakenteisissa rakennuksissa pystysuuntaisiin kantaviin rakenteisiin. Niillä on hyvin olennainen merkitys rakennuksen rungon osana, kun halutaan toteuttaa muunneltavuudeltaan toimiva rakennusrunko. Pilariementtien suunnittelu on monesti kriittinen vaihe suunnitteluprosessissa, koska pilareiden käyttöasteet voivat olla korkeita. Suunnittelu voidaankin kokea joskus hieman haastavaksi. Tämän opinnäytetyön aiheena on pilariementin suunnittelu, ja työn tarkoituksena on helpottaa kokonaisuudessaan pilariementin suunnitteluprosessia luomalla ohje, jota seuraamalla rakennesuunnittelijat voivat yhtenäisten käytäntöjen mukaan suunnitella pilariementtejä. Suunnitteluohje perustuu kansainvälisesti käytettyyn eurokoodiin EN-1992: een.

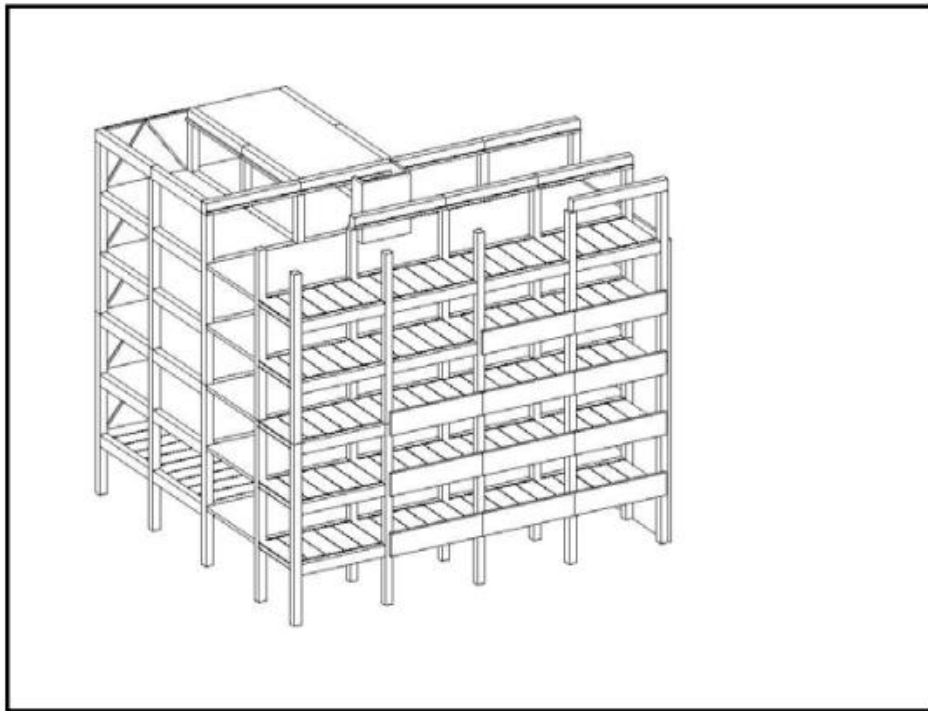
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa suunnitteluprosessia keräämällä pilariementin suunnittelussa tarvittava olennainen tieto yhdeksi ohjeeksi. Opinnäytetyön ohessa tehty ohjekortti julkaistaan Swecon sisäisessä tietopalvelussa kaikkien suunnittelijoiden käytettäväksi. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan, mitä pilariementin suunnitteluprosessi pitää sisällään. Opinnäytetyössä tarkastellaan aluksi pilariementin rakenteellista toimintaa yleisesti ja havainnollistetaan, miten pilariementille muodostuu kuormituksia. Tämän jälkeen työssä perehdytään pilariementin suunnittelun lähtökohtiin ja lopulta itse mitoitusprosessiin. Opinnäytetyössä on myös tarkasteltu pilariementin tyypillisiä rakenne- ja liitostyyppisiä. Olennaisena osana ohjekorttia on lisäksi yksi pilariementin mallipiirustus, joka antaa suunnitteluohjeeseen esimerkin siitä, miltä pilariementin elementtipiirustuksen tulisi näyttää.

Opinnäytetyö ja sen tuotoksena syntyvä pilarielementin suunnitteluohje rajataan käsittelemään tyypillisimpiä asuin-, toimitila- ja teollisuusrakennuksia. Laskelmia varten pilarielementin mitoiksi valitaan tyypillisiä käytössä olevien pilareiden mittoja, joita käytetään asuin- ja toimitilarakentamisessa. Opinnäytetyön tuotoksena syntyneen ohjeen perusteella rakennesuunnittelijan pitäisi kyetä suunnittelemaan tyypillinen pilarielementti ja valitsemaan pilareissa käytetyt tyypilliset rakenneratkaisut.

Opinnäytetyön tilaaja on Sweco Rakennetekniikka Oy, joka on osa kansainvälisesti toimivaa Sweco Ab konsernia. Sweco-konserni on Euroopan johtava suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys. Sweco Rakennetekniikka Oy tarjoaa kokonaisvaltaisesti palveluita rakenteiden suunnitteluun hyödyntämällä uusinta tekniikkaa apuna suunnittelussa. Tietomallipohjaiset ratkaisut ovat yleisesti käytössä Sweco Rakennetekniikassa ja myös tämän opinnäytetyön tuotoksena syntynyt ohjekortti hyödyntää tietomallinnusta suunnittelun ohjauksessa.

2 PILARIELEMENTIT OSANA RAKENNUSRUNKOA

Pilari-elementit ovat yleensä rakennuksissa osa kantavaa runkojärjestelmää. Niitä käytetään useimmiten toimisto- tai teollisuusrakennuksien runkojärjestelmissä, kuten pilari-palkkirunkojärjestelmässä (KUVA 1). Pilarit ovat suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä ja ne kannattelevat niihin liittyvien rakenteiden kuormia. Pilarit voivat jatkua useampien kerroksien korkuisina yhtenäisenä, jolloin niitä kutsutaan monikerrospilareiksi. Yhden kerroksen korkuisia pilareita kutsutaan kerrospilareiksi. Liitoksistaan jäykästi liitetyt pilarit voivat toimia rakennuksissa myös runkoa jäykistävinä rakenteina. Tällöin pilareita kutsutaan mastopilareiksi. Pilarit ovat kantavia rakenteita, minkä vuoksi niiden mitoitus tulee toteuttaa pilarien ja seinien mitoitukseen tarkoitettua eurokoodin EN 1992 mukaisesti.



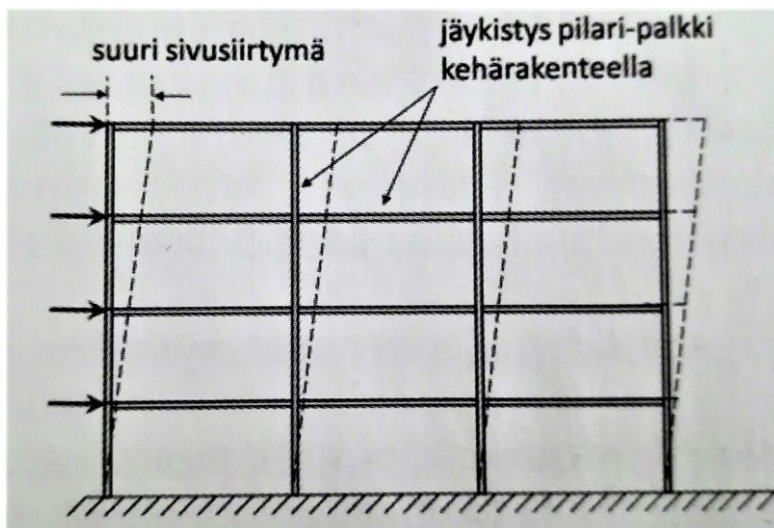
KUVA 1. Pilari-palkkirunkoinen toimitilarakennus. (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementtisuunnitelu.fi/>. Luettu 12.3.2018)

Pilari-elementit valmistetaan elementtitehtaissa elementtipiirustuksien mukaan. Elementtipiirustuksissa pilari-elementillä on tunnus P. Tehtaassa pilari-elementti valetaan halutun muotoiseen muottiin ja elementtiin lisätään suunniteltu rauditus ja lisätään tarvittavat teräsosat. Erilaiset teräsosat mahdollistavat pilarin useanlaiset liitokset muihin ympäröiviin rakenteisiin ja niiden avulla mahdollistetaan pilarin kuljetus ja asennus.

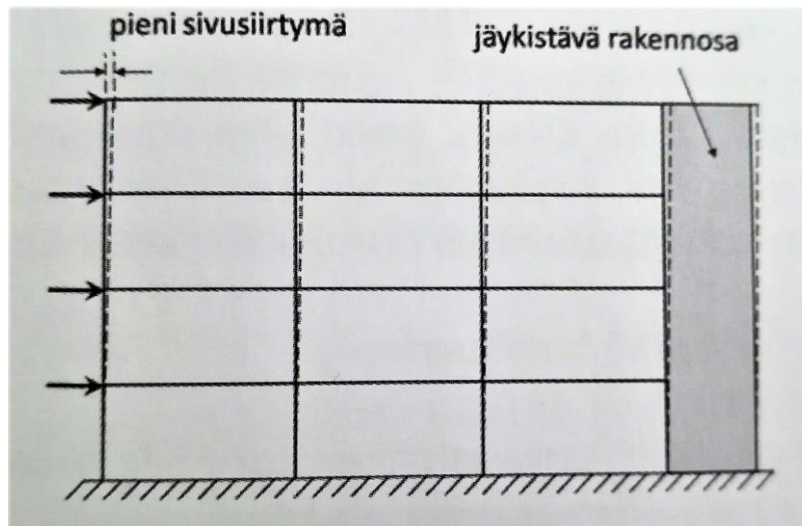
2.1 Rakenteellinen toiminta

Pilarelementti on tyypillinen rakenne joka välittää esimerkiksi pilari-palkkirunkoisessa elementtirakennuksessa kuormia alaspäin. Pilari-palkkirunkorakenteessa runko koostuu pilareista, palkeista ja välipohjarakenteista. Runkojärjestelmää käytetään erityisesti silloin, kun halutaan mahdollistaa tilojen muunneltavuus rakennuksessa tai halutaan paljon avonaista tilaa rakennukseen. Alle kolmikerroksisissa rakennuksissa pilareiden avulla voidaan toteuttaa rakennuksen jäykistys, kun pilarit liitetään momenttijäykästi perustuksiin. Pilarirunkoisessa rakennuksessa jäykistys voidaan toteuttaa myös jäykistävien seinälinjojen avulla, jolloin pilarit voidaan mitoittaa kantamaan pääasiallisesti vain pystykuormia.

Pystykuormat kertyvät pilareille tavallisesti palkeilta, jotka kannattelevat laatastoja. Laatastojen päällä voivat vaikuttaa hyötykuormat ja lumikuorma, jotka välittyvät palkeille ja lopulta pilareiden kautta perustuksille. Kuormitukseen täytyy laskea mukaan rakenteiden omat painot. Jäykistävänä rakennusosina toimiessaan pilareiden täytyy kyetä välittämään myös pääasiassa tuulesta aiheutuvat sivuttaisvoimat perustuksille. Pilareille täytyy huomioida myös asennusaikaiset kuormitukset. Asennusaikana pilarit voivat toimia mastopilareina rakennusta jäykistävänä rakenteina, vaikka valmiissa rakennuksessa jäykistys tapahtuisi jäykistävien seinälinjojen avulla.



KUVA 2. Jäykistämätön rakennejärjestelmä. (Nykyri. P. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. Osa 2. Helsinki.)



KUVA 3. Jäykistetty rakennejärjestelmä. (Nykyri. P. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. Osa 2. Helsinki.)

2.2 Kuormitukset

Pilari-elementille määräytyvät kuormitukset lasketaan Eurokoodin EN 1991 mukaan. Pilari-elementille muodostuvat kuormitukset riippuvat siitä, onko pilari osa rakennusta jäykistävää runkoa vai toimiiko pilari rakennuksessa vain pystysuuntaisia voimia välittävänä erillispilarina. Kuormitukset voidaan jakaa ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin kuormiin, muuttuviin kuormiin ja onnettomuuskuormiin. Kyseisiä kuormitustapauksia merkitään yleensä kirjaimilla G, Q ja A. Pysyviä kuormia ovat esimerkiksi rakenteen omasta painosta aiheutuvat kuormitukset, muuttuvia kuormia ovat esimerkiksi laatastojen kantattelemat hyötykuormat sekä lumikuormat ja onnettomuuskuormia ovat esimerkiksi auton törmäyksestä rakennukselle aiheutuvat kuormat. Rakenteet tulee suunnitella kestämään edellä mainittuja kuormia sekä niiden yhteisvaikutuksia. Kuormitusyhdistelmät lasketaan eurokoodin ohjeiden mukaisesti, jolloin rakenteelle tulee huomioiduksi riittävä kestävyys ja kantavuus.

Kuormituksia pilari-elementille voi aiheutua myös asennuksesta ja kuljetuksesta. Tehtaalla pilari-elementin muotista irrottamisessa syntyvät jo ensimmäiset kuormitukset elementille. Vahinkojen välttämiseksi onkin syytä huomioida riittävät kuivumisajat ennen kuin elementin voi poistaa muotista. Yllättäviä kuormia pilari-elementille voi myös syntyä elementin kuljetuksesta. Varsinkin pitkät ja hoikat pilari-elementit saattavat rikkoutua hel-

posti matkan aikana ja tämän vuoksi onkin tärkeää kiinnittää riittävästi huomioita elementin kiinnitykseen kuljetuksen ajaksi. Lisäksi rikkoutumisien välttämiseksi elementeille täytyy suunnitella varastoinnista ja niiden nostamisesta aiheutuvat kuormitukset.

3 SUUNNITTELUPERUSTEET

3.1 Materiaaliominaisuudet

Betonimassan lujuusluokan valinnan tekee ensisijaisesti suunnittelija. Lujuusluokka on betonin tärkein ominaisuus ja lujuusluokittelu tehdään betonin puristuslujuuden mukaan. Betonimassan lujuus valitaan rakenteellisen kestävyuden, tavoitekäyttöön ja säilyvyysvaatimuksien perusteella. Teräsbetonisille pilarielementeille suositellaan betonin lujuusluokaksi C30/37–C60/75.

Elementtisuunnitelmissa suunnittelijan tulee määrittää betonimassan suurin sallittu raekoko. Pääsääntöisesti betonissa käytettävän kiviaineksen isoin sallittu raekoko on halkaisijaltaan 32 millimetriä. Isointa mahdollista raekoko käyttämällä betonista saadaan teknisiltä ominaisuuksiltaan parempaa kuin pienempää raekokoa käyttämällä. Esimerkiksi betonin kuivumisesta johtuvaa halkeilua tapahtuu vähemmän, jos betonimassassa on käytetty isointa mahdollista kiviaineksen raekokoa. (Anttila. V. 2012. Betonin valinta. <https://www.rakennustieto.fi/>. Luettu 10.3.2018)

Pilarielementeillä raokoon valinnassa tulee huomioida pilarin mitat ja raudoituksen määrä elementissä. Maksimiraekoon tulee olla sellainen, että betoni saadaan valussa tiivistymään rakenteen eri osiin sekä raudoituksen ympärille. Suurin sallittu raekoko ei saa olla isompi kuin raudoituksen betonipeitteelle määritelty arvo. Pilarielementeille suositellaan betonimassan maksimiraekooksi 16 millimetriä.

Raudoituksena pilarielementeissä käytetään pääasiassa ruostuvaa rakenneterästä. Yleisimmät käytetyt teräslaadut ovat A500HW ja B500B. Jos elementissä on syytä käyttää ruostumatonta terästä, teräslaatuna voidaan käyttää esimerkiksi B600KX.

3.2 Pilareiden mitat

Pilarielementit ovat suorakaiteen tai ympyrän muotoisia pystysuuntaisia rakenteita. Myös monikulmion muotoisia poikkileikkauksia voidaan käyttää, mutta kyseiset muodot







ovat harvinaisempia. Pilarielementin koon ja muodon valintaan vaikuttavat arkkitehtoniset näkökulmat, mutta rakennesuunnittelijan täytyy määrittää vaatimuksiin sopiva rakenteellisesti ja taloudellisesti toimiva ratkaisu.

Pilarielementtien poikkileikkaukset valitaan suositeltujen poikkileikkaukokojen (KUVA 4 ja KUVA 5) mukaan. Pilarin poikkileikkauksen liittymismittat ovat M100 moduulimitaisia, mutta pilareiden valmistusmitaksi valitaan 20 mm pienempi mitta, koska elementeissä täytyy huomioida niiden asennusvarat työmaalla. Suorakaiteen muotoisten pilareiden nurkat viistetään halkeilun estämiseksi ja käyttömukavuuden parantamiseksi (KUVA 6). Pilarielementin pituudeksi suositellaan suorakaidepoikkileikkauksissa alle 15 m ja pyöreissä pystyvaletuissa pilarielementeissä alle 7 metriä. Pidempiäkin pilareita on mahdollista valmistaa, mutta suuri pituus voi muodostua taloudellisesti haastavaksi. Pitkän elementtipilarin kuljetus ja käsittely ovat haastavampaa, eikä kaikilla elementtitehtailla ole mahdollisuutta valmistaa erittäin pitkiä pilareita. Pilarin pisin mahdollinen mitta kuljetuksen ja valmistuksen kannalta tuleekin suunnittelijan aina sopia elementtitehtaan kanssa projektikohtaisesti.

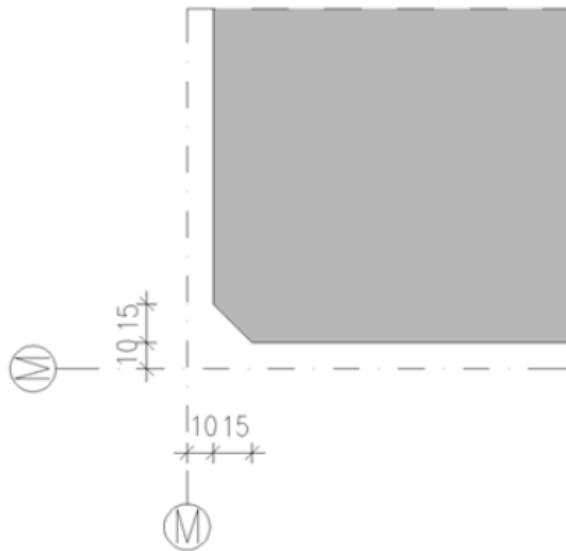
		PILARIN LEVEYS				
		2M 180	3M 280	4M 380	5M 480	6M 580
PILARIN KORKEUS	2M 180	□				
	3M 280	□	■			
	4M 380	□	□	■		
	5M 480			□	■	
	6M 580			□	□	■
	7M 680				□	□
	8M 780					□
		■	SUOSITELTAVIN		□	SUOSITELTAVA

KUVA 4. Suorakaiteen muotoisten pilareiden mittasuositukset (Betoniteollisuus Ry. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 10.3.2018.)

PILARIN HALKAISIJA

2M 180	3M 280	4M 380	5M 480	6M 580	7M 680
					

KUVA 5. Ympyrän muotoisten pilareiden mittasuositukset (Betoniteollisuus Ry. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 10.3.2018.)



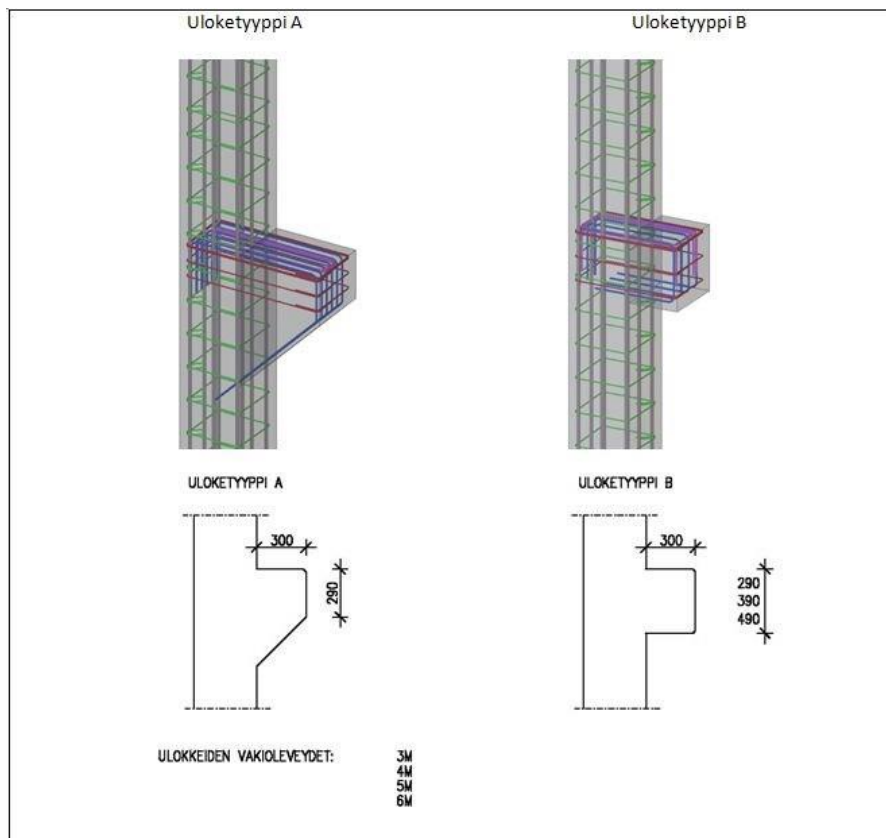
KUVA 6. Suorakaiteen muotoisen pilarin vakionurkkaviiste. (Betoniteollisuus Ry. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 10.3.2018.)

Pilareiden koon valinnassa hyvä periaate on valita poikkileikkauskoko, jota on mahdollista käyttää kohteessa useammassa pilarielementissä. Pilarin kantokyky voidaan mitoittaa riittäväksi yleensä raudoitusta ja betonin lujuusluokkaa muuttamalla, jolloin kohde on mahdollista toteuttaa mahdollisimman pienellä määrällä erilaisia pilaripoikkileikkauksia, mikä on yleensä myös helpoin ja taloudellisin vaihtoehto. (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 10.3.2018)

Pilarin poikkileikkauksen valinnassa rakenteellinen kestävyys ei aina ole mitoittava tekijä. Suunnitteluvaiheessa tulee huomioida, että varsinkin pienten pilarielementtien kohdalla ongelmaksi voi muodostua varusteluosien ja raudoitteiden mahtuminen elementtiin.

Pilarelementissä on yleensä suhteessa paljon terästä elementin poikkileikkaukseen nähden ja raudotteiden halkaisijat voivat olla niin isoja, että niitä ei ole mahdollista taivuttaa elementin sisällä. Tällöin suunnittelijan tulee tarkasti miettiä raudotteiden ja varuste-
luosien sijainnit elementissä, jotta elementti on mahdollista toteuttaa tehtaalla.

Pilarelementin liitokset palkkeihin toteutetaan monikerrospilareissa usein betonisilla ulokekonsoleilla tai teräksestä valmistetuilla piilokonsoleilla. Betonisissa ulokekonsoleissa suunnittelija määrittelee ulokkeelle mitat ja ulokkeen raudoituksen kuormituksien perusteella. Betonikonsoleissa pyritään käyttämään Betoniteollisuus Ry:n määrittämiä vakiomittoja kuvan 5 mukaisesti. Myös raudoitukset ovat usein vakioituja.



KUVA 7. Betonisten ulokkeiden vakioimitat (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 10.3.2018)

3.3 Säilyvyys ja betonipeite

Betonirakenteen säilyvyysvaatimukset koostuvat betonimassan säilyvyysvaatimuksista sekä betoniterästen säilyvyysvaatimuksista. Betonin täytyy kestää siihen kohdistuvat ra-

situkset suunnittelukäyttöiän määräämän ajan, jotta betoniteräkset eivät pääse vaurioitumaan. Raudoitteet eivät saa altistua korroosiolle, jotta ne toimivat rakenteessa suunnitellulla tavalla. Betonirakenteen säilyvyyttä suunniteltaessa on huomioitava raudoitusta suojaavan betonipeitteen paksuus. Betonipeitteen nimellisarvo valitaan kaavan 1 mukaisesti:

(1)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Betonipeitteen vähimmäisarvon c_{min} tulee olla riittävän suuri, jotta taataan terästen tartuntavoimien siirtyminen elementissä, riittävä säilyvyys sekä riittävä palonkestävyys (Betoninormit 2016 By 65. s.22) Betonipeitteen vähimmäisarvo voi määräytyä ympäristöolosuhteista johtuvien rasituksien vaikutuksesta tai betonin raudoituksen tartuntavaatimuksien perusteella. Monesti vähäisille ympäristörasituksille altistuvissa pilareissa terästen tartuntavaatimukset määräävät betonipeitteen arvon. Pääterästen tartuntavaatimukset on esitetty kohdassa 5.2.2 Taulukossa 1 on esitetty ympäristöolosuhteista riippuva betonipeitteen vähimmäisarvo. Taulukon 1 mukaisesti betonin lujuusluokkaa nostamalla voidaan betonipeitteen vähimmäisarvoa pienentää. Raudoituksen tartuntavaatimuksien mukaisena betonipeitteen minimiarvona käytetään pääraudoitetankojen halkaisijan mittaa. Vähimmäisarvona tulee kuitenkin aina käyttää 10 mm.

(2)

$$c_{min} = \max\{c_{min,dur}; c_{min,b}; 10mm\}$$

TAULUKKO 1. Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo (Betoniteollisuus Ry. 2018. Osa 2. Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. <http://www.eurocodes.fi/>. Luettu 22.3.2018)

Kriteeri	Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm)							
	Rasitusluokka eurokoodin EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan							
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3 XS2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä ¹⁾	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Minimilujuusluokka ²⁾	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
Valittu lujuusluokka \geq	C20/25	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45	C40/50	C35/45	C45/55
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

Betonipeitteen vähimmäisarvoon täytyy lisätä sallitun mittapoikkeaman arvo Δc_{dev} Yleensä betonirakenteissa mittapoikkeaman arvona käytetään 10 mm. Betonielementit valmistetaan kuitenkin valvotuissa tehdasolosuhteissa, jolloin mittapoikkeaman arvona

Betonirakenteelle rasiuksia voi aiheutua betonin karbonatisoitumisesta, erilaisista klorideista, pakkasesta ja kemiallisista yhdisteistä. Suuret betoniin kohdistuvat rasiukset nopeuttavat betoniterästen korroosiota ja betonin rapautumista. Pahimmassa tapauksessa pitkälle edenneet rasiusvauriot voivat johtaa betonirakenteen kantavuuden menettämiseen ja sortumiseen. Rakenteen riittävä käyttöikä voidaan varmistaa betonin oikeanlaisella koostumuksella ja oikeilla lähtöaineilla, riittävällä suojabetonipaksuudella tai käyttämällä ruostumattomia teräksiä. (Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. BY51. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys ry.)

TAULUKKO 2. Betonirakenteiden rasiusluokat. (Betoniteollisuus Ry. 2018 Osa 2. Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. <http://www.eurocodes.fi/1992>. Luettu 3.10. 2018)

Luokka	Kuvaus
Ei korroosiovaaraa tai rasiuksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasiutusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

3.4 Toleranssit

Valmistustoleranssit osoittavat sallitut mittapoikkeamat työn suunnitelmien ja toteutuksen välillä. Valmiin rakenteen on oltava suurimpien sallittujen mittapoikkeamien sisällä, jotta vältetään haittavaikutukset rakenteen kestävyys, toimivuuden ja eri rakenteiden yhteensopivuuksien välillä (BY 65. 2016. Betoninormit 2016).

Rakenteelliseen varmuuteen vaikuttavat toleranssit on jaettu toleranssiluokkiin 1 ja 2. Toleranssiluokkaa 1 käytetään rakenteiden mitoituksessa normaalitilanteessa, kun käytetään standardin SFS-EN 1992-1-1 kansallisen liitteen 2.4.2.2 pienentämättömiä materiaali-osavarmuuskertoimia. Normaalitilanteessa noudatetaan toleranssiluokkaa 1, ellei suunnitelmassa ole erikseen muuta mainittu. Toleranssiluokan 1 vaatimukseen katsotaan pystytävän normaalilla työsuorituksella ja työn tarkastuksella.

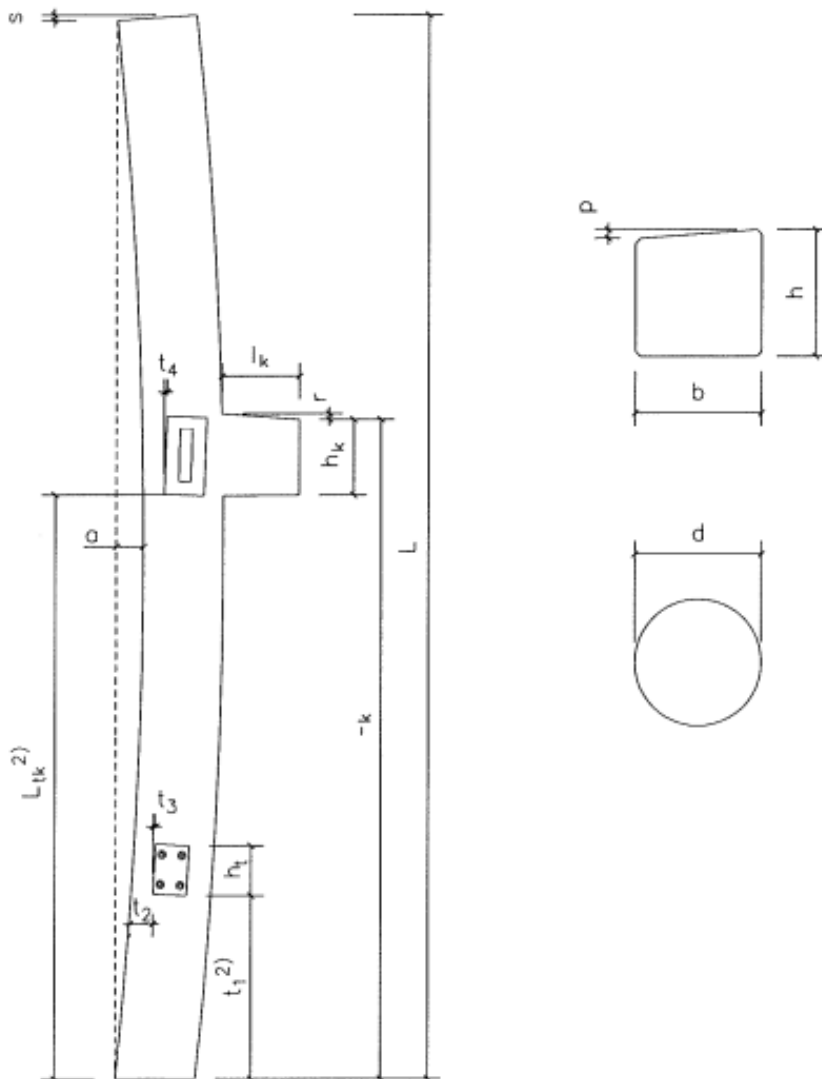
Toleranssiluokka 2 on tiukennettu toleranssiluokka, joka on tarkoitettu ensisijaisesti käytettäväksi standardin SFS-EN 1992-1-1 liitteessä A mainittujen pienennettyjen materiaali-osavarmuuskertoimien kanssa. Tiukennettuja luokan 2 toleransseja määrittäessä työn suoritukselta odotetaan laadunvalvontajärjestelmää, tarkennettua tarkastustoimintaa ja dokumentaatiota suunnitteluoletuksien toteutumisesta. Suurta huolellisuutta vaativat kriittiset rakenteelliset ratkaisut ovat yksi syy määrittää rakenteelle toleranssiluokka 2, mutta suunnittelija voi määrittää tiukemman toleranssiluokan myös muista syistä, jos haluttuun lopputulokseen pääseminen sitä edellyttää. (BY 65. 2016. Betoninormit 2016)

Betonirakenteiden toleranssiluokat ovat riippuvaisia rakenteelle suunnitellun toteutus- ja seuraamusluokan kanssa taulukon 3 mukaisesti. Seuraamusluokka kuvaa mahdollisten vaurioiden seuraamusten suuruutta ja toteutusluokka rakenteen toteutukselle asetettuja vaatimuksia. Yleisesti ottaen toleransseina käytetään pienempiä arvoja, jos rakennus-hanke on kooltaan merkittävä.

TAULUKKO 3. Toleranssiluokan riippuvuus muista suunnitteluperusteista (Niemi. J. 2018. Teräsbetonirakenteiden mitoitus eurokoodin mukaan. Tampere)

Seuraamusluokka	Toleranssiluokka	Materiaali osavarmuus	Toteutusluokka	Betoniluokat
CC1	1	perus	1	≤ C20/25
CC1	1	perus	2	≤ C50/60
CC1	1	perus	3	≤ C90/105
CC1	2	pienennetty	3	≤ C90/105
CC2	1	perus	2	≤ C50/60
CC2	1	perus	3	≤ C90/105
CC2	2	pienennetty	3	≤ C90/105
CC3	1	perus	3	≤ C90/105
CC3	2	pienennetty	3	≤ C90/105

Betonielementtien toleranssit on esitetty Betoniteollisuus ry:n julkaisussa Betonielementtien toleranssit 2011. Betonielementeillä toleranssit jaetaan luokkiin N ja E. Normaaliluokan toleranssit eli N vastaa vaatimuksiltaan betonirakenteille määritellyistä yleisistä toleranssiluokista luokkaa 2 ja sitä käytetään elementeille, kun ulkonäölliset vaatimukset ovat tavanomaiset ja elementit ovat poikkileikkaukseltaan suuria. Käytännössä normaaliluokan N mittatarkkuuksia käytetään aina runkoelementeissä. Erikoisluokan E mittatarkkuuksia käytetään ainoastaan ulkoseinä-elementeissä, jos niille on asetettu erityisen tarkkoja ulkonäkövaatimuksia. Ohjeen mukaiset normaaliluokan N toleranssit pilarielementeille on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 9. Pilarielementtien asennustoleranssit on esitetty taulukossa 5.



KUVA 9. Pilarielementin tarkasteltavat valmistustoleranssit (A.Suikka. 2011 Betoniteollisuus ry. Betonielementtien toleranssit. Luettu 19.2.2018)

TAULUKKO 4. Pilarielementin valmistustoleranssit (A.Suikka. 2011. Betoniteollisuus ry. Betonielementtien toleranssit. Luettu 19.2. 2018.

Mittauksen kohde	Valmistustoleranssi (mm)
Elementin pituus (L)	± 10 tai $L/1000^{1)}$
Elementin poikkileikkaus (b,h,d)	± 10
Käyryys (a)	± 5 tai $L/700^{1)}$
Poikkileikkauksen kulmapoikkeama (p)	± 5
Pään kulmapoikkeama (s)	± 5
Betonikonsolin korkeusasema (L_k)	± 8
Teräspiilokonsolin korkeusasema (L_{tk})	± 5
Betonikonsolin mitat (l_k, b_k, h_k)	± 8
Betonikonsolin kulmapoikkeama (r)	± 5
Teräspiilokonsolin kiertymä	$L/80$
Teräsosien sijainti pituussuunnassa	± 15
Teräsosien sijainti poikkisuunnassa	± 10
Teräsosien sijainti syvyysuunnassa	± 5
Teräsosien kiertymä	$L/50$
Reiät (t)	± 15

TAULUKKO 5. Pilarielementin asennustoleranssit (A.Suikka. 2011. Betoniteollisuus ry. Betonielementtien toleranssit. Luettu 19.2.2018.)

Mittauksen kohde	Rakentamistoleranssit
Sivusijainti, vapaa väli	± 15
Korkeusasema	± 15
Poikkeama pystysuorasta	± 10 tai $L/400$

3.5 Pintakäsittelyt

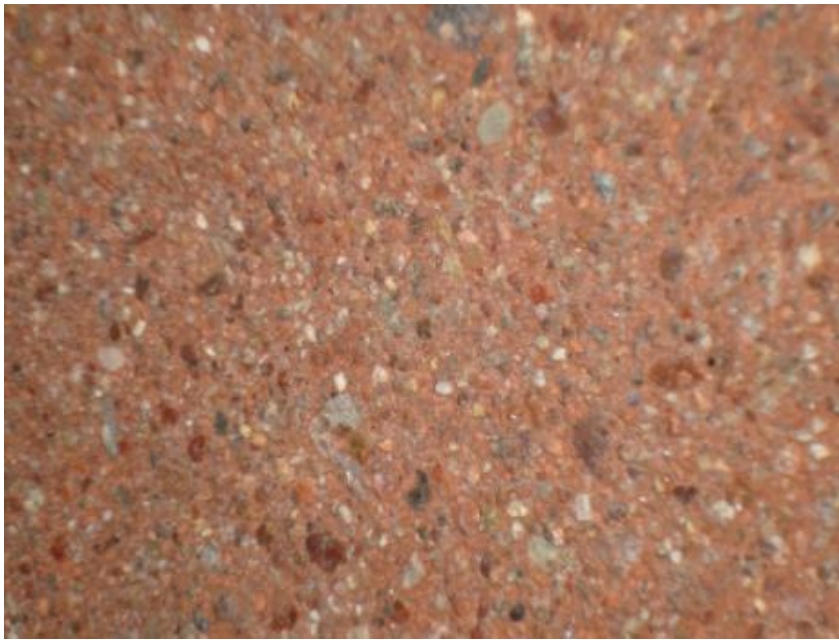
Betonielementtien pinnat käsitellään elementtitehtaalla vastaamaan pinnoille asetettuja vaatimuksia. Elementtien suunnittelija määrittää elementtipiirustuksissa elementille vaa-

dittavat pintakäsittelyt tapauskohtaisesti. Yleensä pintakäsittely valitaan betonipinnan ulkonäkövaatimusten perusteella. Betonipintojen luokitus ja laatuvaatimukset esitetään ohjeessa by40. Betonirakenteiden pinnat/Luokitusohjeet 2003.

Betonipintojen luokitusjärjestelmässä pinnat jaetaan neljään eri laatuluokkaan, joissa vaatimukset vaihtelevat pinnat tyyppin mukaan. Pintakäsittelyluokat AA ja A ovat vaatimuksiltaan kaikista vaativimmat ja luokat B ja C ovat vaatimuksiltaan heikoimmat. Vaativinta laatuluokkaa AA-käytetään yleensä vain merkittävien julkisten rakennuksien julkisivuissa. Heikointa laatuluokkaa käytetään yleensä vain näkymättömiin jääville pinnoille, kuten alakattojen betonipinnoille. Laatuluokan lisäksi betonipinnalle osoitetaan elementtipiirustuksessa pintakäsittelyn kertova lyhenne, joka kertoo, miten betoni tulee valaa muottiin ja miten pinta tulee käsitellä. Kokonaisuudessaan betonipinnoille osoitetuista vaatimuksista muodostetaan koodi, jonka perusteella elementtitehdas osaa valmistaa elementin pinnan oikein. (Betonirakenteiden pinnat. luokitusohjeet 2003. BY40. Helsinki. Suomen betonitieto)

Pilarelementtien pintakäsittely riippuu muiden elementtien tapaan siitä, miten näkyvälle paikalle pilarelementti sijoitetaan rakennuksessa. Esimerkkinä voidaan verrata tuotantolaitokseen ja julkiseen rakennukseen tulevaa pilaria. Tuotantolaitoksen tai tehtaan pilari ei välttämättä vaadi erityisen merkittävää panostusta betonipinnan käsittelyn suhteen ja pintakäsittelyn laatuluokaksi voidaan valita A tai B luokitus. Monesti pilarit ovat kuitenkin näkyviä rakennusosia, joten heikompia vaatimusluokkia B ja C harvemmin käytetään. Pintakäsittelyn menetelmänä käytetään yleisesti valamista muottipintaa vasten ja teräshiertoa (KUVA 8), jolloin pilareille saadaan yhtenäinen pinta jokaiselle sivulle. Julkisessa rakennuksessa arkkitehtoniset arvot saattavat olla hyvinkin merkittävät, jolloin arkkitehti tyypillisesti määrittää pilarille ulkonäkövaatimukset. Tällöin pintakäsittelyn vaatimusluokaksi valikoituisi luultavasti AA tai A.

Eri pintakäsittelymenetelmiä voidaan soveltaa hyvin myös pilareille. Elementtipilareita valmistavat elementtitehtaat osaavat kertoa omat pintakäsittelyvaihtoehdot pilareille, mutta tavallisesti on mahdollista käyttää menetelmänä esimerkiksi hierontaa ja sementtiliiman poistoa (KUVA 11), hiekkapuhallusta, hiontaa sekä väribetonia (KUVA 8). Taulukossa 6 on esitetty betonipinnoille käytettävät pintakäsittelymenetelmät sekä pintakäsittelyn koodi, joka tulee merkitä elementtisuunnitelmiin.



KUVA 10. Punainen väribetonipinta (Elebet Oy. <http://www.elebet.fi/>. Luettu 21.2.2018)



KUVA 11. Hierretty betonipinta (Betonirakenteiden pinnat. Luokitusohjeet 2003. BY40. Helsinki. Suomen Betonitieto)

TAULUKKO 6. Betonipintojen luokitus ja pääkoodit (Betonirakenteiden pinnat. luokitusohjeet 2003. BY40. Helsinki. Suomen betonitieto)

Pintakäsittelyn koodi	Pintakäsittelyn selitys
AG	Pinta suojataan töherryksenestoaineella
BETM AA, A	Betonilaattapinta (mekaaninen kiinnitys)
BETT AA, A	Betonilaattapinta (tartuntamenetelmä)
HAK	Hakattu pinta
HAP AA	Happopesty pinta
HAR AA, A	Harjattu pinta
HIOH	Hiottu pinta (heijastavan kiiltävä)
HIOK	Hiottu pinta (kiiltävä)
HIOM	Hiottu pinta (matta)
HIPK AA, A	Hiekkapuhallettu pinta (keskisyväpuhallus)
HIPS AA, A	Hiekkapuhallettu pinta (syväpuhallus)
HPE	Happopeitattu pinta (esikäsittelymenetelmä)
KEL	Keltainen väribetonipinta
KLIK AA, A	Klinkkerilaattapinta (kuivapuristetut laatat)
KLIM AA, A	Klinkkerilaattapinta (märkäpuristetut laatat)
LOH	Murretut, lohkotut tai halkaistut pinnat
LUOM AA, A	Luonnonkivilaattapinta (mekaaninen kiinnitys)
LUOT AA, A	Luonnonkivilaattapinta (tartuntamenetelmä)
MUK AA, A, B, C	Kuvioitua muottia vasten valettu pinta
MUO AA, A, B, C	Muottia vasten valettu pinta
MUS	Musta väribetonipinta
PES AA, A	Pesty pinta
PESH AA, A	Hienopesty pinta
PHI AA, A	Puuhierretty pinta
PIN	Pinnoitettava pinta (maalilla tai pinnoitteella)
PUN	Punainen väribetonipinta
RUS	Ruskea väribetonipinta
S	Pinta suojataan pinnoitteella
SHI AA, A	Sienihierretty pinta
SIN	Sininen väribetonipinta

TEL AA, A	Telattu pinta
THI AA, A	Teräshierretty pinta
TIIK AA, A, B	Tiililaattapinta (kalkkahiiekkatiilet)
TIIP AA, A, B	Tiililaattapinta (poltetut tiilet)
TÖP AA,A	Töpötetty pinta
VAL	Valkoinen väribetonipinta
VIH	Vihreä väribetonipinta

4 VARUSTELUOSAT

4.1 Pilaripulttit

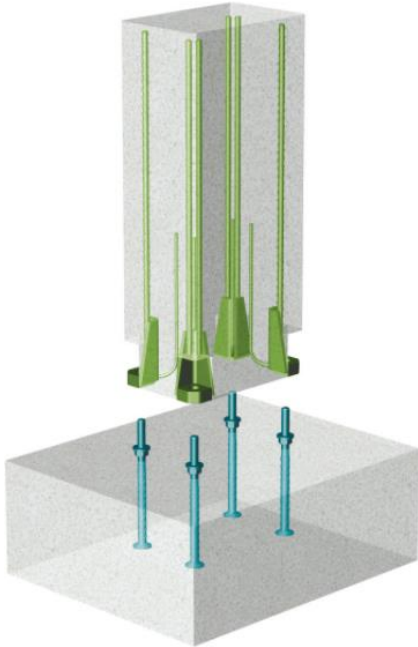
Pilaripultteja käytetään betonielementtien kiinnittämiseen ja kuormien siirtämiseen elementtien välillä. Perustuksien ja pilarielementtien välisiä pilaripultteja kutsutaan monesti peruspulteiksi. Pilarielementtien välisiä pilaripultteja kutsutaan jatkospulteiksi. Pilarielementeissä pilaripulttien vastakappaleena käytetään pilarikenkiä, jolloin elementtien liitos saadaan toteutettua työmaalla nopeasti ilman asennusaikaisia tukia. Pilarikengät asennetaan pilarielementin pohjaan elementtitehtaalla ja rakenteeseen, johon pilarielementti liitetään, valetaan kiinni pilaripulttit. Pilarielementit pystytetään työmaalla pilaripulttien päälle, säädetään oikeaan korkeusasemaan ja suoruuteen kiristämällä mutterit pultteihin ja lopuksi elementtien väliin jäävä sauma valetaan umpeen. Käyttötilanteessa valettu sauma toimii teräsbetonipoikkileikkauksena ja se pystyy välittämään momenttijäykän liitoksen tapaan voimia elementtien välillä.

Pilaripulttien muodostama liitos toimii voimia välittävänä liitoksena ja pulttien käyttö vaatii aina lisäraudoitusta pilarielementtiin, jotta liitoksen välittämät voimat saadaan välitettyä rakenteiden välillä ilman vaurioita. Pilaripulttit tulee mitoittaa normaalivoimalle, leikkausvoimalle, momentille sekä voimien yhteisvaikutuksille tilanteesta riippuen. Monesti pilarin pulttiliitosta ei mitoiteta momentille muuta kuin asennusaikaisessa tilanteessa tapahtuvien kuormitusten vaikutuksesta, koska valmiissa rakennusrungossa jäykistävinä rakennusosina käytetään usein jäykisteseiniä. Mitoituksessa tulee huomioida, että liitos täytyy mahdollisesti mitoittaa onnettomuustilanteen staattisille sekä dynaamisille kuormituksille, jolloin liitos vaatii erityistarkastelua. Pulttien valmistajien laatimasta teknisestä käyttöohjeesta voidaan selvittää pulttien muodostaman liitoksen mitoittamiseen liittyvä teoria. (Anstar Oy. <http://www.anstar.fi/>. Luettu 11.3.2018)

4.2 Pilarikengät

Pilarikengät ovat pilarielementtien pohjaan valettavia teräsosia, joiden avulla pilari voidaan liittää pilaripultteihin momenttijäykästi. Yleensä neljä pilarikenkää riittää momenttijäykän liitoksen tekemiseen pilarin ja alapuolisen rakenteen välillä. Pilarikengät vaativat

lisäraudoitusta pilarielementtiin, jotta liitoksen välittämät voimat saadaan siirtymään rakenteiden välillä ilman vaurioita. Pilarikenkien muodostama liitos pilaripulttien kanssa tulee aina mitoittaa kokonaisuutena valmistajan laatimien ohjeiden mukaisesti. (Peikko Oy. <http://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/hpkm-pilarikenka/>. Luettu 11.3.2018)



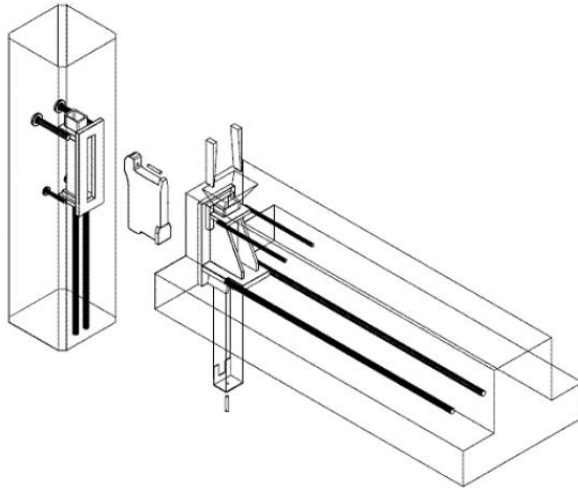
KUVA 12. Pilarin liitos perustuksiin pilaripulttien ja pilarikenkien avulla (Peikko Oy. <http://www.peikko.fi/tuotteet/>. Luettu 13.2. 2018)

4.3 Konsolit

Konsoleita käytetään tuettaessa palkkia pilarielementtiin. Pilarikonsolit voidaan jakaa betonisiin ulokekonsoleihin ja teräksisiin piilokonsoleihin. Ulokekonsolit ovat betonista valmistettuja raudoitettuja ulokkeita, joiden päälle kannateltavat palkit liitetään esimerkiksi pulttien avulla. Usein betonikonsolilla toteutettu liitos toimii nivelliitoksena ja välittää pääasiallisesti vain normaalivoimia. Ulokekonsolit valetaan ja raudoitetaan suunnittelijan määräämien suunnitelmien mukaisesti valamuottiin pilarielementin valmistuksen yhteydessä, jolloin ulokekonsoli on saumaton osa pilarielementtiä.

Teräksiset piilokonsolit ovat useasta teräsosasta koostuvia kokonaisuuksia, joita valmistavat teräsosavalmistajat. Teräksisiä piilokonsoleita käytetään usein Delta-palkkien ja WQ-palkkien liitoksessa pilariin. Piilokonsoleiden avulla palkki saadaan kiinnitettyä pilarin kylkeen ilman näkyvää liitosta. Teräksisillä piilokonsoleilla toteutettava liitos välit-

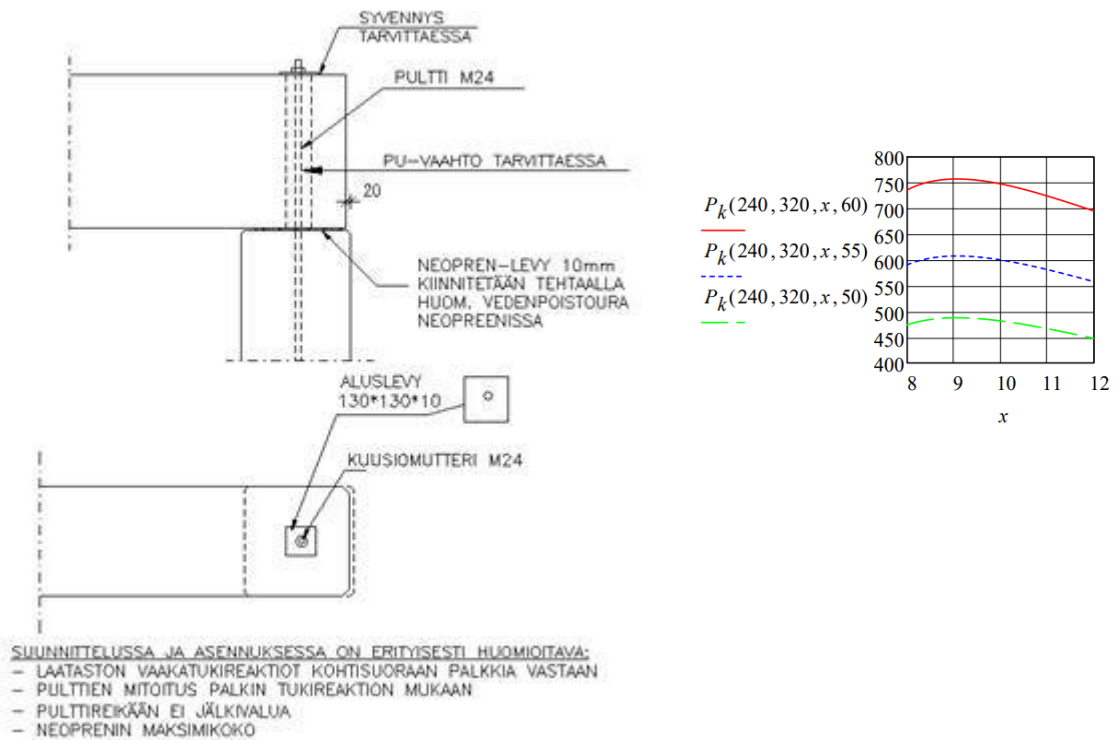
tää palkilta tulevan leikkausvoiman ja vääntömomentin pilarille. Piilokonsoleiden pilari-osa valetaan elementtitehtaalla pilari-elementin sisään elementin valmistuksen yhteydessä, joten liitos on tuotannollisesti helppo toteuttaa elementtitehtaassa. Konsoleiden mitoituksista ja suunnittelusta on kerrottu enemmän tämän opinnäytetyön kohdassa 5.3.



KUVA 13. AEP-piilokonsolin toimintaperiaate. (Anstar Oy. 2018. <http://www.anstar.fi>. Luettu 8.4.2018)

4.4 Neopreenilaakeri

Neopreeni-levyjä käytetään laakereina tavallisesti pilari-palkki liitoksissa, kun halutaan toteuttaa liitos nivelliitoksena. Laakerina toimivan levyn käyttö mahdollistaa kiertymisen syntymisen elementtien liitoksessa ilman rakenteiden vaurioitumista. Neopreenilevyn tarkoitus onkin tasata tukireaktiota elementtien välillä ja estää mahdollisista muodonmuutoksista tapahtuva elementtien vaurioituminen liitosalueella. Neopreeni kiinnitetään elementtiin jo elementtitehtaalla, joten suunnittelijan tulee ilmoittaa suunnitelmissa käytettävän neopreenilaakerin koko sijainti ja lujuus. Tavallisin neopreenilevyissä käytettävä lujuusluokka on shore 60. Neopreenilaakereiden valinnassa voidaan käyttää apuna Betoniteollisuus Ry:n laatimista kumilevy-laakereiden mitoitus-taulukoita, joiden perusteella osataan valita mitoiltaan ja lujuusluokaltaan oikea neopreenilevy. (Leskelä. M. 2009. Kumilevy-laakereiden mitoittaminen. Oulu.)



KUVA 14. Neopreenikumi pilari-palkki liitoksessa sekä neopreenin eräs valintadiagrammi kuormituksen ja levyn paksuuden funktiona (Betoniteollisuus Ry.

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 11.3.2018)

4.5 Kiinnityslevyt

Kiinnityslevyt ovat teräslevyjä, jotka ovat varustettu betoniin liittyvillä tartunnoilla (KUVA 15). Ne asennetaan elementtitehtaalla valun yhteydessä elementtiin elementtisuunnitelmien mukaisesti. Teräksiset kiinnityslevyt mahdollistavat hitsiliitoksien tekemisen betonielementteihin. Kiinnityslevyt kykenevät välittämään pilarille taivutusmomenttia sekä normaali- ja leikkausvoimia. Kuormat siirtyvät betoniin teräslevystä levyn tartuntateräksiä pitkin. Usein kiinnityslevyt vaativat betoniin lisäraudoitusta kiinnityslevyn ympärille, jotta kiinnityslevyn voimat saadaan välittymään betonielementtiin ilman betonielementin vaurioita (TAULUKKO 8, KUVA 16).



KUVA 15. SBKL-kiinnityslevy ja KL-kiinnityslevy. (Semko Oy. 2018. <https://semko.fi>, Peikko Oy. 2018. <http://www.peikko.fi>. Luettu 11.3.2018)

Teräksisiä kiinnityslevyjä valmistavat useat eri teräsosavalmistajat. Kiinnityslevyissä muoto, teräslaatu ja koko voivat vaihdella paljon ja sen myötä myös kiinnityslevyjen kapasiteetit voivat olla erilaisia. Kiinnityslevyn valmistajan laatimassa käyttöohjeessa on määritelty kiinnityspinta-alavaatimus sekä levyn kapasiteetti momentille, leikkausvoimalle ja normaalivoimalle.

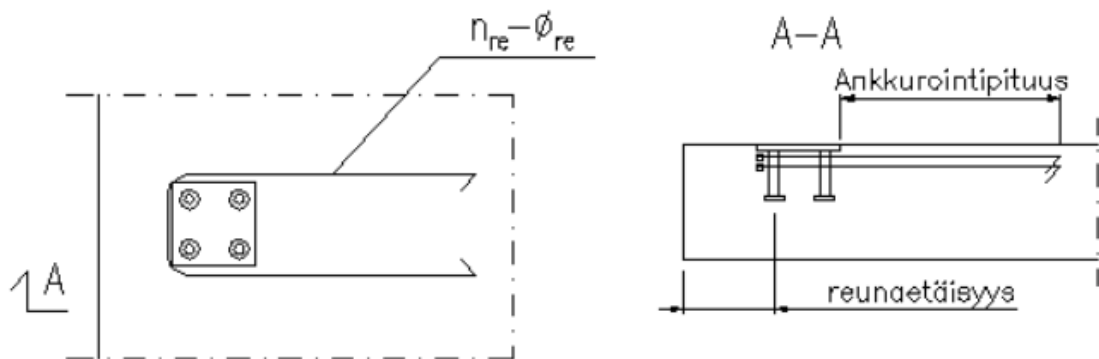
Vakiokokoiset kiinnityslevyt eli SBKL- tai KL-kiinnityslevyt ovat ennen toimineen Suomen Betonteollisuuden keskusjärjestö ry:n standardoimia osia. Vakiokokoisia kiinnityslevyjä valmistavat useat eri teräsosavalmistajat, mutta standardoidut kiinnityslevyt täyttävät samat vaatimuksen mittojen ja kapasiteettien suhteen, kuten taulukossa 6 on esitetty. Tämän vuoksi elementtipiirustuksissa kiinnityslevyt ovat usein merkitty kuviin vain esimerkiksi ”SBKL 150x150”, jolloin elementtitehdas voi itse valita kyseisen standardoidun osan valmistajan. Kiinnityslevyjen valinnassa tulee kuitenkin huomioida, että kaikki kiinnityslevyt eivät ole Suomen Betonteollisuuden keskusjärjestö ry:n standardoimia, vaan teräsosavalmistajat valmistavat täysin vastaavanlaisia tuotteita omilla tuotenimillään. Tällöin kiinnityslevyjen kapasiteetit ja käyttöohjeet täytyy varmistaa kyseisen osan valmistajan käyttöohjeista.

TAULUKKO 7. Mitoitustaulukko SBKL-kiinnityslevyille lisäraudoitettuna, kun sallittu reunaetäisyys on 11 kertaa tartunnan halkaisija yhdellä sivulla (Semko. 2013. <https://semko.fi>. Luettu 19.2. 2018.)

SBKL-kiinnityslevy	SBKL-kiinnityslevy			N_{Rd} [kN]	V_{Rd} [kN]	$M_{Rd,B}$ [kNm]	$M_{Rd,A}$ [kNm]	T_{Rd} [kNm]	e_{kB} [mm]	e_{kA} [mm]
	B [mm]	x	A [mm]							
SBKL	50	x	100	11.5	12.3	0.12	0.06	0.54	15	35
SBKL	100	x	100	15.9	21.9	0.64	0.64	1.01	35	35
SBKL	100	x	150	18.8	21.9	0.85	1.13	1.52	35	45
SBKL	150	x	150	36.2	21.9	2.45	2.45	5.14	45	45
SBKL	100	x	200	36.5	34.1	1.75	2.92	5.45	35	55
SBKL	200	x	200	69.7	34.1	6.69	6.69	8.87	55	55
SBKL	250	x	250	78.3	49.2	9.79	9.79	12.46	60	60
SBKL	100	x	300	70.5	49.2	3.63	8.46	10.03	35	70
SBKL	200	x	300	78.4	49.2	8.06	11.28	12.71	55	70
SBKL	300	x	300	86.2	49.2	13.30	13.30	16.46	70	70

TAULUKKO 8. Lisäraudoitus haoilla SBKL-kiinnityslevyille (Semko. 2013. <https://semko.fi/>. Luettu 19.2. 2018.)

Kiinnityslevy	Kiinnityslevy			n_{re} [kpl]	\varnothing_{re} [mm]
	B [mm]	x	A [mm]		
SBKL	50	x	100	2	6
SBKL	100	x	100	2	8
SBKL	100	x	150	2	8
SBKL	150	x	150	2	8
SBKL	100	x	200	2	10
SBKL	200	x	200	2	10
SBKL	250	x	250	2	12
SBKL	100	x	300	2	12
SBKL	200	x	300	2	12
SBKL	300	x	300	2	12



KUVA 16. Lisäraudoituksen sijoitus SBKL-kiinnityslevyn ympärille (Semko Oy. 2013. <https://semko.fi/>. Luettu 19.2.2018.)

4.6 Nosto-osat

Betonielementit tulee varustaa nosto-osilla, joilla mahdollistetaan elementin nostaminen ja liikuttelu. Suunnittelijan tulee elementtisuunnitelmissa määrittää käytettävien nosto-osien sijainti ja tuotenimi elementtipiirustuksessa. Kaikkien elementtien nostoelinten tulee olla CE-merkittyjä ja osien valmistajien täytyy julkaista käyttöohjeet sekä ilmoittaa kapasiteetit valmistamilleen nostoelimille. Betonielementtien nosto-osia valmistavat useat eri teräsosavalmistajat, mutta myös elementtitehtaat voivat valmistaa omia nostolenkkejään. Tällöin nostolenkkien, kuten jännespunoslenkkien, kelpoisuus tulee osoittaa erillisillä laskelmilla. (Betoninormit 2016. BY65. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry)

Betonielementin suunnittelijan tulee mitoittaa elementissä käytettävät nosto-osat kestämään kuljetuksen ja nostojen aikaiset rasitukset. Suunnittelijan tulee myös elementtisuunnitelmissa määrittää elementtien vaadittavat nosto- ja käsittelytavat. Nosto-osat mitoitetaan tavallisesti taulukkomitoituksena valmistajien määrittämien ohjeiden mukaisesti. Nosto-osat mitoitetaan usein jopa nelinkertaisella varmuudella onnettomuuksien välttämiseksi, mutta elementin käsittelyssä tulee silti huomioida, että nosto-osat kestävät kuitenkin melko huonosti nykäiseviä voimia, joita saattaa syntyä esimerkiksi elementin kuljetuksen yhteydessä.

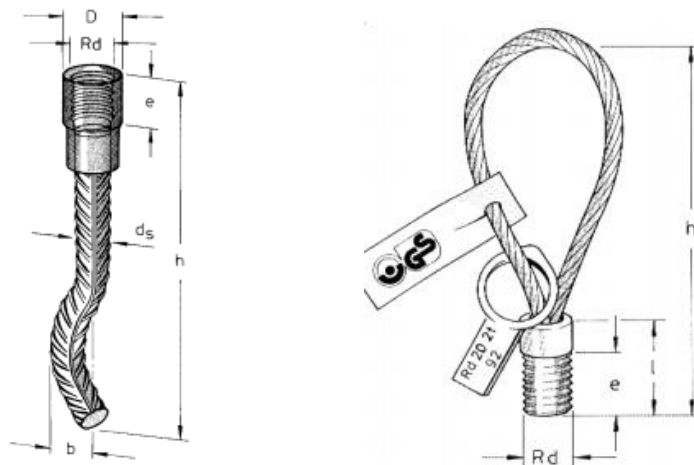
TAULUKKO 9. Semtu Oy:n käyräankkurin mitoitustaulukko (Semtu Oy. 2018. www.semtu.fi. Luettu 3.4.2018)

Käyrä- ankkuri Rd	Sallittu kuorma F _{sall} / Ankkuri [kN]	Mitat [mm]					Reuna- ja keskiöetäisyydet		Paksuus x) d _{min} [mm]	Haat + (verkko)	Elemen- tin min. korkeus H[mm] xx)
		e	D	d,	h	b	a _{min} [mm]	b _{min} [mm]			
Rd 12	5	21	15	8	137	15	140 (150)	280 (300)	65 (60)	1+1T6(5/5 #150)	c+h+f
Rd 16	12	26	21	12	216	20	165 (200)	330 (400)	100 (80)	1+1T8(5/5 #150)	c+h+f
Rd 20	20	32	27	16	257	25	250 (275)	500 (550)	150 (110)	1+1T8(6/6 #150)	c+h+f
Rd 24	25	40	31	16	350	30	450 (300)	900 (600)	170 (125)	1+1T8(6/6 #150)	c+h+f
Rd 30	40	50	40	20	450	40	500 (350)	1000 (650)	200 (140)	1+1T8(6/6 #150)	c+h+f
Rd 36	63	61	47	25	570	50	500 (400)	1000 (800)	200 (200)	1+1T8(6/6 #150)	c+h+f

Pilareissa nosto-osien avulla täytyy mahdollistaa pilarielementin nostaminen vaaka-asennossa kuljetusalustalle sekä pystyyn nostaminen työmaalla. Tämän vuoksi pilarin kylkeen sijoitettavien nosto-osien lisäksi pilariin suunnitellaan yleisesti nostoreikä, jonka avulla

elementti saadaan käännettyä pystyasentoon. Pilarin nostoelimet voidaan valmistaa ruostuvasta rakenneteräksestä, ellei ruostumattoman teräksen käytölle osoiteta erityistä syytä. Yleisimpiä pilarielementeissä käytettäviä nosto-osia ovat nostoankkurit, jännepunoslenkit sekä nostoreikiin liitettävät nostotapit. Valuun ankkuroituvia pyörötankonostolenkkeitä käytetään pilarielementeissä harvemmin.

Eräs pilarielementeissä käytetty nosto-osa on sisäkierteinen käyräankkuri, joka ankkuroidaan betoniterästen avulla elementtiin. Käyräankkurin sisäkierteisyyteen saadaan helposti liitettyä vaijerinostolenkki, jolloin näkyvät nostoelimet saadaan irrotettua elementistä tarvittaessa. Kyseisiä käyräankkureita toimittavat Suomessa isoista teräsosavalmistajista ainakin Peikko Finland Oy ja Semtu Oy.



KUVA 17. Sisäkierteinen käyräankkuri ja vaijerinostolenkki (Semtu Oy 2018. <https://www.semtu.fi/>. Luettu 18.2.2018)

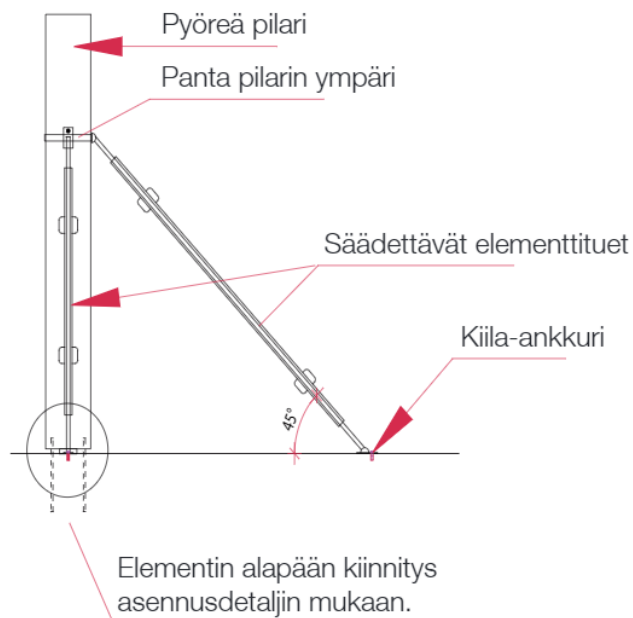
4.7 Väliaikainen tuenta

Elementtisuunnittelussa tulee huomioida, että asennusaikana elementtirakenteista runkoa täytyy estää sortumasta. Elementtien väliset liitokset toteutetaan usein juotosvaluilla, jotka vaativat tietyn kuivumisajan ennen kuin rakenne toimii suunnitellulla tavalla. Tämän vuoksi myös pilarielementteihin tulee suunnitella tilannekohtaisesti valuankkureita, joiden avulla pilarielementit tuetaan rakennusvaiheen ajaksi.

Valuankkurit ovat sisäkierteisiä kiinnitysosia, jotka upotetaan pilarielementtiin valun yhteydessä. Työmaalla elementin asennuksessa elementtituet kiinnitetään valuankkureihin

pulteilla, jolloin kuormat välittyvät valuankkurin ja elementtituen kautta muihin rakenteisiin. Valuankkureista ehkä yleisimmin käytetty on Demun valmistava Vemo-valuankkuri. Monesti valuankkureista käytetäänkin yleisesti vain nimeä Vemo. Elementtisuunnittelijan tulee huomioida valuankkureita määrittäessään valitun valuankkurin kapasiteetin riittävyys ja määrittää sen tarkka sijainti elementissä. (Semtu Oy. 2018. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/kiinnitysosat/valuankkurit/>. Luettu 11.3.2018)

Pyöreissä pilareissa valuankkureiden käyttö asennusaikaisessa tuennassa on harvinaista. Yleensä pyöreiden pilareiden yläpää tuetaan pilarin ympäri kiertävän pannan avulla elementtitukeen, jolloin rakenne saadaan jäykistettyä asennusaikana. (KUVA 18)

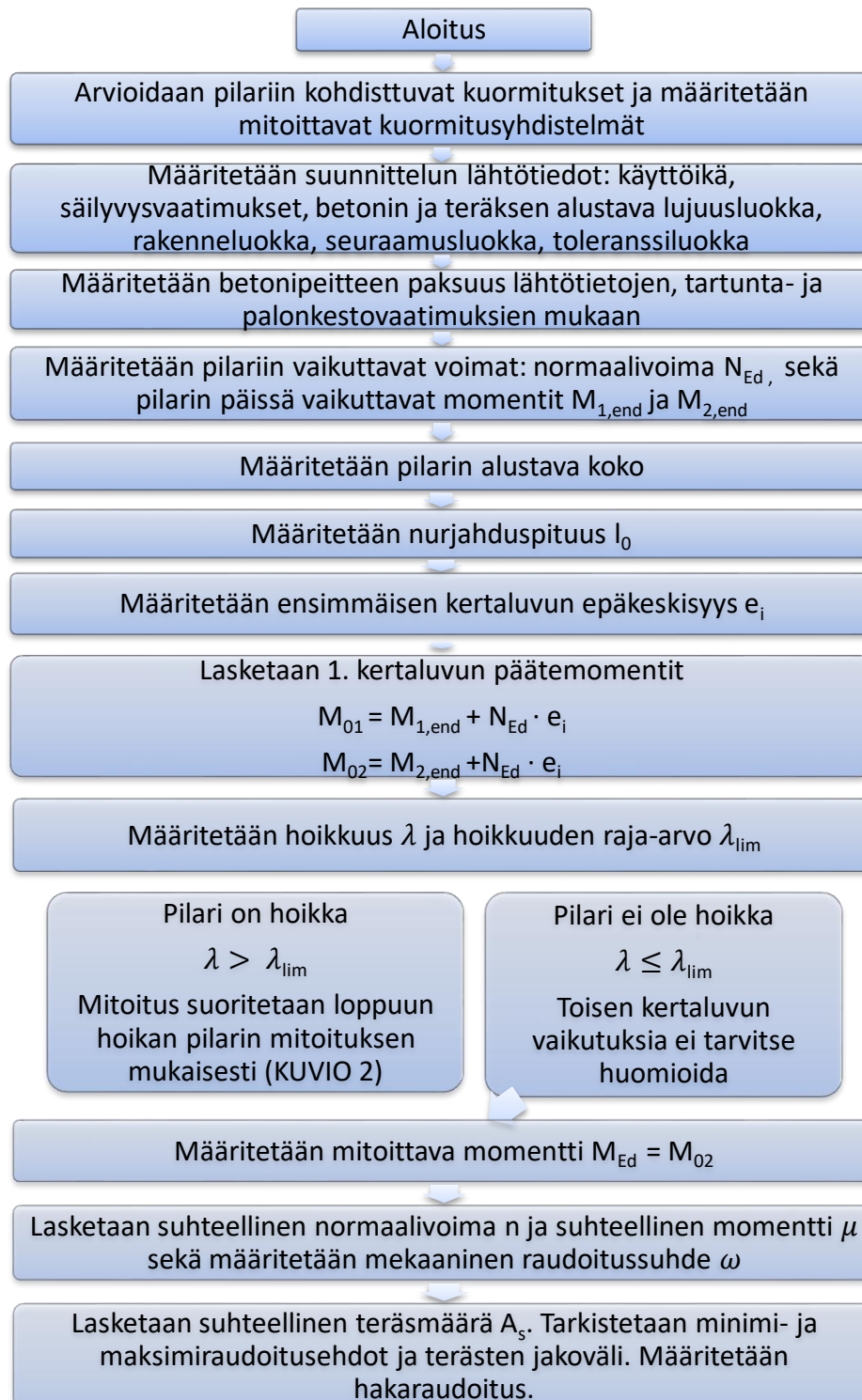


KUVA 18. Pyöreän pilarin asennusaikainen tuenta. (Ansion Sementtivalimo Oy. Beto-nielementtien käsittely ja varastointi. 2016)

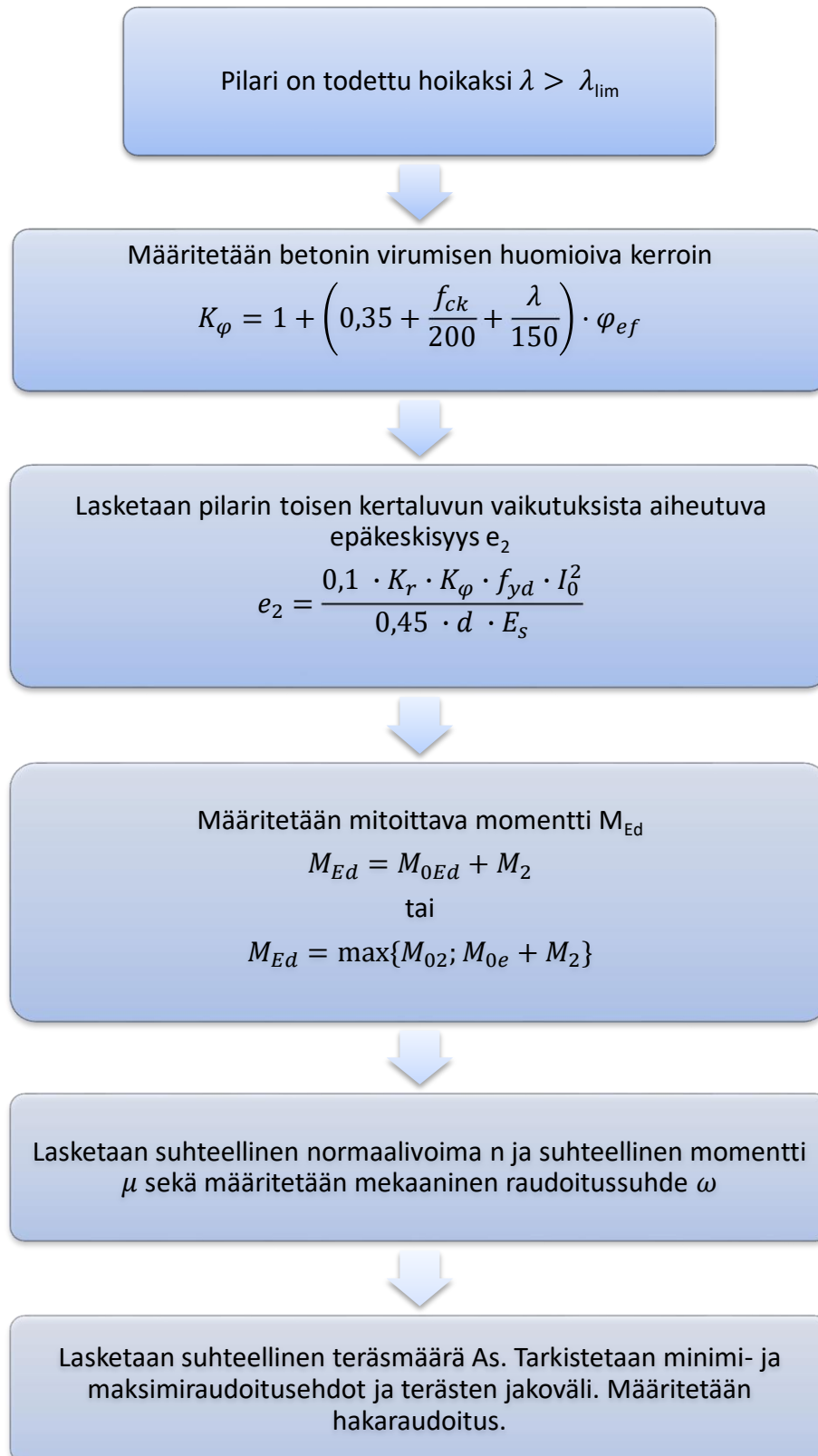
5 MITOITUS EUROKOODIN EC2 MUKAAN

5.1 Mitoituksen eteneminen

Jäykistetyin järjestelmän pilarin mitoitusprosessi on esitetty kuvioissa 1 ja 2.



KUVIO 1. Jäykistetyin rungon pilarielementin mitoitusprosessi, kun pilari on jäykkä



KUVIO 2. Jäykistetyn rungon pilarielementin mitoitusprosessi, kun pilari on hoikka

5.1.1 Mitoituksen lähtötiedot

Mitoitusprosessin lähtötiedoissa täytyy selvittää pilarin pituus, pilarin alustava koko, pilarin päiden tuentatapa, pilarin ylä- ja alapään momentti $M_{1,end}$ ja $M_{2,end}$ sekä pilariin kohdistuva normaalivoima N_{Ed} . Tämän jälkeen selvitetään pilarin rasitusluokka, jonka perusteella voidaan alustavasti määrittää betonipeitteen paksuus sekä betoniluokka ja käytettävän raudituksen laatu.

5.1.2 Pilaripoikkileikkauksen alustava koko

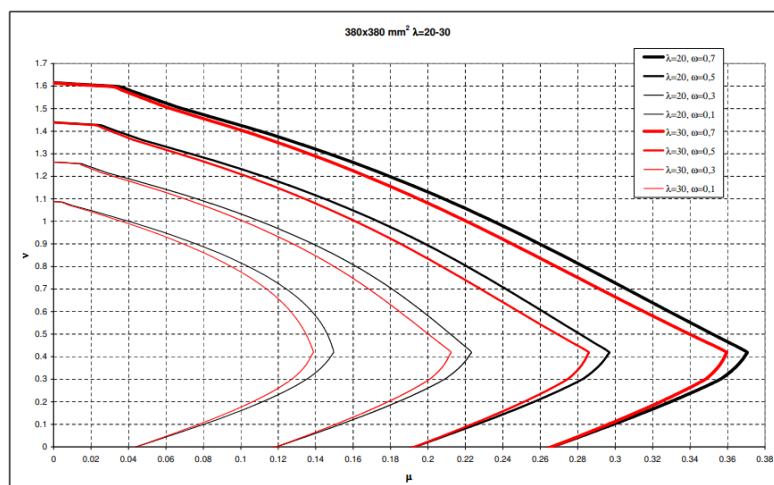
Pilarin poikkileikkauksen alustava koko on hyvä määrittellä heti suunnitteluprosessin alussa. Pilarin alustavien dimensioiden ollessa selvillä, voidaan pilariin alkaa miettiä raudoitusta ja pilarin liitoksia muihin rakenteisiin.

Alustava pilarin poikkileikkaus voidaan karkeasti selvittää Betoniteollisuus Ry:n laatimilla pilareiden kapasiteettikäyrästä (KUVA 19) tai yhtälön 3 avulla

(3)

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{(0,8 \cdot f_{cd})}$$

, jossa N_{Ed} on pilarin puristusrasituksen mitoitusarvo ja f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo



KUVA 19. Pilarin 380x380 kapasiteettikäyrästä. (Betoniteollisuus Ry. Suorakaidepilareiden nimellisen kaarevuuden mitoituskäyrästä.)

Jos pilarin koko halutaan valita mahdollisimman hoikaksi, voidaan pilaripoikkileikkauksen alustava koko määrittellä myös hoikkuuden enimmäisarvon avulla. Pilarin hoikkuuden arvo ei saa ylittää arvoa 140, joten hoikkuuden kaavasta voidaan selvittää pilarin sivumitta olettamalla, että pilarin hoikkuuden arvo on 140. Kaavassa 4 on ratkaistu suorakaidepilarin poikkileikkauksen pienin mahdollinen sivumitta ja kaavassa 5 ympyräpoikkileikkauksen pienin mahdollinen halkaisija. Yhtälöt on johdettu kaavojen 7 ja 8 perusteella. Kaavojen 4 ja 5 avulla saadun pilarin poikkileikkauksen koko täytyy pyöristää ylöspäin vähintään seuraavaan moduulimittaiseen pilarin poikkileikkauskokoon.

(4)

$$\lambda = \frac{3,46 \cdot l_0}{h} \leq 140$$

$$h \geq \frac{3,46 \cdot l_0}{140}$$

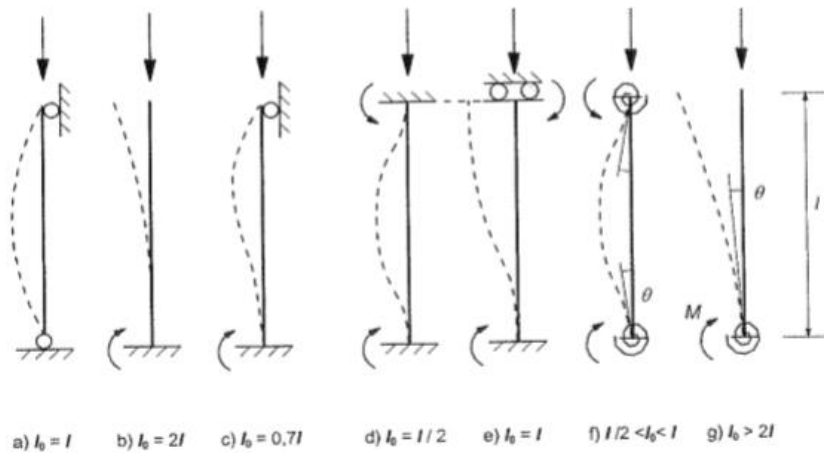
(5)

$$\lambda = \frac{4,0 \cdot l_0}{d} \leq 140$$

$$d \geq \frac{4,0 \cdot l_0}{140}$$

5.1.3 Nurjahduspituus

Teräsbetonisen pilarin rakennemalli vaikuttaa pilarin nurjahdusvaaraan. Pilarin rakennemallissa sauvan päiden tuentatavat täytyy selvittää, jotta voidaan arvioida pilarin nurjahduspituutta l_0 nurjahduskertoimen μ avulla. Nurjahduskertoimen arvo saadaan määritettyä kuvan 20 ja taulukon 10 avulla.



KUVA 20. Pilarin nurjahduskertoimet (SFS-EN 1992-1-1. Luettu 12.3.2018)

Pilarin nurjahduspituus l_0 lasketaan kaavan 6 mukaisesti

(6)

$$l_0 = \mu \cdot l$$

, jossa μ = pilarin nurjahduskerroin
 l = rakenteen vapaa jänneväli

TAULUKKO 10. Nurjahduspituuksien suositeltavat arvot (SFS-EN 1992-1-1. Luettu 12.3.2018)

Tapaus	Teoreettinen	EC2:n suositusarvoilla
a	$1,0 l$	$1,0 l$
b	$2,0 l$	$2,18 l$
c	$0,7 l$	$0,77 l$
d	$0,5 l$	$0,59 l$
e	$1,0 l$	$1,22 l$

5.1.4 Hoikkuus ja hoikkuuden raja-arvo

Määritetään pilarin hoikkuusluku, joka on riippuvainen pilarin nurjahduspituudesta ja poikkileikkauksen koosta. Pilarin hoikkuuden arvon perusteella määritetään, tarvitseeko pilarille huomioida toisen kertaluvun taipumasta aiheutuvat rasitukset. Hoikkuuden arvo ei saa teräsbetonipilarilla ylittää arvoa 140. (BY 210. s.421)

(7)

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \leq 140$$

l_0 on pilarin nurjahduspituus ja i betonipoikkileikkauksen jäyhyysäde tarkasteltavassa nurjahdussuunnassa. Jäyhyysäde määritetään suorakaidepoikkileikkaukselle ja ympyräpoikkileikkaukselle seuraavasti:

(8)

$$i_{\text{suorakaide}} = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$$i_{\text{ympyrä}} = \frac{d}{4}$$

, missä

h on suorakaidepoikkileikkauksen sivumitta

d on ympyräpoikkileikkauksen halkaisija

Pilarin hoikkuusluku voidaan johtaa suoraan tiedetyn pilaripoikkileikkauksen muodon perusteella aiemmin esitettyjen kaavojen 4 ja 5 mukaiseen muotoon. Suorakaidepoikkileikkaukselle on voimassa kaava 4 ja ympyräpoikkileikkaukselle on voimassa kaava 5. Hoikkuuden arvon täytyy olla aina alle 140 (BY 210. 2008 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus).

Määritetään hoikkuuden raja-arvo λ_{lim} . Toisen kertaluvun vaikutukset tulee huomioida pilarin mitoituksessa, jos hoikkuuden arvo ylittää hoikkuuden raja-arvon. (KAAVA 9) Hoikkuuden raja-arvo lasketaan kaavalla 10.

(9)

$$\lambda > \lambda_{lim}$$

(10)

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

, jossa $A = 0,7$ EC2 mukainen suositusarvo

$B = 1,1$ EC2 mukainen suositusarvo

$C = 0,7$ EC2 mukainen suositusarvo

$n =$ suhteellinen normaalivoima

Arvot A, B ja C ovat betonirakenteen virumisasteesta, mekaanisesti raudoitussuhteesta ja päätemomenttien suhteesta riippuvaisia kertoimia. Eurokoodin EN 1992-1-1 ohjeen mukaisesti arvoille voidaan käyttää suunnitteluvaiheessa edellä mainittuja yksinkertaistettuja arvoja. Hoikkuuden raja-arvon laskennassa käytetty suhteellinen normaalivoima saadaan laskettua suorakaidepilarille kaavasta 11 ja ympyräpilarille kaavasta 12.

(11)

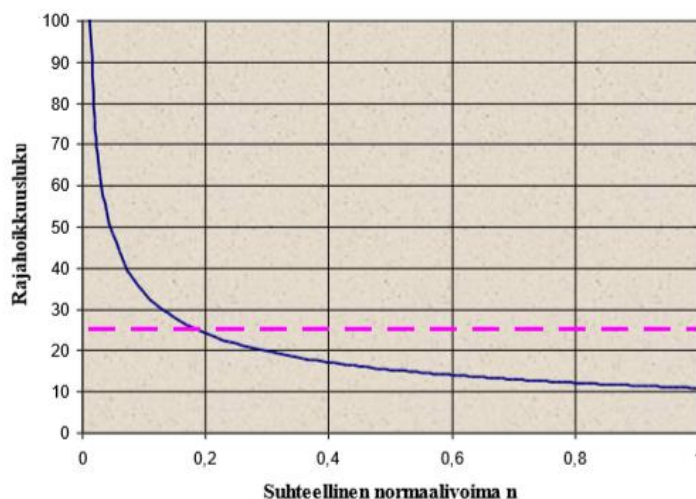
$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

(12)

$$n = \frac{N_{Ed}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot f_{cd}}$$

, jossa N_{Ed} = mitoittava normaalivoima
 b = betonin poikkileikkauksen leveys
 h = betonin poikkileikkauksen korkeus
 f_{cd} = betonin laskentapuristuslujuus

Kuvassa 21 on esitetty suhteellisen normaalivoiman ja hoikkuuden raja-arvon riippuvuus. Hoikkuuden raja-arvon laskennassa on käytetty eurokoodin mukaisia suosituskertoimia arvoille A, B ja C. Kyseisen diagrammin avulla rajahoikkuusluku voidaan määrittää myös graafisesti.



KUVA 21. Hoikkuuden raja-arvon ja suhteellisen normaalivoima riippuvuus (Lindberg, Kerokoski. 2009. RTEK-3210)

5.1.5 Epäkeskisyyden määrittäminen

Teräsbetonipilareiden laskennassa täytyy aina huomioida kuormien epäkeskisyys. Hoi-kille pilareille täytyy lisäksi huomioida toisen kertaluun vaikutuksista aiheutuva lisäepä-keskisyys e_2 , jonka laskentaan käytetään tässä työssä nimellisen kaarevuuden menetel-mää. Nimellisen kaarevuuden menetelmä on esitetty suunnitteluohjeessa RIL 202-2011 ja se sopii ensisijaisesti erillispilareiden laskentaan. Menetelmää voidaan kuitenkin käyt-tää myös kehäpilareiden laskentaan, jos pilareiden kaarevuudet arvioidaan erikseen jo-kaisessa kehän pilarissa.

Epäkeskisyys muodostuu kaavan 13 mukaisesti pilarin kuormien alkuepäkeskisyystä e_0 , lisäepäkeskisyystä e_i ja tapauskohtaisesti toisen kertaluvun rasituksen aiheutta-masta lisäepäkeskisyystä e_2 .

(13)

$$e_d = e_0 + e_i + e_2$$

Alkuepäkeskisyys eli ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyys e_0 muodostuu pilarille ylä-puolisilta rakenteilta välittyvistä kuormista ja mahdollisista vaakakuormista. Kyseinen kuormituksista aiheutuva epäkeskisyys arvo lasketaan kaavalla 14.

(14)

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Symmetrisesti raudoitetuissa pilareissa laskentapäkeskisyys e_d arvolle lasketaan euro-koodin ohjeiden mukaan minimiarvo kaavalla 15.

(15)

$$e_0 = \max\left\{\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right\}$$

, jossa h = betonipoikkileikkauksen pidempi sivumitta

Lisäepäkeskisyyden arvo e_i voidaan laskea yksinkertaistetulla kaavalla 16. Epäkeskisyyys kattaa mittaepätarkkuuksien vaikutuksen mitoituksessa. Kaavaa 16 voidaan käyttää tilanteissa, kun lasketaan jäykistetyin järjestelmän erillisten pilareiden epäkeskisyyttä.

(16)

$$e_i = \frac{l_0}{400}$$

l_0 = rakenneosan nurjahduspituus

Toisen kertaluvun vaikutuksista johtuva taipuma e_2 tulee huomioida teräsbetonipilarin mitoituksessa, jos pilari todetaan hoikaksi rakenteeksi hoikkuuden arvon ylittäessä hoikkuuden raja-arvon. Toisen kertaluvun vaikutukset huomioiva epäkeskisyyys e_2 voidaan selvittää pilarille nimellisen kaarevuuden menetelmän mukaisesti. Seuraavissa laskenta-kaavoista oletuksena on, että pilarin dimensiot ja pilariraudoitus ovat symmetrisiä. (Pilariden mitoitusvoimasuuret SFS-EN 1992-1-1 mukaan. 13 (c) Matti V. LESKELÄ 28.2.2010)

(17)

$$e_2 = \frac{1 \cdot l_0^2}{r \cdot c}$$

, jossa $\frac{1}{r}$ = nimellinen kaarevuus pilarin eniten plastisoituvassa kohdassa

c = jakaja, joka riippuu kaarevuuden plastisesta jakaantumismuodosta.

l_0 = pilarin nurjahduspituus

Poikkileikkauksen ollessa muuttumaton pilarin pituudella, voidaan jakajan c arvona käyttää varmalla puolella olevaa yksinkertaistusta

(18)

$$c = 10$$

Pilarin nimellinen kaarevuus lasketaan kaavalla 19.

(19)

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

Nimellisen kaarevuuden laskennassa käytetty referenssikaarevuus $1/r_0$ on määritelty kaavan 20 mukaisesti.

(20)

$$\frac{1}{r_0} = \frac{f_{yd}/E_s}{(0,45 \cdot d)}$$

Kaavojen 18, 19 ja 20 avulla voidaan johtaa toisen kertaluvun vaikutuksista aiheutuvalle taipumalle e_2 kaava 21.

(21)

$$e_2 = \frac{K_r \cdot K_\varphi \cdot f_{yd} \cdot l_0^2}{4,5 \cdot d \cdot E_s}$$

, jossa K_r = normaalivoiman suuruuden huomioiva korjauskerroin, jonka varmalle puolelle valittu arvo on 1
 K_φ = betonin virumisen huomioiva kerroin
 f_{yd} = teräksen laskentalujuus
 l_0 = pilarin nurjahduspituus
 d = poikkileikkauksen tehollinen korkeus
 E_s = betoniterästen kimmokerroin 200 GPa

Betonin virumisen huomioiva kerroin K_φ lasketaan kaavalla 22.

(22)

$$K_\varphi = 1 + \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} \right) \cdot \varphi_{ef}$$

, jossa f_{ck} = betonin puristuslujuuden ominaisarvo
 λ = hoikkuusluku
 φ_{ef} = tehollinen virumaluku, jonka arvona voidaan useimmiten käyttää 1,5

Rungon jäykistävinä osina toimiville pilareille mittaepätarkkuuksista johtuvan epäkeskisyyden arvon tutkiminen vaatii erityistarkastelua. Runkoa jäykistävässä pilareissa mittaepätarkkuudet esitetään vinouden θ_i avulla.

(23)

$$\theta_i = \theta_o \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m$$

, jossa

θ_o = epätarkkuuden perusarvo 1/200

α_h = pituuteen tai rakennuksen korkeuteen perustuva pienennyskerroin

α_m = jäykistävien rakennusosien määrään perustuva pienennyskerroin, jonka varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1

Kun lasketaan rakennuksen runkoa jäykistävää pilarielementtiä ja tarkastellaan mitta-epätarkkuuksien vaikutusta vain pilarin mitoituksen kannalta, kaavassa 23 esiintyvä pienennyskerroin lasketaan kaavan 24 mukaisesti.

(24)

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

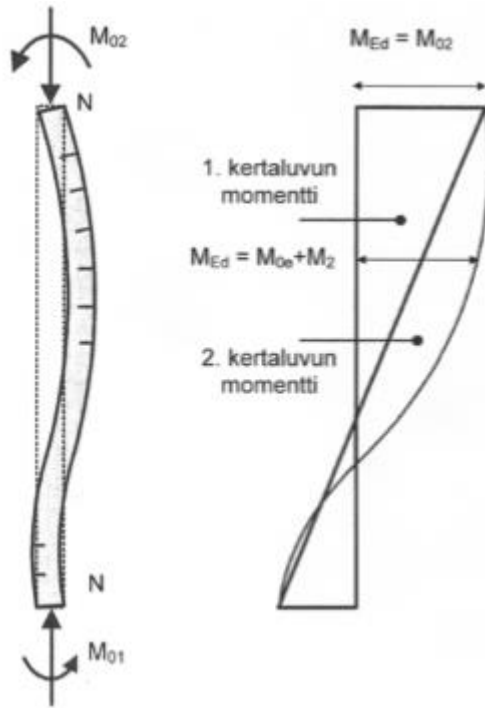
Vinoudesta riippuvainen ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyyys lasketaan kaavalla 25.

(25)

$$e_i = (\theta_i \cdot l_0)/2$$

5.2 Mitoitustarkastelu

Pilari mitoitetaan yleisesti normaalivoimalle ja taivutusmomentille. Pilareissa vaikuttaa tavallisesti puristava normaalivoima N_d . Lisäksi pilarit kuormittuvat normaalivoiman aiheuttamasta tai vaakasuuntaisten voimien aiheuttamasta momentista. Pilarin päissä vaikuttavista momenteista itseisarvoltaan suurempaa momenttia merkitään $M_{2,end}$ ja itseisarvoltaan pienempää $M_{1,end}$. Kyseisissä momenteissa ei ole otettu huomioon pilarin epätarkkuuksien vaikutusta. Jos momentit ovat erimerkkisiä, valitaan $M_{1,end}$ negatiiviseksi. (Betoniteollisuus Ry. 2010 Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 5. Pilarit. Helsinki)



KUVA 22. Pilarin mitoitusmomentit. (Betoniteollisuus Ry. 2010 Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 5. Pilarit. Helsinki)

Pilarin mitoittavan momentin laskentatapa riippuu mitoitusmenetelmästä. Nimelliseen kaarevuuteen perustuvassa menetelmässä laskenta suoritetaan alla esitettyjen lauseiden mukaisesti. Mitoituksessa hoikalle pilarille tulee huomioida toisen kertaluvun vaikutuksista aiheutuva kuormitus. Jos toisen kertaluvun vaikutuksia ei tarvitse huomioida, pilarille lasketaan ensimmäisen kertaluvun momentit kaavoista 26 ja 27.

(26)

$$M_{01} = M_{1,end} + e_i \cdot N_{Ed}$$

(27)

$$M_{02} = M_{2,end} + e_i \cdot N_{Ed}$$

Jos toisen kertaluvun vaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon jäykistämättömän järjestelmän pilarille, mitoitusmomentti on kaavan 28 mukainen.

(28)

$$M_{ed} = M_{02}$$

Jos pilarille ei muodostu merkittäviä momenteja, jotka voitaisiin ennalta nimetä, pilari täytyy mitoittaa vähintään normaalivoiman epäkeskisyydestä aiheutuvalle momentille eli minimimomentille (KAAVA 29). Pilaripoikkileikkausta ei saa koskaan mitoittaa pelkän normaalivoiman suhteen.

(29)

$$M_{Ed,min} = N_{Ed} \cdot e_0$$

Mitoittaessa pilaria toisen kertaluvun vaikutuksille, täytyy laskea toisen kertaluvun aiheuttama lisämomentti M_2 , joka aiheutuu pilarin lisätaipumaa vastaavasta epäkeskisyydestä e_2 .

(30)

$$M_2 = e_2 \cdot N_{Ed}$$

Jos jäykistetyn järjestelmän pilarin päissä vaikuttavat eri suuruiset momentit, lasketaan pilarille ensimmäisen asteen ekvivalentti mitoitusmomentti, jonka tulee olla aina vähintään 40 % momentin M_{02} suuruudesta.

(31)

$$M_{0e} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02}$$

Lasketaan pilarille aiheutuva momentin mitoitusarvo toisen kertaluvun rasitukset huomioidaessa. Mitoitusarvoksi valitaan isoin seuraavista arvoista.

(32)

$$M_{Ed} = \max\{M_{0e} + M_2; M_{02}\}$$

5.2.1 Raudoituksen määrittäminen

Pilarin raudoitus voidaan määrittää taulukkomitoituksena tai laskemalla mekaanisen raudoitussuhteen arvon ω avulla. Suorakaiteen muotoiselle pilarille suhteellinen normaali-voima lasketaan kaavan 33 mukaisesti ja ympyräpoikkileikkaukselle kaavan 34 mukaisesti.

(33)

$$v = n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

(34)

$$v = n = \frac{N_{Ed}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot f_{cd}}$$

Suorakaiteen muotoiselle pilarille suhteellinen momentti lasketaan kaavan 35 mukaisesti ja ympyräpoikkileikkaukselle kaavan 36 mukaisesti.

(35)

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

(36)

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot d \cdot f_{cd}}$$

Pilarin mekaaninen raudoitussuhde ω selvitetään yhteisvaikutusdiagrammista. Mekaanisen raudoitussuhteen avulla saadaan suorakaidepilarille selville pilaripoikkileikkauksessa vaadittava teräsmäärä kaavalla 37.

(37)

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

, jossa

ω = mekaaninen raudoitussuhde

b = pilarin lyhyempi sivumitta

h = pilarin pidempi sivumitta

f_{cd} = betonin laskentalujuus

f_{yd} = teräksen laskentalujuus

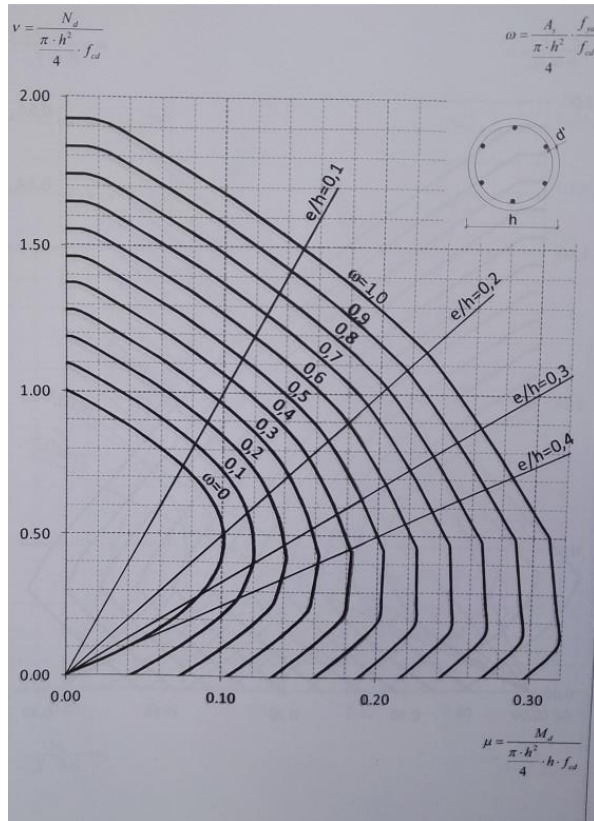
Pyöreille pilareille vaadittava teräspoikkileikkauksen pinta-ala saadaan mekaanisen raudoitussuhteen avulla laskettua kaavalla 38.

(38)

$$A_s = \frac{\omega \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f_{cd}}{4 \cdot f_{yd}}$$

Kun mekaaninen raudoitussuhde määritetään yhteisvaikutusdiagrammin avulla, pilarille lasketaan $\frac{d'}{h}$ suhdeluku, jossa d' on raudoituksen keskiöetäisyys betonipintaan ja h on pilarin poikkileikkauksen korkeus. Pyöreille pilareille h :n arvona käytetään pilarin halkaisijaa.

Suhdeluvun $\frac{d'}{h}$ avulla valitaan oikea mitoitusdiagrammi raudoitussuhteen valintaan. Suhteellisen normaalivoiman ja suhteellisen momentin avulla diagrammista pystytään määrittämään pilarin mekaaninen raudoitussuhde ja lopulta tarvittava teräsmäärä. Kuvassa 23 on esitetty pyöreän pilarin yhteisvaikutusdiagrammi, kun $\frac{d'}{h}$ on 0,10.



KUVA 23. Pyöreän pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi $d'/h = 0,10$ (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitte-luohje. Helsinki.)

5.2.2 Pääraudoitus

Pilarin pääraudoituksen terästen halkaisijan tulee olla vähintään 8 mm. Pääraudoituksena käytetään yleensä teräslaatua A500HW tai B500B. Pääraudoituksen poikkileikkaukselle on asetettu vähimmäisvaatimus. Poikkileikkauksessa käytettävä pääraudoituksen vähimmäispinta-ala on suurempi kaavan 39 mukaisista pinta-aloista.

(39)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 \cdot A_c \right\}$$

Pilarin pääraudoitukselle on määrätty pilaripoikkileikkauksen enimmäisala, jotta vältetään pilarin yliraidoittamiselta. Pilaripoikkileikkauksen raudoituksen sallittu enimmäisala saadaan kaavalla 40:

$$A_{s,max} = 0,06 \cdot A_c \quad (40)$$

Pilareihin, joiden poikkileikkaus on monikulmion muotoinen, sijoitetaan ainakin yksi tanko jokaiseen kulmaan. Pyöreään pilariin sijoitetaan vähintään kuusi päätankoa. Pilarille määritelty teräsmäärä A_s tulee sijoittaa pilarin molemmille taivutetun suunnan sivuille puoliksi.

Pilarin pääraudoituksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon raudoituksen ankkurointi-vaatimukset betoniin. Pääraudoituksen tulee ankkuroitua betoniin riittävästi, jotta varmistetaan voimien välittymisestä betoniin ilman halkeilua tai lohkeilua. Riittävä raudoituksen ankkuroituminen varmistetaan pilarin betonipeitteen vähimmäisarvon avulla ja riittäväällä raudoitustankojen vapaalla välimatkalla. Raudoituksen tartunnan vaatima betonipeitteen vähimmäisarvon määritetään kaavan 41 mukaan. Pääterästen minimi vapaaväli a_{min} lasketaan kaavan 42 mukaisesti.

$$c_{min,b} = \max(\phi_{päätanko} - \phi_{haka} ; \phi_{haka}) \quad (41)$$

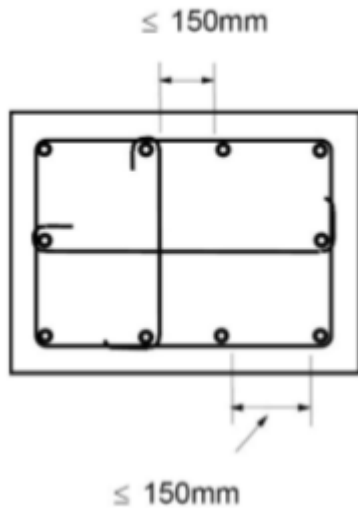
$$a_{min} = \max \left(\begin{array}{c} k_1 \cdot \phi_{päätanko} \\ d_g + k_2 \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right) \quad (42)$$

, jossa $k_1 = 1$ eurokoodin EC2 suositusarvon mukaisesti
 $k_2 = 5$ eurokoodin EC2 suositusarvon mukaisesti
 $d_g =$ kiviaineksen suurin raekoko

5.2.3 Hakaraidoitus

Pilareille määritetään aina pääraudoituksen lisäksi hakaraidoitus. Eurokoodissa EN 1992-1-1 kohdassa 9.5.3(3) on määrätty, että hakojen poikkileikkauksen on oltava vähintään 6 mm tai neljäsosa päätankojen halkaisijasta. Jokainen poikkileikkauksen nurkkaan

sijoitettu päätanko tulee olla sidottuna haoilla. Myös muut pääraudoitustangot tulee sijoittaa siten, että ne ovat vähintään 150 mm etäisyydellä haoilla sidotuista tangoista (KUVA 24).



KUVA 24. Hakojen sijoittelu pilaripoikkileikkauksessa (Niemi. J. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodin mukaan.2018)

Hakojen jakoväliksi valitaan kaavan 43 mukaisesti pienin seuraavista:

(43)

$$k k_{haka} = \min\{ 15 \cdot \varnothing_{\text{pätanko}}; b; h; 400 \text{ mm} \}$$

, jossa \varnothing = päätankojen halkaisija

b tai h = pilarin pienin sivumitta

Pilarin päissä matkalla d tai h hakojen jakoväliä pienennetään kertoimella 0,6. Myös yli 14 mm halkaisijaltaan olevien päätankojen limitysjatkoskohdissa hakojen valittua jakoväliä tihennetään kertoimella 0,6. (K.Söderlund. 2011. Helsinki. RIL 202-2011, Betonirakenteiden suunnitteluohje)

5.3 Pilarin mitoitus vinolle taivutukselle

Pilari täytyy mitoittaa vinolle taivutukselle, jos se on rasiitettuna kahdessa pääsuunnassa taivutukselle. Mitoituksen menetelmänä käytetään yksinkertaistettua menetelmää EN-1992-1-1 kohdan 5.8.6 mukaisesti. Neliöpoikkileikkauksissa tarkastelu täytyy suorittaa

pilarin poikkileikkauksen pääsuunnissa y ja z. Ympyräpoikkileikkauksille vinoa taivutusta ei tarkastella, vaan eri suunnissa vaikuttavat taivutusrasitukset yhdistetään taivutusvoiman resultantiksi.

Suorakaidepilarille tulee määrittää normaalivoiman epäkeskisyyden molemmilla taivutettujen akselien suunnassa kaavojen 44 ja 45 mukaisesti.

(44)

$$e_z = \frac{M_{Edy}}{N_{Ed}}$$

(45)

$$e_y = \frac{M_{Edz}}{N_{Ed}}$$

, jossa M_{Edy} = pilarin mitoitusmomentti y-akselin suunnassa

M_{Edz} = pilarin mitoitusmomentti z-akselin suunnassa

N_{Ed} = pilarin normaalivoiman mitoitusarvo

Vastaavasti pilarin hoikkuusluvut tulee määrittää molempien taivutettujen akselien suhteen.

(46)

$$\lambda_z = \frac{l_0}{i_z}$$

(47)

$$\lambda_y = \frac{l_0}{i_y}$$

, jossa i_z = pilarin poikkileikkauksen jäyhyyssäde z-akselin suunnassa

i_y = pilarin poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suunnassa

Tarkastetaan täyttävätkö hoikkuudet pilarin vinon taivutuksen mitoituksessa esitetyt ehdot 48 ja 49.

(48)

$$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2$$

(49)

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2$$

Lisäksi täytyy tarkistaa, toteutuuko toinen tai molemmat pilarin suhteellisille epäkeskisyyksille asetetuista ehdoista.

(50)

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} \leq 0,2$$

(51)

$$\frac{e_z/b_{eq}}{e_y/h_{eq}} \leq 0,2$$

, jossa $\frac{e_y}{h_{eq}}$ ja $\frac{e_z}{b_{eq}}$ ovat epäkeskisyyksien suhteita poikkileikkauksen leveyteen tarkastellun akselin suunnassa.

Jos hoikkuudelle asetetut ehdot 48 ja 49 toteutuvat ja epäkeskisyyksien suhteesta (50 tai 51) vähintään toinen ehto toteutuu, voidaan pilarin todeta kestävä vinon taivutuksen aiheuttamat rasiutukset.

Jos ehdot eivät toteudu, täytyy pilarille suorittaa tarkastelu kaavan 52 mukaisesti.

(52)

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a \leq 1$$

Laskentaa varten täytyy selvittää eksponentin a arvo normaalivoiman mitoitusarvon N_{Ed} ja poikkileikkauksen puristuskestävyyden N_{Rd} suhteen avulla.

TAULUKKO 11. Vinon taivutuksen laskennan eksponentin a arvot (Suomen Standardoimisliitto SFS. EN-1992-1-1)

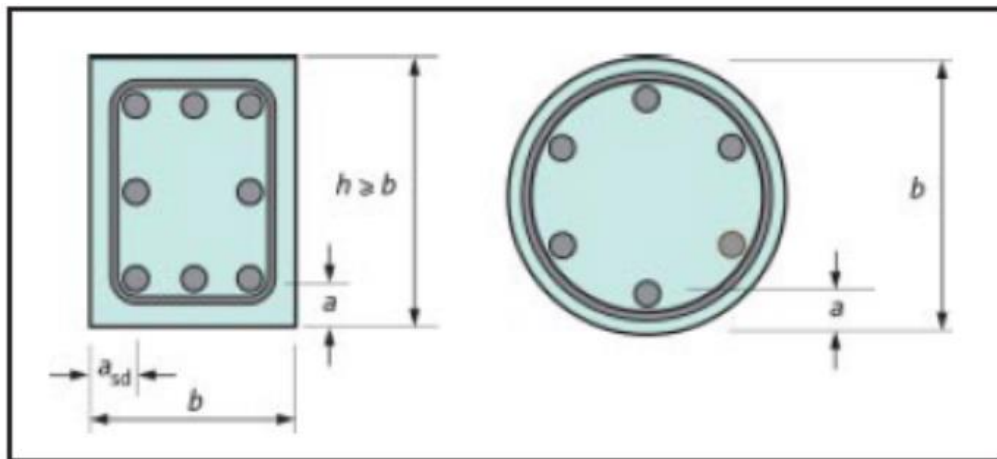
N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
$a =$	1,0	1,5	2,0

5.4 Pilarin palomitoitus

Rakenteen tulee palotilanteessa täyttää sille määrätty ominaisuudet suunnittelun ajan veran. Luokiteltuja ominaisuuksia ovat mekaaninen kestävyys kantavuuden kannalta (R), tiiveys (E) ja eristävyys (I). Pilarielementin palomitoitus voidaan suorittaa eurokoodin EN 1992-1-2 ohjeiden mukaan taulukkomitoituksena. Taulukkomitoitus perustuu pilarielementin pääraudoituksen keskiöetäisyyteen a , joka ilmoitetaan keskiöetäisyyden nimellisarvona ilman betonipeitteen toleranssivaraa. Keskiöetäisyys a on pääraudoitustangon keskilinjan ja rakennusosan pinnan välinen etäisyys. Palomitoitus suoritetaan kaavan 53 mukaisesti jäykistetyille pilareille. (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementti-suunnittelu.fi/>. Luettu 13.3.2018)

(53)

$$a = c_{nom} + \phi_{haka} + \frac{\phi_{päätanko}}{2} \geq a_{vaadittava}$$



KUVA 25. Pilaripoikkileikkauksien palomitoituksessa käytetyt arvot (Betoniteollisuus Ry. Betonirakenteiden mitoitus eurokoodin mukaan. Osa 2. Pilarit. <http://www.eurocodes.fi>. Luettu 2.3.2018)

Mitoitustaulukon käyttöä varten täytyy selvittää pilarin hyväksikäyttöaste palotilanteessa. Palotilanteen hyväksikäyttöasteen μ_{fi} saa laskettua kaavalla 54. Varmalla puolella olevana palotilanteen hyväksikäyttöasteena voidaan aina käyttää arvoa 0,7.

(54)

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$$

, jossa $N_{Ed,fi}$ = normaalivoima mitoitusarvo palotilanteessa
 N_{Rd} = pilarin normaalivoiman kestävyuden mitoitusarvo normaalilämpötilassa

TAULUKKO 12. Eurokoodin 1992-1-2 pilareiden palomitoitustaulukko jäykille pilarille

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

**
Vähintään 8 tankoa
Jännitetyillä pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan kohdan 5.2(5) mukaisesti.

Taulukon palonkestävyydelle osoitetut arvot voidaan katsoa riittäviksi, kun niitä käytetään pääasiallisesti puristuksen alaisten teräsbetonipilareiden palomitoitukseen. Lisäksi taulukoitujen arvojen voimassaoloalue rajoittuu tiettyihin ehtoihin. Taulukon arvoja voidaan käyttää, kun pilarin nurjahduspituus palotilanteessa $l_{0,fi}$ on alle kolme metriä (KAAVA 55). Pilarin nurjahduspituuden arvona palotilanteessa voidaan pitää 50 % pilarin todellisesta pituudesta rakennuksen välikerroksissa ja 50-70 % ylimmän kerroksen pilarille.

(55)

$$l_{0,fi} \leq 3 m$$

Ehtona on myös, että ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyyden arvo palotilanteessa täytyy olla pienempi kuin 40 % poikkileikkauksen korkeudesta (KAAVA 56):

(56)

$$e = \frac{M_{0,Ed,fi}}{N_{0,Ed,fi}} \leq 0,4 \cdot h$$

Kolmas ehto on, että raudoituksen määrä pilaripoikkileikkauksessa on rajoitettu kaavan 57 mukaisesti.

(57)

$$A_s < 0,04 \cdot A_c$$

, jossa A_c = Betonin poikkileikkauksen pinta-ala

Mastopilareille palomitoitus tulee suorittaa erillisellä mastopilareille tarkoitetuilla mitoitusdiagrammeilla, koska eurokoodissa EN-1992-1-2 esitetty pilarin palomitoitusmenetelmä on rajattu koskemaan vain jäykistettyjä pilareita. Mastopilarin palomitoitus suoritetaan DI Mikko Salmisen diplomityön ”Teräsbetonisen mastopilarin palomitoitusohje” mukaisesti. (Salminen. M. 2008. <http://www.elementtisuunnittelu-.fi>. Luettu 13.3. 2018)

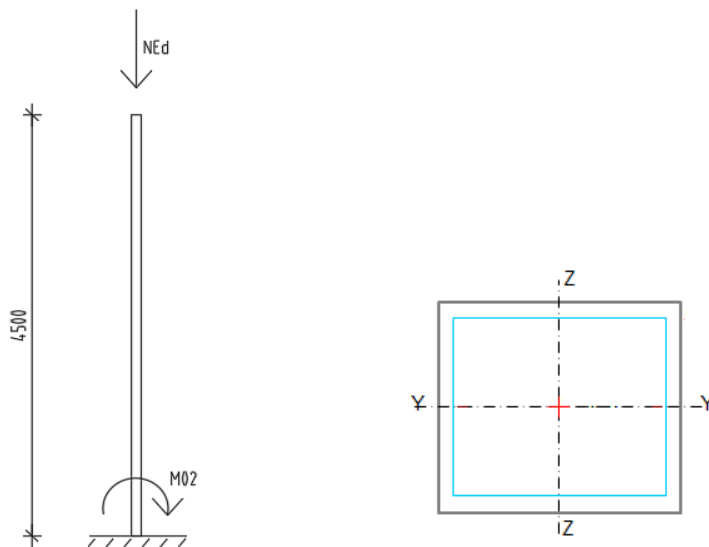
TAULUKKO 13. Mastopilarin palomitoitus R60 luokassa

R 60	μ_n				
a=50 mm	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
380x380	OK	OK	OK, jos 1. $\omega < 0,65$ ja $12 < T < 32$ tai 2. $0,10 < \omega < 0,35$ tai 3. $e_p > 180$ mm	OK, jos 1. $0,10 < \omega < 0,30$ ja $e_p > 100$ mm tai 2. $\omega < 0,50$ ja $e_p > 150$ mm tai 3. $\omega < 0,80$ ja $e_p > 250$ mm tai 4. $\omega < 1,05$ ja $e_p > 350$ mm tai 5. $e_p > 550$ mm	OK, jos 1. $0,10 < \omega < 0,25$ ja $e_p > 200$ mm tai 2. $\omega < 0,50$ ja $e_p > 300$ mm tai 3. $\omega < 0,80$ ja $e_p > 500$ mm tai 4. $\omega < 1,05$ ja $e_p > 700$ mm tai 5. $\omega < 1,25$ ja $e_p > 850$ mm
480x480	OK	OK	OK	OK, jos 1. $0,10 < \omega < 0,30$ ja $e_p > 40$ mm tai 2. $0,05 < \omega < 0,60$ ja $e_p > 80$ mm tai 3. $0,05 < \omega < 0,80$ ja $e_p > 140$ mm tai 4. $e_p > 290$ mm	OK, jos 1. $0,10 < \omega < 0,30$ ja $e_p > 150$ mm tai 2. $0,05 < \omega < 0,50$ ja $e_p > 200$ mm tai 3. $\omega < 0,65$ ja $e_p > 300$ mm tai 4. $\omega < 0,80$ ja $e_p > 400$ mm tai 5. $\omega < 1,30$ ja $e_p > 650$ mm
580x580	OK	OK	OK	OK, jos 1. $\omega < 0,55$ tai 2. $T < 32$ mm tai 3. $e_p > 80$ mm	OK, jos 1. $\omega < 0,25$ ja $e_p > 80$ mm tai 2. $\omega < 0,35$ ja $e_p > 140$ mm tai 3. $\omega < 0,45$ ja $e_p > 200$ mm tai 4. $\omega < 0,55$ ja $e_p > 250$ mm tai 5. $\omega < 0,85$ ja $e_p > 320$ mm
680x680	OK	OK	OK	OK	OK, jos 1. $\omega < 0,32$ tai 2. $T < 25$ mm tai 3. $\omega < 0,40$ ja $e_p > 60$ mm tai 4. $\omega < 0,62$ ja $e_p > 170$ mm
480x500	OK	OK	OK	OK, jos 1. $\omega < 0,25$ tai 2. $e_p > 160$ mm tai 3. $\omega < 1,00$ ja $e_p > 80$ mm	OK, jos 1. $\omega < 0,30$ ja $e_p > 180$ mm tai 2. $\omega < 0,50$ ja $e_p > 300$ mm tai 3. $\omega < 0,80$ ja $e_p > 390$ mm tai 4. $e_p > 650$ mm
480x680	OK	OK	OK	OK, jos 1. $\omega < 0,35$ tai 2. $T < 25$ mm tai 3. $\omega < 0,45$ ja $e_p > 50$ mm tai 4. $\omega < 0,90$ ja $e_p > 130$ mm tai 5. $e_p > 160$ mm	OK, jos 1. $\omega < 0,25$ ja $e_p > 110$ mm tai 2. $\omega < 0,30$ ja $e_p > 160$ mm tai 3. $\omega < 0,45$ ja $e_p > 240$ mm tai 4. $\omega < 0,85$ ja $e_p > 500$ mm tai 5. $e_p > 650$ mm

5.5 Pilarin laskentaesimerkki

Mitoitetaan sivusiirtyvän kehän elementtirakenteinen suorakaidepilari y-akselin suuntaiselle taivutukselle. Pituudeltaan 4,5 metriä pitkä pilari on alapäästään jäykästi kiinnitetty perustuksiin pilarikengällä ja yläpää kannattelee kehän palkkia. Palkilta välittyy pilarille keskeinen normaalivoima. Kuormitusyhdistelyjen tarkastelussa ollaan todettu, että mitoitettavalle pilarille muodostuu määräävässä kuormitustapauksessa 920 kN keskeistä puristavaa pystysuuntaista kuormitusta. Lisäksi tuulen vaikutuksesta pilarin alapäähän muodostuu 145 kNm momentti.

Pilarin lähtötiedoista selvitetään, että pilari on kuivissa sisätiloissa. Pilarille on määritelty suunnitelluksi käyttöiäksi 50 vuotta. Rasitusluokaksi määräytyy ympäristöolosuhteiden perusteella XC1. Betonin lujuusluokaksi valitaan C40/50 ja raudotteiden tyyppiä B500B. Lähtötiedoissa on selvitetty, että pilari valmistetaan elementtitehtaalla, joka täyttää tiukennetut laadunvalvonnan vaatimukset. Pilarin toleranssiluokkana käytetään elementeille määriteltyjä normaaliluokan N toleransseja, joka vastaa toleranssiluokkaa 2. Materiaalin osavarmuuskertoimina voidaan käyttää pienennettyjä kertoimia.



KUVA 26. Mitoituksen lähtötilanne ja pilarin poikkileikkaus

Määritetään betonin laskentalujuus

(58)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{40 \text{ MPa}}{1,35} = 25,1 \text{ MPa}$$

Määritetään teräksen laskentalujuus

(59)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,1} = 454,5 \text{ MPa}$$

Määritetään betonipeitteen paksuuden arvo ympäristöolosuhteiden aiheuttamien vaatimusten mukaisesti.

(60)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

Määritetään pilarin nurjahduspituus. Nurjahduskertoimen arvoksi valitaan 2,18, koska pilari toimii mastona tarkasteltavassa suunnassa.

(61)

$$l_0 = 2,18 \cdot 4500 \text{ mm} = 9810 \text{ mm}$$

Määritetään pilarin alustava koko hoikkeudelle määritetyn maksimiarvon avulla.

(62)

$$h = \frac{3,46 \cdot l_0}{140} = \frac{3,46 \cdot 9810 \text{ mm}}{140} = 243 \text{ mm} \approx 280 \text{ mm}$$

Valitaan pilarin kooksi varmalla puolella oleva poikkileikkaus 380 mm x 480 mm, koska pienillä pilaripoikkileikkauksilla terästen mahtuminen pilariin voi muodostua ongelmaksi. Pilarin taivutetun suuntaiseksi mitaksi valitaan 480 mm taivutuskapasiteetin kasvattamiseksi. Valitulla pilarin koolla betonipoikkileikkauksen pinta-ala on 182400 mm².

Lasketaan pilarille ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyys vinouden avulla, koska rakenne on jäykistävän kehän osa. Pienennyskertoimen α_m arvoksi valitaan yksi, koska tarkastellaan yksittäistä erillispilaria.

(63)

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{l}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_n \leq 1 = \frac{2}{\sqrt{4,5 \text{ m}}} = 0,94$$

(64)

$$\theta_i = \theta_o + \alpha_n + \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,94 \cdot 1 = 0,0047$$

(65)

$$e_i = (\theta_i \cdot l_0)/2 = (0,0047 \cdot 9810 \text{ mm})/2 = 23 \text{ mm}$$

Ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyydeksi valitaan 23 mm, joka on isompi kuin epäkeskisyydelle asetettu minimiarvo.

Lasketaan pilarille ensimmäisen kertaluvun päätemomentti.

$$M_{02} = M_{2end} + e_i \cdot N_{Ed} = 145 \text{ kNm} + 0,023 \text{ m} \cdot 920 \text{ kN} = 166,2 \text{ kNm} = M_{0Ed} \quad (66)$$

Lasketaan pilarin hoikkeuden arvo, jonka täytyy olla alle arvon 140.

$$\lambda = \frac{3,46 \cdot l_0}{h} = \frac{3,46 \cdot 9810 \text{ mm}}{480 \text{ mm}} = 70,7 \leq 140 \quad (67)$$

Lasketaan pilarin suhteellinen normaalivoima rajahoikkeuden laskentaa varten.

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{920 \cdot 10^3 \text{ N}}{182400 \text{ mm}^2 \cdot 25,1 \text{ N/mm}^2} = 0,20 \quad (68)$$

Lasketaan pilarin hoikkeuden raja-arvo käyttäen eurokoodin määrittelemien kertoimien arvoja.

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,20}} = 24,1 \quad (69)$$

Pilari todetaan hoikaksi, koska hoikkeuden arvo ylittää hoikkeuden raja-arvon. Toisen kertaluvun vaikutuksista aiheutuvat rasitukset tulee huomioida hoikalle pilarille.

$$70,7 = \lambda > \lambda_{lim} = 24,1 \quad (70)$$

Määritellään toisen kertaluvun laskentaa tarvittavat muuttujien arvot. Lasketaan ensin betonin virumisen huomioiva kerroin

$$K_{\varphi} = 1 + \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} \right) \cdot \varphi_{ef} = 1 + \left(0,35 + \frac{40 \frac{N}{mm^2}}{200} - \frac{70,7}{150} \right) \cdot 1,5 = 1,1$$

Määritetään pilaripoikkileikkauksen tehollinen korkeus. Laskentaa varten tulee arvioida alustavasti poikkileikkauksen pää- ja hakarautaus. Poikkileikkauksen tehollinen korkeus tulee arvioida hieman alakanttiin, jolloin ollaan mitoituksen kannalta varmalla puolella.

(72)

$$d = h - d'$$

$$d' = c_{nom} + \phi_{haka} + \frac{\phi_{päätanko}}{2} = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{16 \text{ mm}}{2} = 38 \text{ mm} \approx 40 \text{ mm}$$

$$d = 480 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 440 \text{ mm}$$

Määritetään toisen kertaluvun taipuma

(73)

$$e_2 = \frac{0,1 \cdot K_r \cdot K_{\varphi} \cdot f_{yd} \cdot I_0^2}{0,45 \cdot d \cdot E_s} = \frac{0,1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 454,5 \cdot (9810 \text{ mm})^2}{0,45 \cdot 440 \text{ mm} \cdot 200 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2} = 122 \text{ mm}$$

Lasketaan toisen kertaluvun taipumasta aiheutuva lisämomentti

(74)

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 920 \text{ kN} \cdot 0,122 \text{ m} = 120,0 \text{ kNm}$$

Lasketaan pilarin mitoittava momentti

(75)

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_{02} = 166,2 \text{ kNm} + 120,0 \text{ kNm} = 286,2 \text{ kNm}$$

Selvitetään pilarin mekaaninen raudoitussuhde. Laskentaa varten täytyy ensin määrittää suhteellisen momentin arvo. Suhteellisen normaalivoiman arvo määriteltiin jo aiemmin.

(76)

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{286,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{182400 \text{ mm}^2 \cdot 480 \text{ mm} \cdot 25,1 \text{ N/mm}^2} = 0,13$$

Määritetään pääraudoituksen keskilinjän syvyyden suhde poikkileikkauksen korkeuteen, jonka perusteella valitaan oikea yhteisvaikutusdiagrammi.

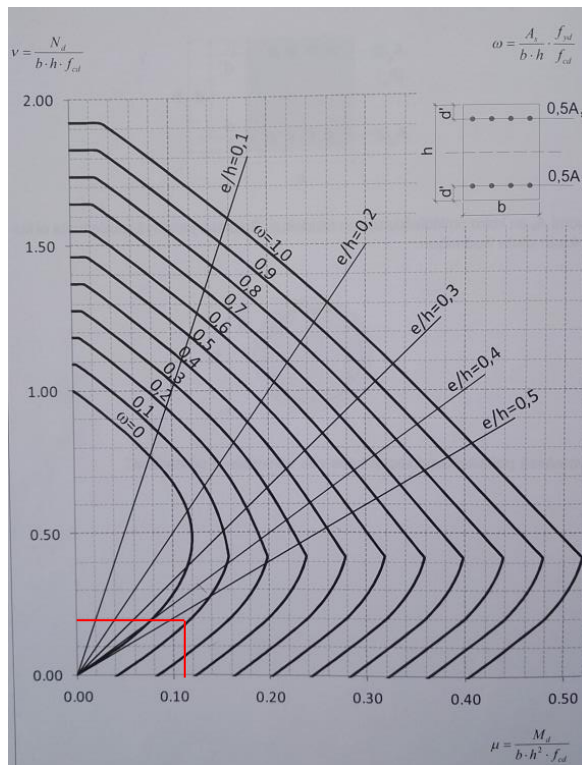
(77)

$$\frac{d'}{h} = \frac{40 \text{ mm}}{480 \text{ mm}} = 0,08 \approx 0,10$$

Yhteisvaikutusdiagrammin perusteella valitaan mekaanisen raudoitussuhteen arvoksi

(78)

$$\omega = 0,2$$



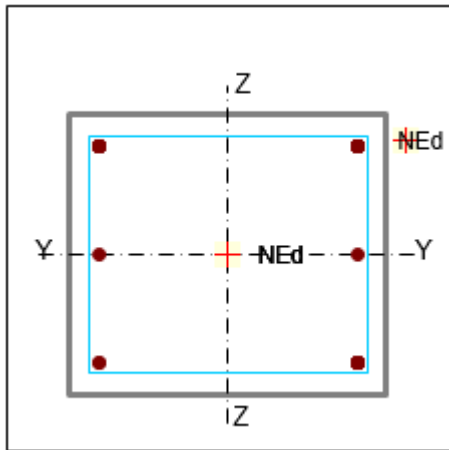
KUVA 27. Mekaanisen raudoitussuhteen määrittäminen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitteluohje. Helsinki.)

Lasketaan mitoituksen mukainen vaadittava teräsmäärä

(79)

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 380 \text{ mm} \cdot 480 \text{ mm} \cdot 25,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{454,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1007 \text{ mm}^2$$

Valitaan pilarin pystysuuntaiseksi raudoitukseksi 6 kertaa T16. Päätangot sijoitetaan ta-
san poikkileikkauksen molemmille taivutetuille sivuille eli molemmille y-akselin suun-
taisille sivuille sijoitetaan 3 T 16.



KUVA 28. Päätankojen sijainti poikkileikkauksessa.

Lasketaan momenttia välittävien päätankojen poikkipinta-ala valitulla pääraudoituksella. Toteutuneen raudoituksen poikkipinta-alan tulee olla suurempi kuin vaadittu raudoituk-
sen poikkipinta-ala.

(80)

$$A_{s,tot} = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot (16\text{mm})^2}{4} = 1206 \text{ mm}^2 > 1007 \text{ mm}^2 = A_s$$

Tarkistetaan poikkileikkaukselle määritetty minimiraudoitusehto

(81)

$$A_{s,min} = \max\left\{ \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} ; 0,002 \cdot A_c \right\}$$

$$A_{s,min,1} = \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,10 \cdot 920 \cdot 10^3 \text{ N}}{454,5 \text{ N/mm}^2} = 202 \text{ mm}^2$$

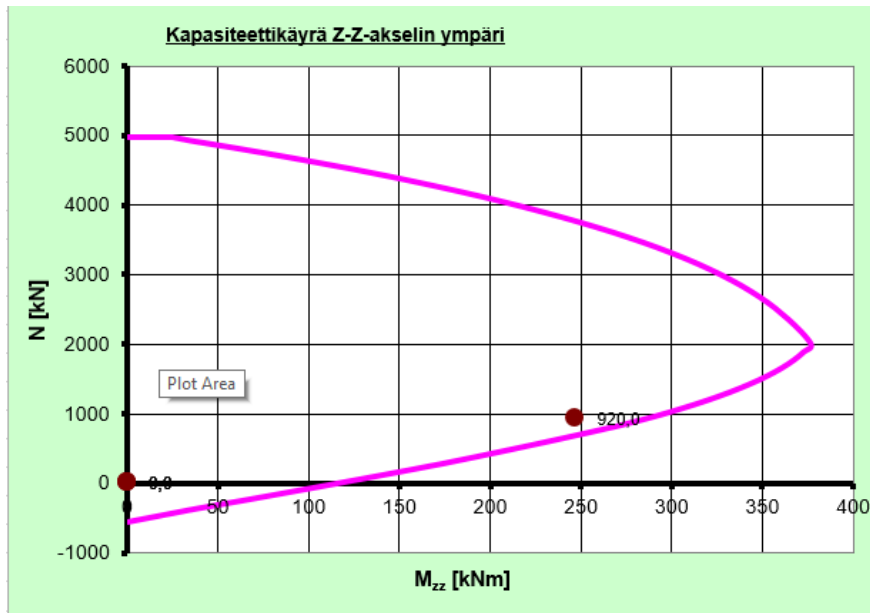
$$A_{s,min,2} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 182400 \text{ mm}^2 = 365 \text{ mm}^2$$

Minimiraudoitusehdon mukainen teräsmäärä 365 mm² on pienempi kuin pilarille laskettu teräsmäärä 1206 mm², joten minimiraudoitusehto täyttyy. Tarkistetaan vielä pilarin rau-
doituksen enimmäisala, jotta vältetään pilarin ylliraudoittamiselta.

(82)

$$A_{s,max} = 0,06 \cdot A_c = 0,06 \cdot 182400 \text{ mm}^2 = 10944 \text{ mm}^2$$

Huomataan, että pilarille määritetty teräsmäärä 1206 mm^2 on pienempi kuin sallittu enimmäisraudoitus 10944 mm^2 , joten pilari ei ole ylirauδοitettu.



KUVA 29. Pilarin kapasiteettikäyrä valitulla raudoituksella.

Mitoituksessa tulee huomata, että valittu päätankojen halkaisija kasvattaa tässä tapauksessa suojabetonipeitteen minimivaatimusehtoa pääterästen tartuntavaatimuksien kautta. Betonipeitteen arvo muutetaan tartuntavaatimuksien mukaiseksi.

(83)

$$c_{min} = \max\{c_{min,dur}; c_{min,b}; 10\text{mm}\} = \max\{10; 16; 10\} = 16 \text{ mm}$$

(84)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 \text{ mm} + 10 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$$

Valitaan pilarille hakarauδοitus. Määritetään hakarautojen poikkileikkaus ja hakajako.

(85)

$$\phi_{haka} = \max\left\{6 \text{ mm}; \frac{1}{4} \phi_{p\ddot{a}atanko}\right\} = \left\{6 \text{ mm}; \frac{16}{4} \text{ mm}\right\} = 6 \text{ mm}$$

(86)

$$k \setminus k = \min\{400 \text{ mm}; 15 \cdot \phi_{p\ddot{a}atanko}; h\}$$

$$k \setminus k = \min\{400 \text{ mm}; 240 \text{ mm}; 480 \text{ mm}\} = 240 \text{ mm}, \text{ valitaan } 225 \text{ mm}$$

Valitaan haotukseksi UH T6 K225. Pilarin ylä- ja alapäässä hakajako tulee tihentää 480 mm matkalla. Tihennettynä hakajako lasketaan

(87)

$$k \setminus k_{p\text{äät}} = 0,6 \cdot 225 \text{ mm} = 135 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Pilarin ylä- ja alapään tarvittava raudoitus tulee määrittää lisäksi liitosten vaatimuksien mukaiseksi. Lisäksi tulee huomioida jatkuvan sortuman estämiseksi määriteltyjen vaakasuuntaisten voimien kestävyys pilarin liitosalueiden raudoituksessa. Jatkuvan sortuman ja liitosten vaatimaa lisäraudoitusta ei tarkastella tässä laskuesimerkissä.

Tarkastellaan esimerkin pilarielementtiä vielä palonkestovaatimuksien kannalta. Kyseisessä pilarille lähtötietojen perusteella on määritelty paloluokaksi R60. Pilarin palomitoitus suoritetaan mastopilareille laaditun mitoitusaulukon mukaisesti.

Määritetään pilarin hyväksikäyttöaste palotilanteessa.

(88)

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed,fi}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{710 \cdot 10^3 \text{ N}}{25,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 182400 \text{ mm}^2} = 0,15$$

Mastopilarin palomitoitusaulukosta nähdään kohdasta R60 ja palotilanteen hyväksikäyttöasteen kohdasta 0,2, että pilarille ei ole asetettu erityisvaatimuksia palonkestovaatimuksesta johtuen. Mitoitusaulukko on laadittu pilareille oletuksella, että keskiöetäisyys a on 50 mm. Tämän vuoksi tarkasteltavan pilarin suojabetonipeitettä paksunnetaan, että saavutetaan mitoitusaulukon mukainen pääraudoituksen keskiöetäisyys.

(89)

$$a = c_{nom} + \phi_{haka} + \frac{\phi_{p\text{äätanko}}}{2} \geq a_{vaadittava}$$

$$a = 35 \text{ mm} + 6 \text{ mm} + \frac{16 \text{ mm}}{2} = 49 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} = a_{vaadittava}$$

6 LIITOKSET

Pilari-elementin liitokset muihin rakenteisiin tulee suunnitella kestäväksi pitkä- ja lyhytaikaiset kuormat, asennusaikaiset kuormitukset sekä mahdollisten onnettomuustilanteiden kuormitukset. Liitostyypit kannattaa kustannustehokkuuden ja yksinkertaistamisen vuoksi valita siten, että samaa liitosratkaisua voidaan samassa kohteessa käyttää mahdollisimman useassa tilanteessa.

6.1 Pilarin liitos perustuksiin

Pilarin liitos perustuksiin toteutetaan peruspulttien ja pilarikenkien avulla. Peruspultit valetaan perustuksiin oikeille paikoille ja pilari-elementti asennetaan elementtiasennuksen yhteydessä kiinni pultteihin. Pultit kiinnitetään pilarin pohjassa oleviin pilarikenkiin muttereilla. (Liite 5).

Pilarin liitos perustuksiin tulee mitoittaa vaakavoimalle, joka on suuruudeltaan 20 % pilarin normaalivoiman suuruudesta, mutta kuitenkin enintään 150 kN (KAAVA 90). Tällä varmistetaan liitoksen kestävyys yleisimpiä onnettomuuskuormia vastaan. (Betoni- normikortti 23. 2012. Helsinki)

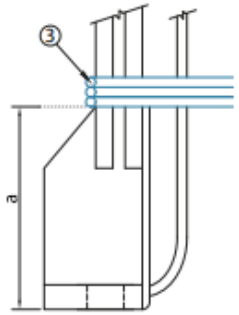
(90)

$$0,2 \cdot N_{Ed} \leq V_{Rd} \leq 150 \text{ kN}$$

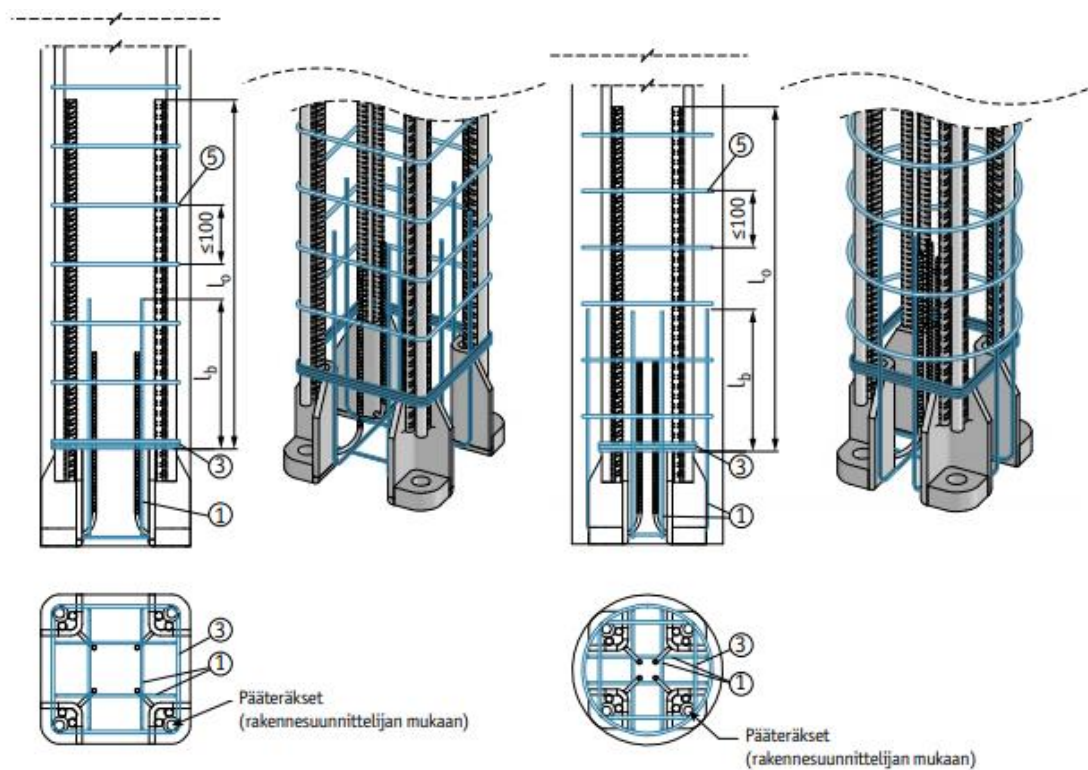
Pilarin liitos muihin rakenteisiin vaatii yleensä lisäraudoitusta liitoksen jatkosalueelle, jotta liitoksen välittämät voimat saadaan siirrettyä betonille ilman halkeilua (KUVA 30, KUVA 31). Valmisosia käyttäessä lisäraudoitus on määritelty valmistajan laatimassa teknisessä käyttöohjeessa.

	HPKM 16	HPKM 20	HPKM 24	HPKM 30	HPKM 39
U-haka	4 Ø 6	4 Ø 6	4 Ø 6	4 Ø 6	4 Ø 6
U-haka ①	2 Ø 6	2 Ø 6	2 Ø 6	2 Ø 6	2 Ø 6
Umpihaka ②	2 Ø 8	2 Ø 8	3 Ø 8	3 Ø 8	3 Ø 10
Umpihaka ③	2 Ø 8	2 Ø 8	3 Ø 8	3 Ø 8	3 Ø 10
Umpihaka ④	Ø 8	Ø 8	Ø 8	Ø 8	Ø 10
a ⑤	140	165	200	250	300
l_b	300	300	300	300	300

Jatkosalueella l_b olevan hakaraidoituksen pos. ⑤ suurin suositeltava hakaväli ≤ 100 mm standardin SFS EN 1992-1-1, kappaleiden 8.7.4 ja 9.5.3 mukaan (Kuva 8)



KUVA 30. Peikko HPKM- pilarikenkäliitoksen vaatima lisäraudoitus (Peikko Oy. 2018. Luettu 25.2.2018)



KUVA 31. Peikko HPKM-pilarikengän vaatima lisäraudoitusperiaate (Peikko Oy. 2018. Luettu 25.2.2018)

6.2 Pilarin liitos pilariin

Pilarin liitos pilariin toteutetaan usein pulttiliitoksena, jossa alemmassa pilarielementissä olevat jatkospultit liittyvät ylemmän pilarin pohjassa oleviin pilarikenkiin ja juotos vae-

taan umpeen. (Liite 6). Liitos toimii jäykkänä liitoksena ja välittää normaalivoimaa, leikkausvoimaa ja momenttia liittyvien elementtien välillä. Pilari-pilari jatkoksessa liitoksen vaakasuuntainen leikkauskapasiteetti tulee olla joka suunnassa vähintään 20 % liitoksen normaalivoimasta, mutta enintään 150 kN, jolloin varmistetaan riittävä kestävyys yleisimpiä onnettomuustilanteen kuormia vastaan. (Betoniteollisuus Ry. 2012. Betoninormikortti 23. Liitosten mitoitus. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 20.2.2018)

6.3 Pilarin liitos palkkiin

Pilarin ja palkin liitos välittää voimat vaakasuuntaisilta rakenteilta pystysuuntaisille pilareille. Liitos voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla riippuen pilarin sekä palkin tyypistä ja halutuista rakenneratkaisuista. Liitosta valitessa tulee rakennesuunnittelijan määrittää liitokseen kohdistuvat kuormitukset ja valita liitostyyppi, joka mahdollisimman toimivasti välittää kuormitukset palkilta pilarille. Liitoksen tulee kestää myös poikkeukselliset kuormitus- ja onnettomuuskuormitustilanteet sekä jatkuva sortuma tulee estää rakennuksessa. (Betoniteollisuus Ry. 2012. Betoninormikortti 23. Liitosten mitoitus. (<http://www.elementtisuunnittelu.fi/>). Luettu 20.2.2018)

6.3.1 Pilarin liitos palkkiin pulttiliitoksella

Pulttiliitoksen avulla voidaan toteuttaa pilarielementin liitos palkkiin. Liitoksessa palkki tukeutuu joko pilarikonsolin päälle (Liite 8) tai suoraan pilarin päälle (Liite 7). Standardi SFS-EN 1991-1-7 edellyttää, että pilarin ja palkin välinen liitos mitoitetaan kosteus- ja lämpöliikkeistä aiheutuville vaakakuormille. Palkin tukeutuminen pilarin toimii tappivaarnaliitoksena, joten tappiliitoksen leikkauskapasiteetti täytyy selvittää. Tappiliitoksen leikkauskestävyys V_{Rd} onnettomuustilanteessa lasketaan kaavan 91 mukaisesti.

(91)

$$V_{Rd} = \frac{1,2 \cdot \emptyset^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{yk}}}{\gamma_{c,acc}}$$

, jossa \emptyset = tapin halkaisija
 f_{ck} = elementin betonin ominaislujuus
 f_{yk} = tapin teräksen ominaislujuus

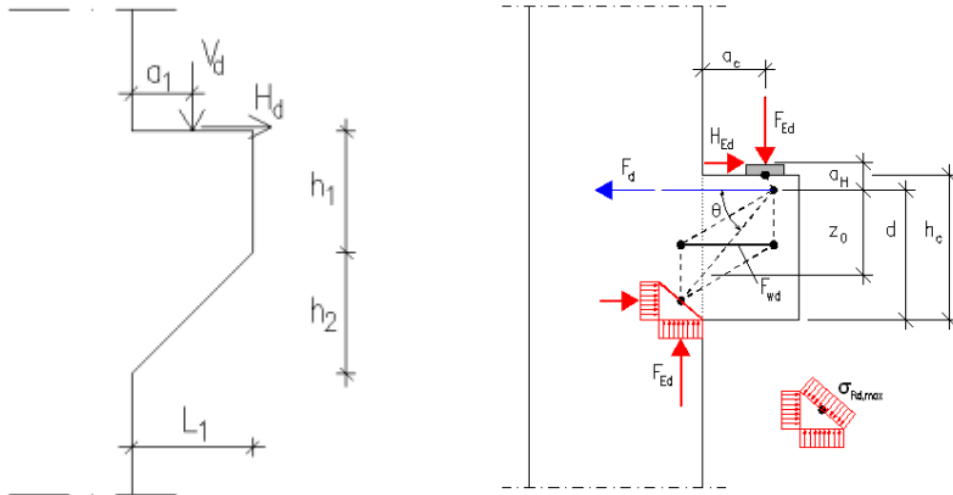
$\gamma_{c,acc} = 1,2 =$ betonin osavarmuusluku onnettomuuskuormitusyhdistelmille

TAULUKKO 14. Tappiliitoksen leikkauskapasiteetti onnettomuuskuormille (Betoniteollisuus Ry. 2012. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 2.3.2018)

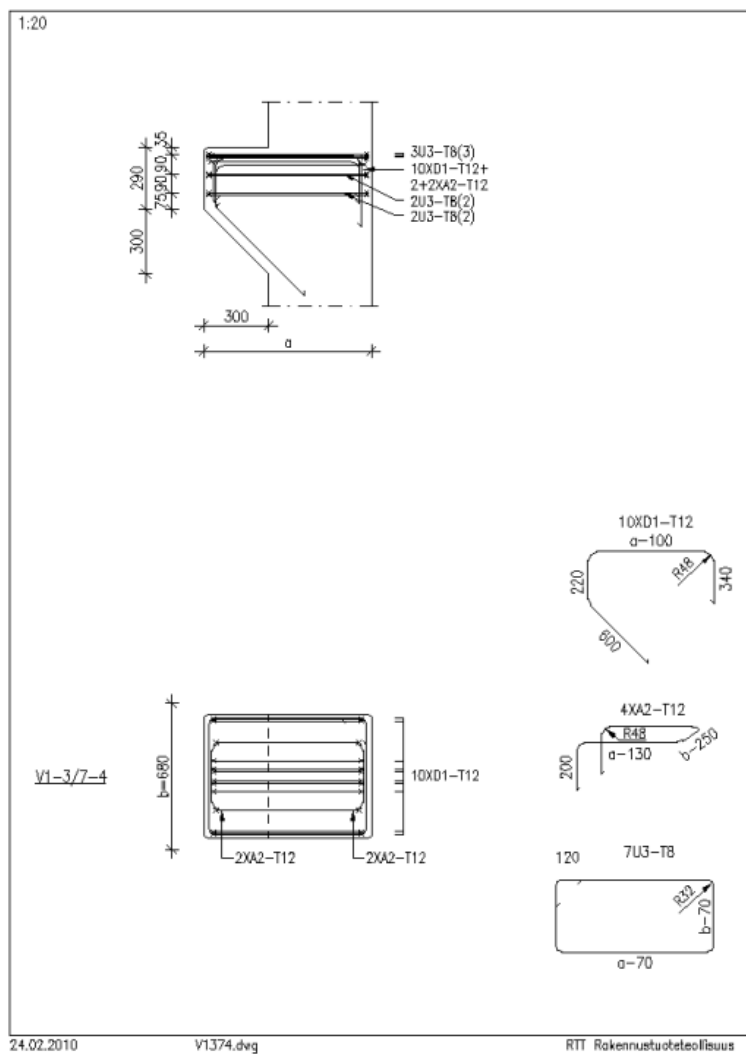
Elementin betonin lujuus	f_{ck} MPa	Tapin A 500 HW leikkauskestävyys V_{Ra} kN onnettomuuskuormille Tappi				
		T12	T16	T20	T25	T32
C20/25	20	14.4	25.6	40.0	62.5	102.4
C25/30	25	16.1	28.6	44.7	69.9	114.5
C30/37	30	17.6	31.4	49.0	76.5	125.4
C35/45	35	19.0	33.9	52.9	82.7	135.5
C40/50	40	20.4	36.2	56.6	88.4	144.8
C45/55	45	21.6	38.4	60.0	93.8	153.6
C50/60	50	22.8	40.5	63.2	98.8	161.9
C55/67	55	23.9	42.5	66.3	103.6	169.8
C60/75	60	24.9	44.3	69.3	108.3	177.4
C70/85	70	26.9	47.9	74.8	116.9	191.6
C80/95	80	28.8	51.2	80.0	125.0	204.8
C90/105	90	30.5	54.3	84.9	132.6	217.2

6.3.2 Betonisen ulokekonsolin rauditusperiaate

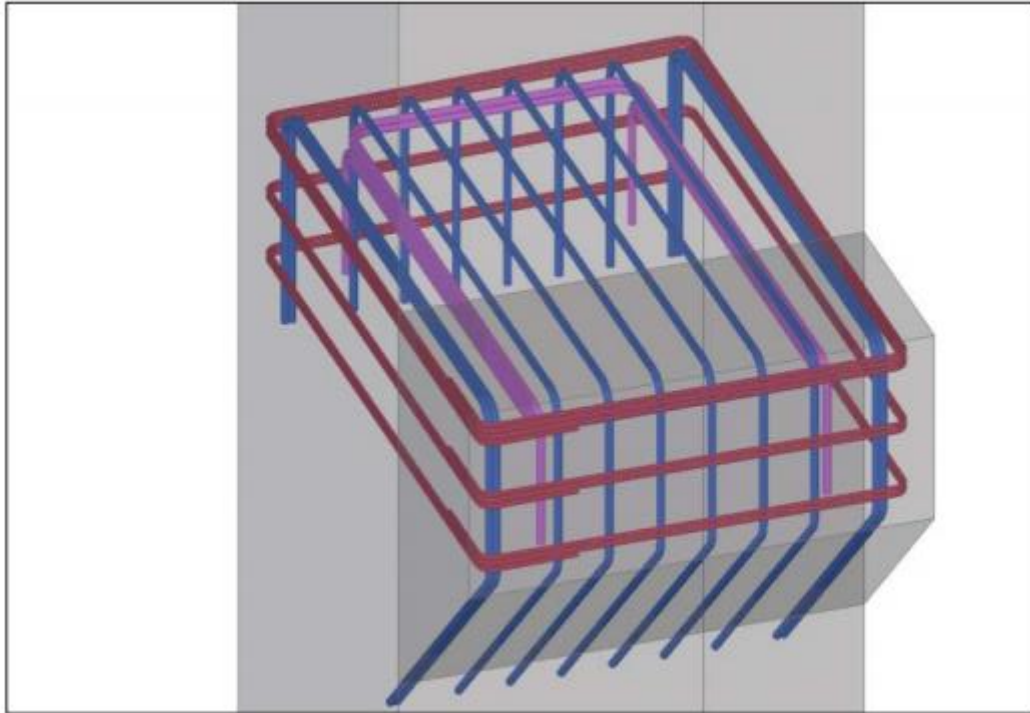
Ulokekonsoleiden voimat tulee määrittää tapauskohtaisesti ristikkomenetelmällä esimerkiksi FEM-laskentaohjelmalla. Mitoitus suoritetaan ristikkoanalogialla EC2:n mukaisesti. Konsolin mitoitus ristikkomenetelmällä ei tarkastella tässä opinnäytetyössä, mutta työssä esitellään Betoniteollisuus Ry:n luoma kapasiteettitaulukko vakiomittaisille ulokekonsoleille. Tavallisesti vakiomittaisissa betonisissa ulokekonsoleissa käytetään vakioituja rauditusratkaisuja. (Betoniteollisuus Ry. 10 Teräsbetonikonsolit. Helsinki. 2010). Kuvassa 33 ja 34 on esitetty vakiomittaiselle betonikonsolille Betoniteollisuus Ry:n määrittelemä vakiorauditus. Taulukossa 15 on esitetty tarkastellun vakiomittaisen vinon betonikonsolin kapasiteetti pystykuormalle ja vaakasuuntaiselle voimalle kuvan 33 mukaisella vakioraudoituksella.



KUVA 32. Vakiomittainen vino pilarikonsoli ja ulokekonsoleissa yleisesti vallitsevat jännitykset. (Betoniteollisuus Ry. 2010. Teräsbetonikonsolit. [www.elementtisuunnittelu .fi/](http://www.elementtisuunnittelu.fi/). Luettu 9.4.2018)



KUVA 33. Pilarin vinon ulokekonsolin eräs raudoituseriaate (Betoniteollisuus Ry. 2010. Raudoitustyyppi 4. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 2.3.2018)



KUVA 34. Pilarin vinon ulokkeen raudoitus Tekla-mallissa. (Betoniteollisuus Ry. 2010 <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 2.3.2018)

TAULUKKO 15. Vakiomittaisen vinon ulokkeen leikkausvoimakapasiteetti kuvan 33 mukaisella raudoituksella (Betoniteollisuus Ry. 2010 <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 2.3.2018)

Vino uloke		
h_1 [mm]	h_2 [mm]	B [mm] (konsolin leveys)
290	300	680
L_1 [mm]	a_1 [mm]	
300	200	
Betoni C30/37		
	Raud. tyyppi 4	Raud. tyyppi 5
Vaakavoima H_d	$V_{d,max}$ [kN]	$V_{d,max}$ [kN]
0	845	957
$0,2 V_d$	594	681
Betoni C40/50		
	Raud. tyyppi 4	Raud. tyyppi 5
Vaakavoima H_d	$V_{d,max}$ [kN]	$V_{d,max}$ [kN]
0	1080	1220
$0,2 V_d$	759	868
Betoni C50/60		
	Raud. tyyppi 4	Raud. tyyppi 5
Vaakavoima H_d	$V_{d,max}$ [kN]	$V_{d,max}$ [kN]
0	1305	1454
$0,2 V_d$	919	1048

6.3.3 Pilarin liitos palkkiin teräksisellä piilokonsolilla

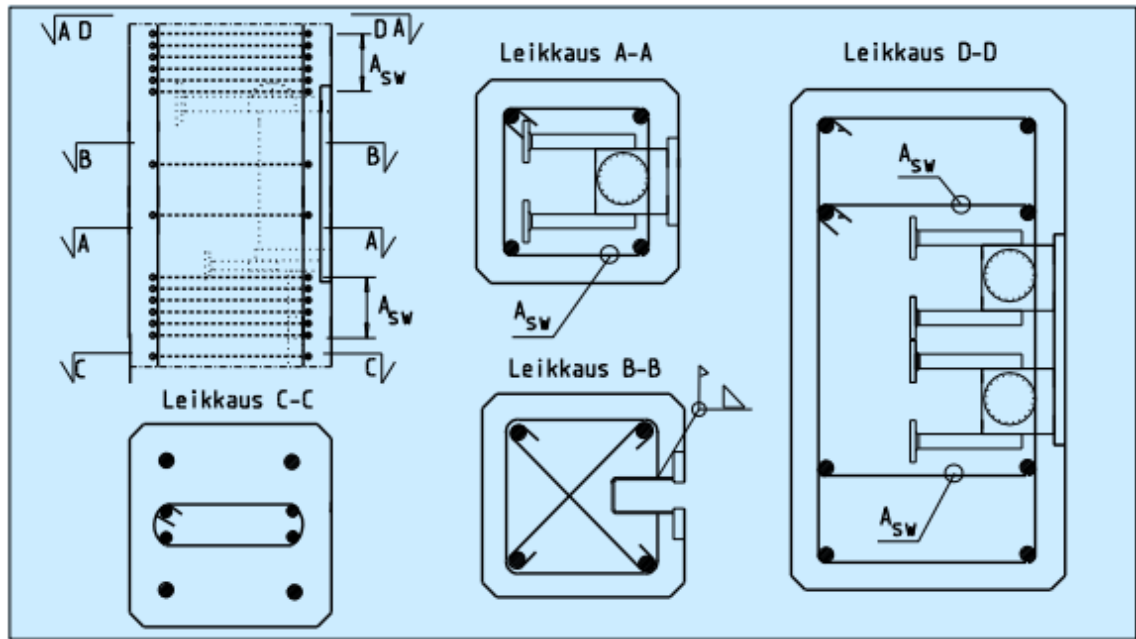
Teräksiset piilokonsolit ovat teräsosia, joiden avulla pilarin ja palkin liitos saadaan piiloon rakenteiden sisään. Piilokonsolin avulla on mahdollista toteuttaa vääntöä kestävä liitos heti asennuksesta lähtien, jolloin pilariin tukeutuvan palkin päälle on mahdollista asentaa ontelolaattoja ilman asennusaikaista tuentaa (Liite 9). (Anstar Oy. 2013. <http://www.anstar.fi/> Luettu 3.3.2018) Työturvallisuuden takaamiseksi varsinkin rakennuksen ulkoreunalla sijaitsevat ontelolaatat ovat kuitenkin suositeltavaa tukea asennusaikana, vaikka pilarin ja laatasta kannattelevan palkin liitos olisi toteutettu vääntöä kestäväällä piilokonsolilla.

Piilokonsolin käyttö pilarissa vaatii lisäraudoitusta. Lisähakojen avulla liitoksen välittämä leikkaus- ja vaakavoima sekä vääntömomentti välitetään pilarin raudoitukselle. Lisähakojen vaatima teräsmäärä valitaan valmistajan laatimien ohjeiden mukaisesti. Kuvassa 35 on esitetty Anstarin AEP-piilokonsolin vaatimat lisäraudoitukset pilareissa sekä kuvassa 36 pilarin piilokonsolien vaatiman lisäraudoituksen raudoitusperiaate.

Konsoli	Lisähaat A_{sw} mm ²	Hakamäärä A500HW
AEP400PI	276	6T8
AEP600PI	344	7T8
AEP800PI	498	7T10
AEP1100PI	442	7T10
AEP1600PI	996	9T12
AEP2200PI	884	8T12

KUVA 35. AEP-piilokonsolien lisäraudoitus (Anstar Oy. 2013. <http://www.anstar.fi/>. Luettu 3.3.2018)

Teräksisen piilokonsolin kohdassa pilarin normaalit umpinaiset nurjaldushaajat eivät sovi kulkemaan, joten päätangot tulee sitoa haoilla toisiinsa diagonaalisesti. Lisäksi piilokonsolin tartuntateräksiset tulee sitoa nurjaldushaoilla toisiinsa (KUVA 36). Piilokonsolin vaatimat nurjaldushaajat mitoitetaan samoin, kuten pilarin pääraudoituksen vaatima haka-raudoitus on mitoitettu.



KUVA 36. Pilarin teräksisen piilokonsolin vaatima lisäraudoitus. (Anstar Oy. 2013. <http://www.anstar.fi/>. Luettu 3.3.2018)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö helpottaa suunnittelemaan yksittäisiä teräsbetonisia pilarielementtejä. Suunnittelun lähtökohtana on, että pilarille tulevat kuormitukset on laskettu oikein eurokoodin EN-1991 ohjeiden mukaisesti ja rakennuksen runkojärjestelmä on mietitty toimivaksi kokonaisuudeksi. Tietoa pilarielementtien suunnittelusta on saataville hyvin kattavasti, mutta useiden eri tietolähteiden käyttäminen on suunnittelijalle hidasta. Tämän opinnäytetyön avulla elementtisuunnittelija pystyy ymmärtämään nopeasti tavallisimpien pilarielementtien mitoituksessa tarvittavan teorian ja valitsemaan pilareissa yleisesti käytetyt rakenneratkaisut. Opinnäytetyön ohessa tehty pilarielementtien suunnitteluohje toimii Swecolla hyvänä perehdytysaineistona aloitteleville suunnittelijoille suunnitteluprojekteissa ja nopeuttaa suunnittelussa alkuun pääsemistä.

Pilarielementtien suunnittelu voi olla kohteesta riippuen erittäin haastava vaihe rakennesuunnittelussa. Pilareiden liitokset muihin rakenteisiin täytyy suunnitella tarkasti ja samalla täytyy yrittää löytää kustannustehokkaita ratkaisuja. Pilarielementtien suunnitteluprojektissa täytyy yrittää huomioida heti kaikki kohteessa tarvittavat pilarit, jotta erilaisen pilaripoikkileikkauskokojen määrä pystyttäisiin minimoimaan. Ongelmia voi syntyä myös raudoituksen ja valutarvikkeiden sopimisessa pilarielementtiin. Pilarielementit mitoitetaan monesti melko korkealle käyttöasteelle ja pilarille muodostuvien kuormitusten määrittäminen saattaa olla haastavaa. Tällöin kuormien laskennassa apuna voidaan käyttää esimerkiksi FEM-laskentaohjelmia. Tässä opinnäytetyössä ei kuormitusten laskentaa käsitelty tarkemmin ja soveltuva rakennusinsinöörin koulutus onkin edellytyksenä sille, että tätä opinnäytetyön suunnitteluohjetta pystyy hyödyntämään täysimääräisesti apuna suunnittelutyössä.

Pilarielementin valutarvikkeiden suunnittelussa työkaluina käytetään pääasiassa valmistajien määrittelemiä ohjeita. Tässä opinnäytetyössä on esitelty yleisimmät pilareissa käytetyt tarvikkeet sekä esitelty perusteet tarvikkeiden suunnitteluun. Pilarin yksityiskohtien mitoittaminen vaatisi huomattavasti laajempaa tutkimustyötä, joten valmistajien määrittelemä taulukkomitoitusmenetelmä on yleensä riittävä tapa pilarin yksityiskohtien mitoittamiseen.

Opinnäytetyön tekemiselle asetetut henkilökohtaiset tavoitteeni täyttyivät mielestäni erinomaisesti. Opinnäytetyöprojekti edellytti tarkkaa perehtymistä elementtien mitoittamiseen ja suunnitteluprojektin kokonaisvaltaiseen hahmottamiseen. Opinnäytetyön tekeminen vaati myös aikataulujen hallintaa ja myös tässä tavoitteessa pysyttiin hyvin. Projektin aikana opittuja taitoja pystyn tulevassa työssäni hyödyntämään täysimääräisesti päivittäin.

LÄHTEET

Semtu. VEMO-valuankkurit. Käyttöohje. <http://www.semtu.fi/?file=240>. Luettu 18.3.2011

Betoniteollisuus Ry. 2010. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodin mukaan. Osa 5: Pilarit. www.eurocodes.fi/. Luettu 28.2.2018.

Suomen standardoimisliitto SFS. 2015. EN- 1992-1-1 + A1 + AC. Helsinki.

Leskelä. M. 2010. Pilareiden mitoitusvoimasuureet SFS-EN 1992-1-1 mukaan. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 18.2.2018

Suomen betoniyhdistys Ry. BY65. 2016. Betoninormit 2016. Helsinki.

Betoniteollisuus Ry. 2012. Betoninormikortti 23. Liitosten mitoitus. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 20.2.2018

Suomen standardoimisliitto SFS. 2013. SFS-EN 13225. Helsinki.

Elementtisuunnittelu.fi. 2017. Liitokset. Runkoliitokset. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/runkoliitokset>. Luettu 12.2.2018

Suomen standardoimisliitto SFS. 1990. SFS-EN 1990-1-1.

Suomen standardoimisliitto SFS. 1992. SFS-EN 1992-1-1.

Niemi. J. 2018. Teräsbetonirakenteiden mitoitus eurokoodin mukaan. Tampere.

Salminen. M. 2008. Teräsbetonisen mastopilarin palomitoitusohje. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 13.3.2018.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitteluohje. Helsinki.

Ympäristöministeriö. 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma: B4. Betonirakenteet: Ohjeet. Helsinki.

Peikko Oy. 2016. HPKM-pilarikenkä. Tekninen käyttöohje. Luettu 11.2.2018.

Anstar Oy. 2017. AEP-käyttöohje. <http://www.anstar.fi>. Luettu 11.2.2018.

Suomen betoniyhdistys Ry. BY40. 2003. Betonirakenteiden pinnat. Luokitusohjeet 2003. Helsinki.

Betoniteollisuus Ry. 2010. Betonikonsolit. <http://www.elementtisuunnittelu.fi>. Luettu 2.3.2018.

Betoniteollisuus Ry. 2018. Valmisosarakentamisen historia. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. Luettu 10.3.2018.

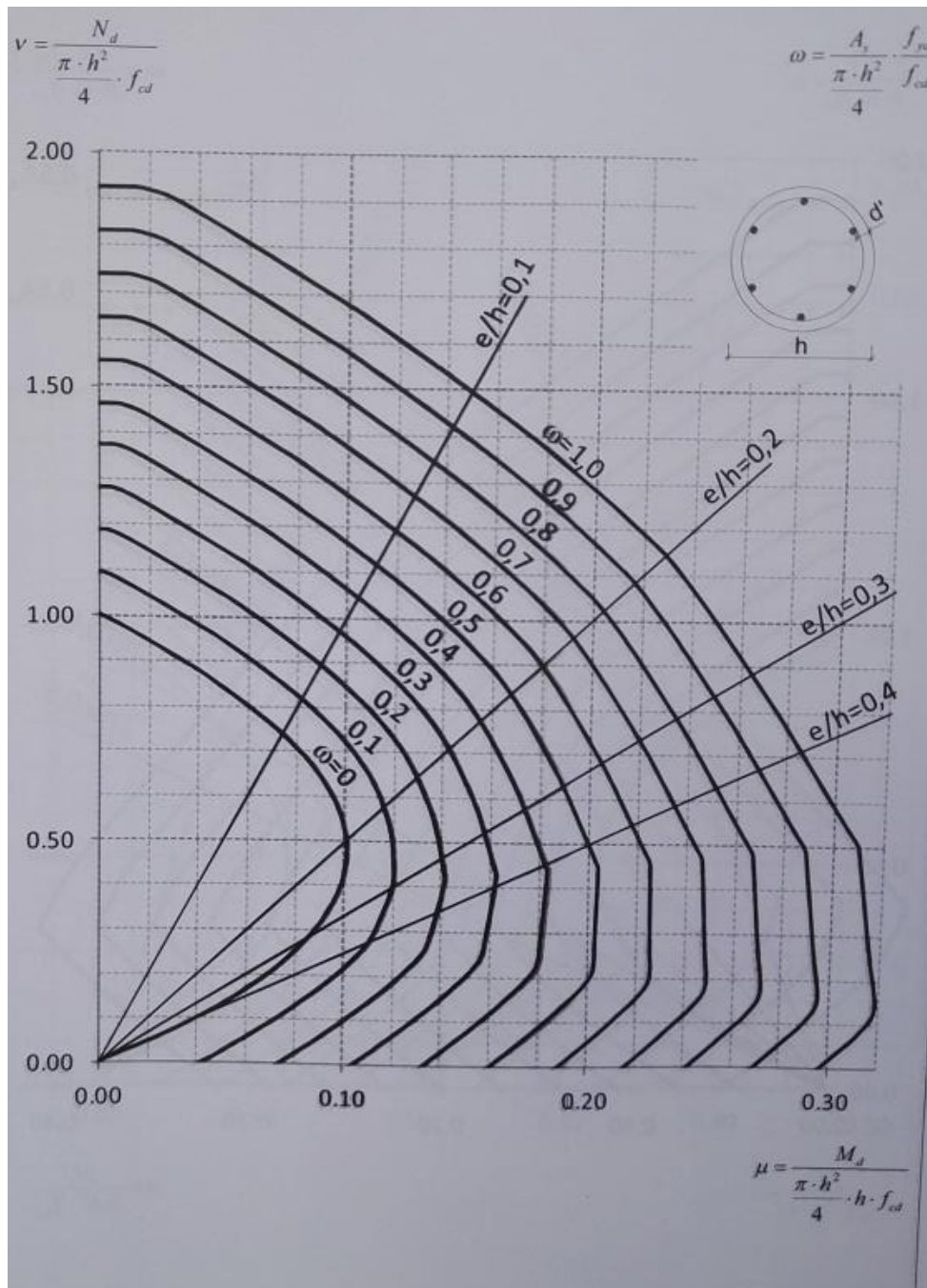
Suomen standardoimisliitto SFS. 1991. SFS-EN 1991-1-7.

Betoniteollisuus Ry. 2011. Betonielementtien toleranssit. www.elementtisuunnittelu.fi-
Luettu 9.2.2018.

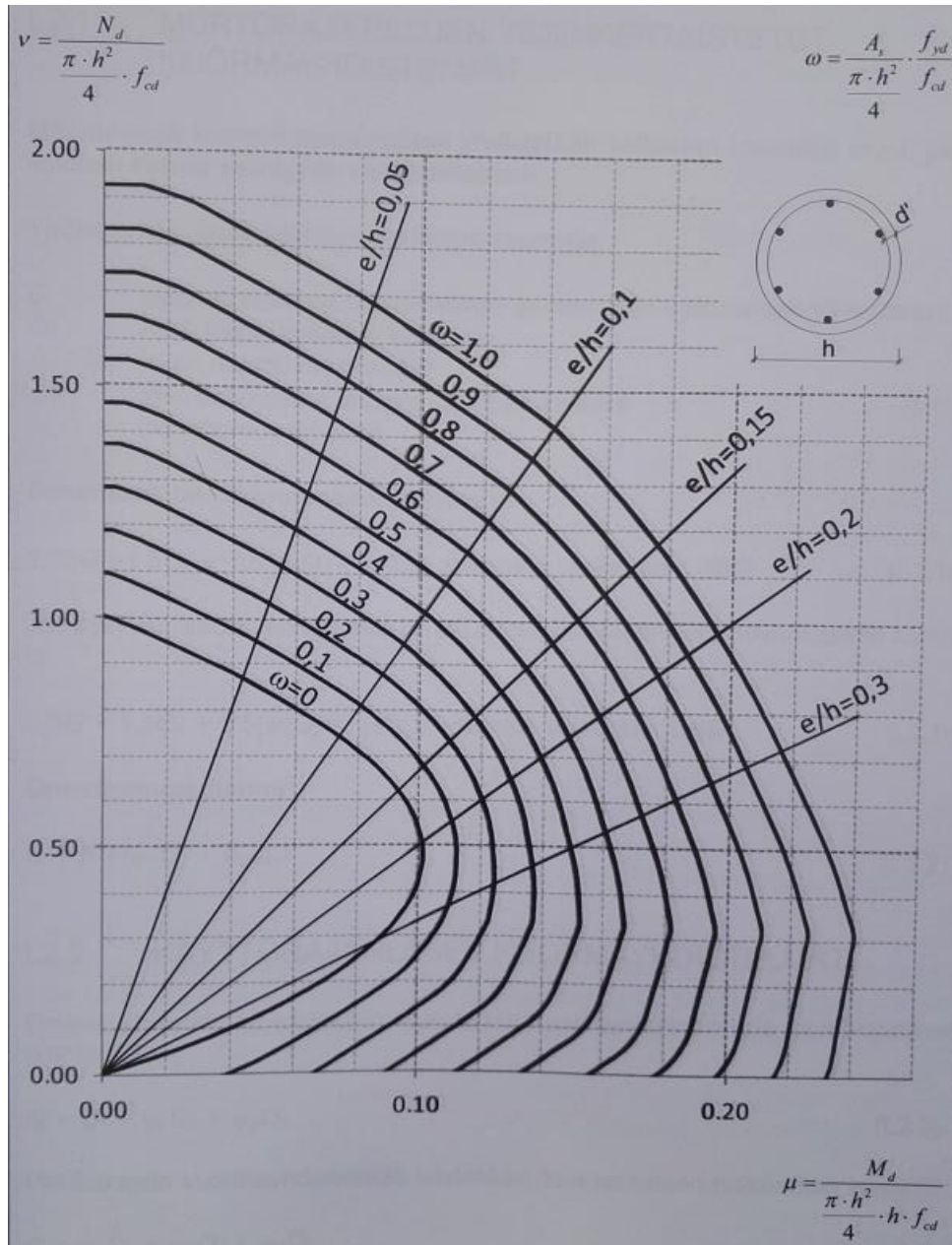
Suomen betoniyhdistys Ry. BY211. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja
2014. Helsinki.

LIITTEET

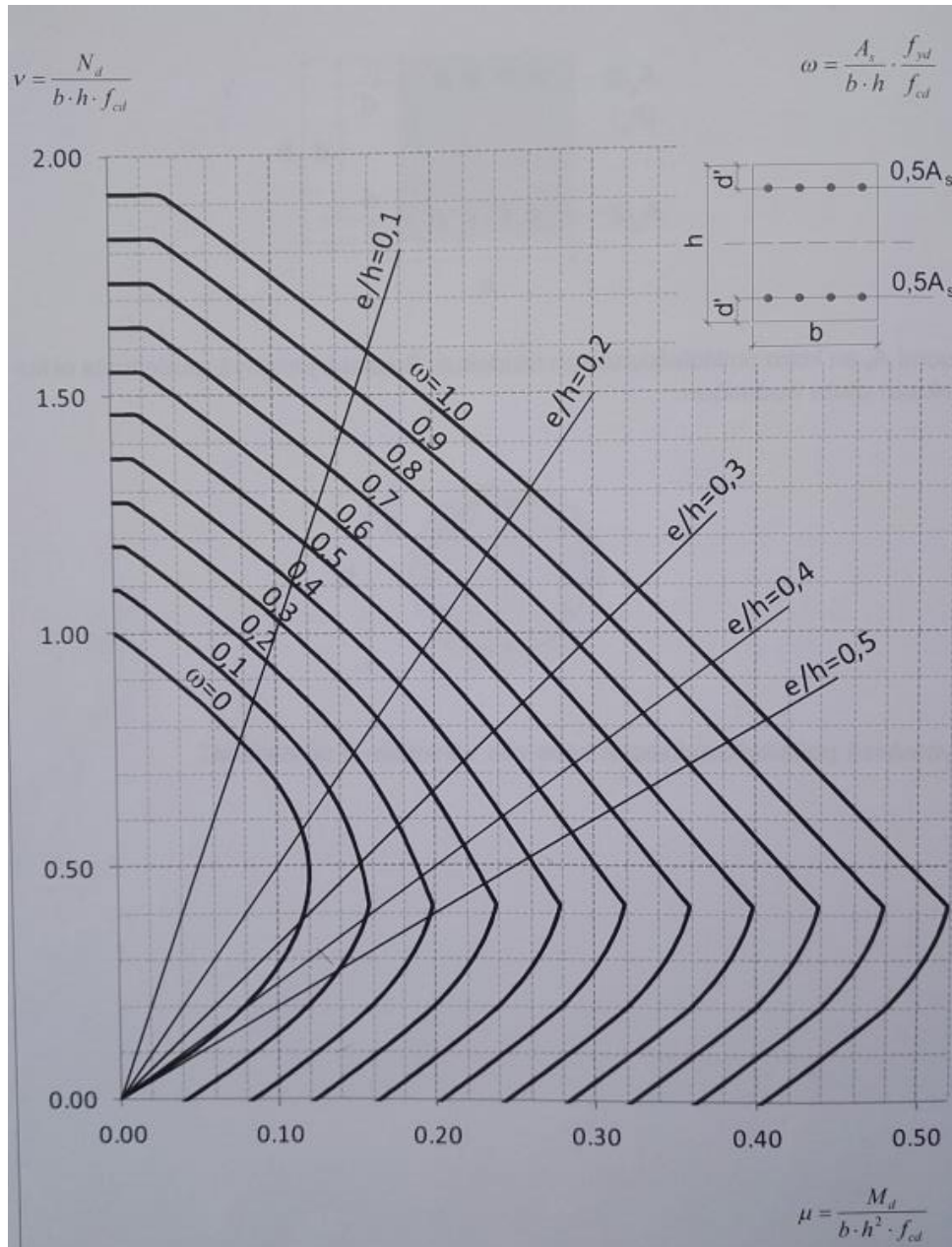
Liite 1. Pyöreän pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi d/h suhteen ollessa 0,10 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitte-luohje. Helsinki.)



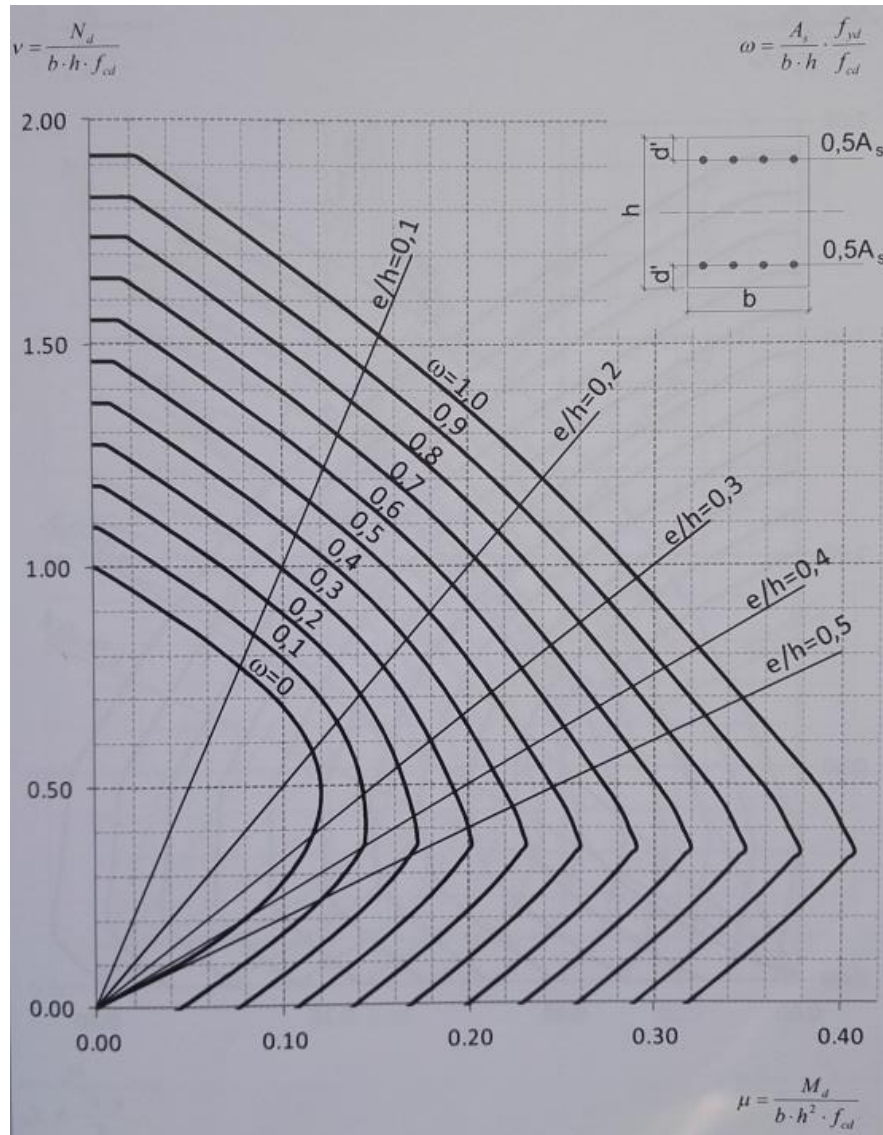
Liite 2. Pyöreän pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi d/h suhteen ollessa 0,20 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitte-luohje. Helsinki.)



Liite 3. Suorakaidepoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi d/h suhteen ollessa 0,10 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitte-luohje. Helsinki.)

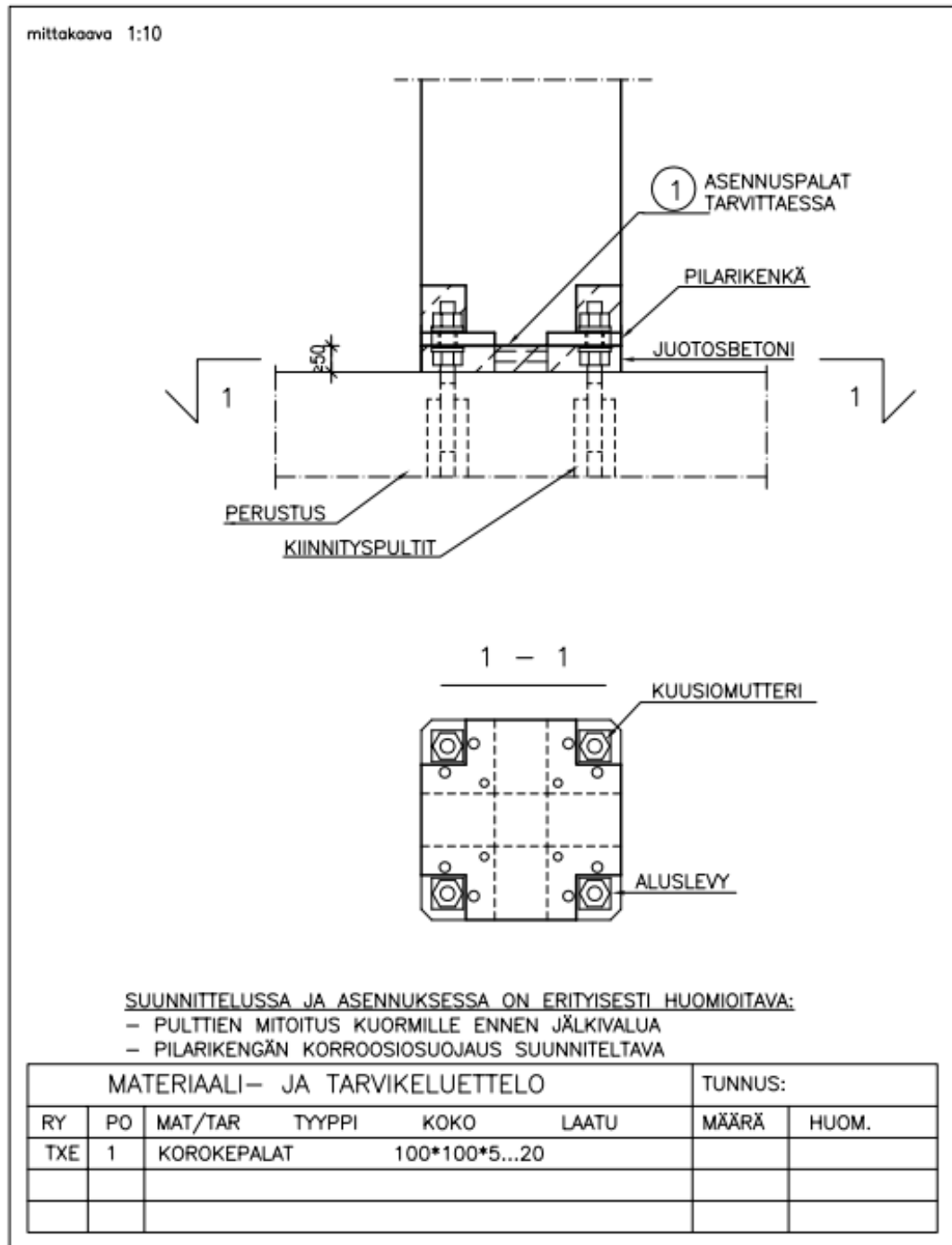


Liite 4. Suorakaidepoikkileikkauksen yhteisvaikutusdiagrammi d/h suhteen ollessa 0,20 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitte-luohje. Helsinki.)



Liite 5. Pilarin liitos perustuksiin (Betoniteollisuus Ry. 2018. <http://www.elementti-suunnittelu.fi/>. Luettu 24.2.2018)

	Sisältö PILARIN PULTTIKIINNITYS PERUSTUKSIIN (SUORAKAIDEPILARI)		
Suunnittelija	Työn nro		DP111B
	Päiväys	Tekijä	

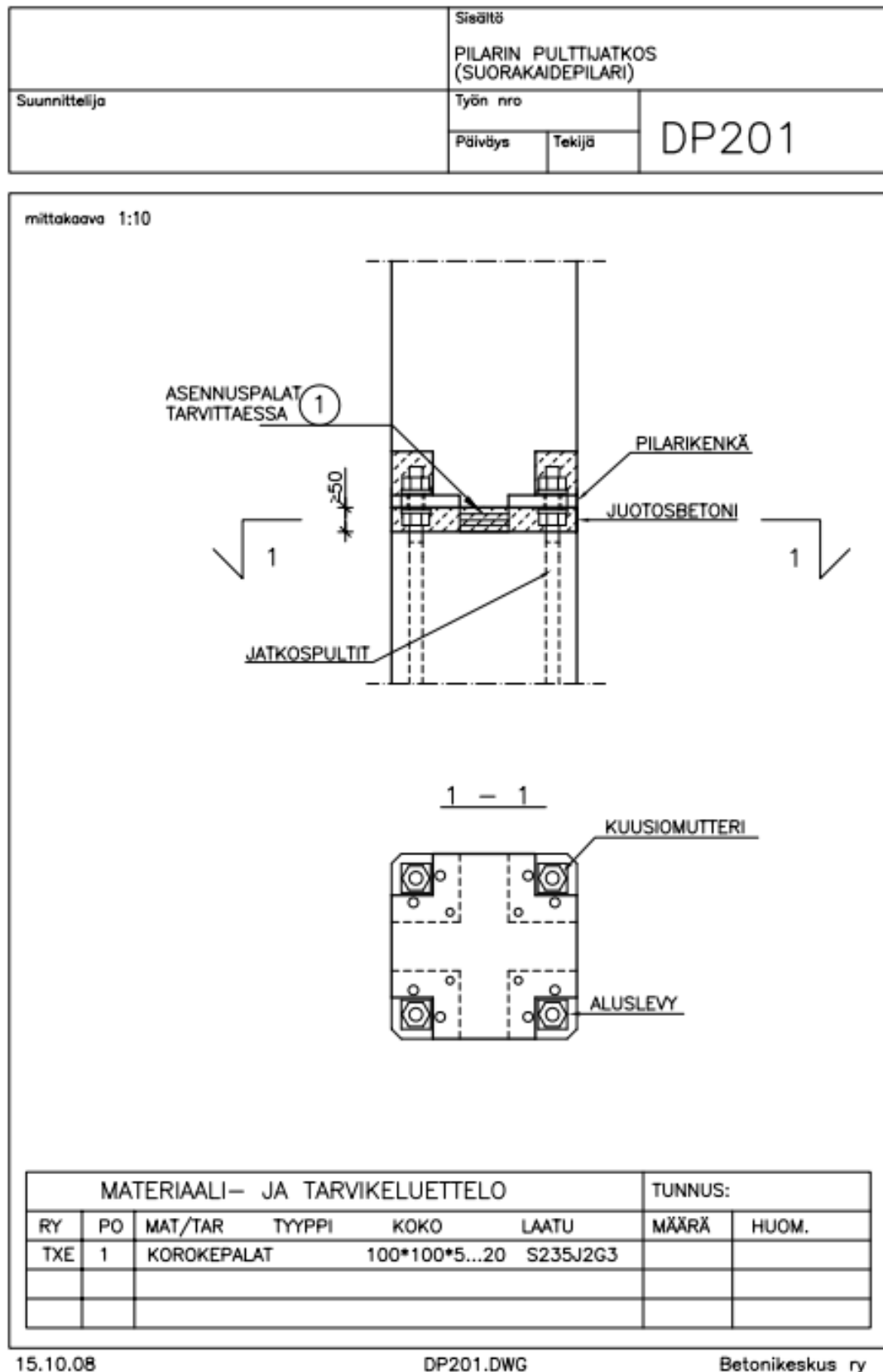


15.10.08

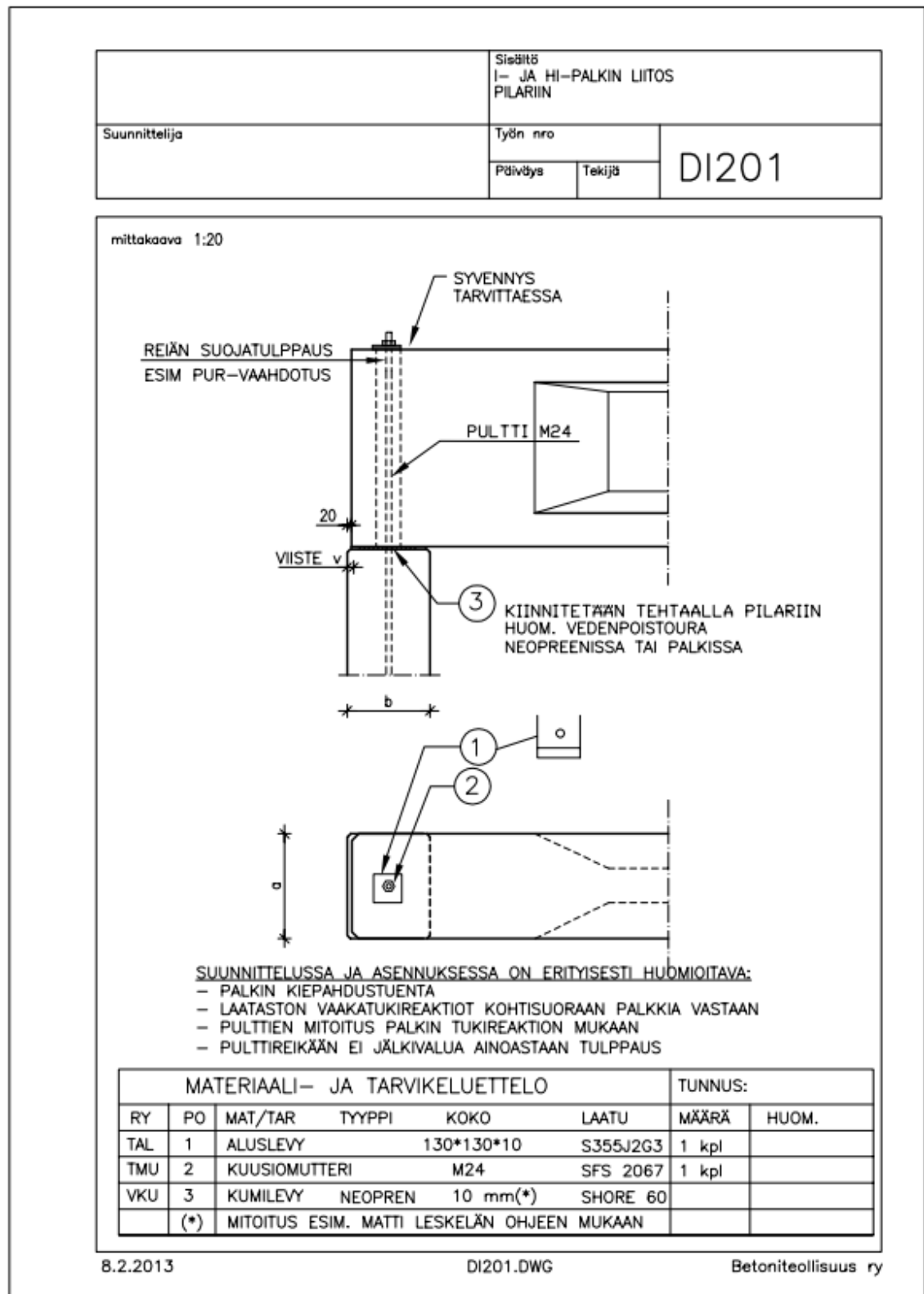
DP111.DWG

Betonikeskus ry

Liite 6. Pilarin liitos pilariin pulttijatkoksella (Betoniteollisuus Ry. Runkoliitokset. 2018.
<http://www.elementti-suunnittelu.fi/>. Luettu. 2.3.2018)



Liite 7. I- ja HI-palkin liitos pilariin yhdellä pultilla (Betonteollisuus ry. 2013. Runkoliitokset. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Luettu 19.2.2018.)



Liite 8. Suorakaidepalkkien liitos pilariin betonikonsoleilla (Betoniteollisuus ry. 2013.
Runkoliitokset. <http://www.elementtisuunnittelu.fi>. Luettu 19.2.2018.)

