

Mastopilarin ja pilarianturan mitoitus ja stabiliteetti Eurokoo- din mukaan



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakentaminen

syksy, 2019

Olli Ahtosaari

Rakentaminen

Visamäki

Tekijä	Olli Ahtosaari	Vuosi 2019
Työn nimi	Mastopilarin ja pilarianturan mitoitus ja stabiliteetti Eurokoodin mukaan	
Työn ohjaaja	Tapio Korkeamäki	

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli laatia Perustava Oy:lle Excel-pohjainen käsinlaskenta-ohjelma teräsbetonirakenteisen hallin mastopilarin ja pilarianturan mitoitusta varten myynnin ja suunnittelun tueksi.

Työn ensimmäinen osa suoritettiin kirjallisuustutkimuksena. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin Eurokoodin mukaiset suunnitteluperusteet mastopilarin ja pilarianturan kuormien laskemiseen ja kestävyyslaskentaan. Pääasiallinen lähde oli Eurokoodi ja sen soveltamisessa käytettiin apuna BY:n sekä RIL:n julkaisuja.

Työn tutkimusosassa sovellettiin kirjallisuustutkimuksessa esiin tulleita menetelmiä ja laskukaavoja esimerkkikohteen rakennelaskennassa. Kohteesta mitoitettiin kehäpilari, päätypilari ja nurkkapilari sekä niiden pilarianturat.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella laadittiin laskentaohjelmat mastopilarin ja pilarianturan kestävyyslaskentaa varten. Hallin kuormien laskentaa varten kehitetään jatkossa oma laskentaohjelma. Laskentaohjelmien tuloksia verrattiin tilaajayrityksessä käytössä olevaan kaupalliseen sovellukseen.

Työn tekijä on käyttänyt laskentaohjelmia tilaajayrityksen kohteissa jo runsaasti. Opinnäytetyötä voidaan käyttää jatkossa tietopakettina kohdeyrityksen suunnittelijoiden koulutuksessa ja laskentaohjelman käyttöönotto-koulutuksen taustamateriaalina.

Avainsanat Mastopilari, pilariantura, eurokoodit, geotekniikka, rakennetekniikka

Sivut 121 sivua, joista liitteitä 25 sivua

Degree Programme in Construction and Environmental Engineering
Visamäki

Author	Olli Ahtosaari	Year 2019
Subject	Structural design of mast column and column footing according to Eurocode	
Supervisors	Tapio Korkeamäki	

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to produce an Excel-based calculation table which carries out structural design calculations of mast column and column footing. Purpose of the calculation table is to support the designers and sales personnel of commissioner, Perustava Oy.

The first phase of the thesis was done as literature survey. The literature survey identified the design basis of load and resistance calculations for mast column and column footing according to Eurocode. Main source of information was Eurocode. Publications by BY (Concrete Association of Finland) and RIL (Finnish Association of Civil Engineers) were referenced for applied calculations.

In the research part calculation methods and formulas identified in literature surveys were applied in a case study. A frame column, end gable column and corner column and their respective column footings of case hall were designed in the case study.

Excel based calculation tables for structural design of mast column and column footing were created according to literature survey. Case study calculation results were compared to calculations made with a commercial application used in the commissioner company.

Author of the thesis has used the calculation tables in numerous projects for the commissioner. The thesis can be used as background information when training the designers of the commissioner.

Keywords Mast column, column footing, Eurocodes, geotechnical engineering, structural engineering

Pages 121 pages including appendices 25 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tausta.....	1
1.2	Työn tavoite ja rajaus.....	1
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	2
2	MASTOPILARIN JA PILARIANTURAN SUUNNITTELUPERUSTEET	2
2.1	Eurokoodin mukaiset yleiset suunnitteluperusteet.....	2
2.2	Kuormien määrittäminen.....	3
2.2.1	Kuormien luokitus ja osavarmuusmenetelmä	3
2.2.2	Yleiset kuormat, omat painot ja hyötykuormat	7
2.2.3	Lumikuormat	9
2.2.4	Tuulikuormat	12
2.3	Teräsbetonin materiaaliominaisuudet.....	18
2.4	Teräsbetonin säilyvyys	22
2.5	Mastopilarin mitoitus.....	24
2.5.1	Rakenneanalyysi	24
2.5.2	Toisen kertaluvun vaikutukset	27
2.5.3	Pilarin raudoitus	33
2.5.4	Vino taivutus.....	36
2.6	Pilarianturan mitoitus	38
2.6.1	Geotekninen kantokestävyys	38
2.6.2	Taivutusmitoitus.....	44
2.6.3	Ankkurointimitoitus.....	47
2.6.4	Lävistysmitoitus	49
3	TERÄSBETONIRUNKOISEN HALLIN RAKENNESUUNNITTELU.....	55
3.1	Ominaiskuormat.....	56
3.2	Rakennemallit ja kuormitusyhdistelmät	58
3.2.1	Kehäpilari.....	58
3.2.2	Päätypilari.....	61
3.2.3	Nurkkapilari	63
3.3	Mastopilarin mitoitus.....	65
3.3.1	Kehäpilari.....	65
3.3.2	Päätypilari.....	68
3.3.3	Nurkkapilari	70
3.4	Pilarianturan mitoitus	75
3.4.1	Geotekninen kantokestävyys	75
3.4.2	Rakennetekninen mitoitus	77
4	LASKENTAOHJELMA.....	83
4.1	Laskentaohjelmien ominaisuudet ja käyttö.....	83
4.1.1	Pilarin laskentaohjelma	83
4.1.2	Pilarianturan laskentaohjelma	84
4.2	Vertailu kaupalliseen sovellukseen	85

4.2.1 Käytettävyys	85
4.2.2 Vertailulaskelmat.....	86
4.2.3 Yhteenvedo	89
5 YHTEENVETO	90
LÄHTEET	95

Liitteet

Liite 1	Kehäpilarin pilarianturan geotekninen mitoitus
Liite 2	Päätypilarin pilarianturan geotekninen mitoitus
Liite 3	Nurkkapilarin pilarianturan geotekninen mitoitus
Liite 4	Kehäpilarin pilarianturan taivutus- ja ankkurointimitoitus
Liite 5	Päätypilarin pilarianturan taivutus- ja ankkurointimitoitus
Liite 6	Nurkkapilarin pilarianturan taivutus- ja ankkurointimitoitus
Liite 7	Pilarin mitoitus tulostussivu
Liite 8	Pilarin mitoitus rakenneanalyysi ja kuormat
Liite 9	Pilarianturan mitoitus tulostussivu
Liite 10	Pilarianturan mitoitus lävistyskartio
Liite 11	Kehäpilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla
Liite 12	Päätypilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla
Liite 13	Nurkkapilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla

Toistuvat termit ja niiden määritelmät

A_c	Betonipoikkileikkauksen pinta-ala
A_s	Poikkileikkauksen rauditusmäärä
$A_{s,min}$	Vähimmäisraudoitusmäärä
b	Poikkileikkauksen leveys tarkastelusuunnassa
c_{nom}	Betonipeitteen nimellisarvo
d	Poikkileikkauksen raudituksen painopisteen tehollinen korkeus
f_{bd}	Raudituksen tartuntalujuuden mitoitusarvo
f_{cd}	Betonin mitoituspuristuslujuus
f_{ck}	Betonin ominaispuristuslujuus
f_{ctd}	Betonin mitoitusvetolujuus
f_{ctk}	Betonin ominaisvetolujuus
f_{yd}	Betoniraudituksen mitoitusmyötölujuus
f_{yk}	Betoniraudituksen ominaismyötölujuus
h	Poikkileikkauksen korkeus tarkastelusuunnassa
h_f	Pilarianturan korkeus
l_0	Pilarin tehollinen pituus, nurjahduspituus
M_{Ed}	Mitoitusmomentti
M_{0Ed}	Ensimmäisen kertaluvun momentti
n	Suhteellinen normaalivoima
N_{Ed}	Mitoitusnormaalivoima
u	Lävistyskartion piirin pituus
V_{Ed}	Mitoitusleikkausvoima
λ	Pilarin hoikkuusluku
μ	Suhteellinen momentti
σ_{gd}	Anturan mitoituspohjapaine
φ_{ef}	Virumisaste
ω	Mekaaninen rauditussuhde

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn tilaaja Perustava Oy on vuonna 2007 perustettu alun perin paikallavaluperustuksia urakoinut yritys. Lyhyen historiansa aikana on Perustavasta kasvanut Suomen johtava perustusurakoitsija. Työn tekijä on työskennellyt Perustava Oy:lle perustussuunnittelua tehneessä rakennesuunnittelutoimistossa Uudenmaan Rakennus-Centerissä (URC) helmikuusta 2014. Syyskuussa 2017 Perustava osti URC:n perustussuunnittelu liiketoiminnan. Samaan aikaan työn tekijä nimettiin Espoon toimipisteen suunnittelupäälliköksi ja myöhemmin maaliskuussa 2019 vaativien kohteiden erityisasiantuntijaksi.

Tammikuussa 2018 Perustava osti yrityskaupoilla enemmistöosuuden Lammin Asennustaito -nimisestä betonielementtejä valmistavasta yrityksestä kasvua tukemaan. Lammin Asennustaito nimettiin kauppojen yhteydessä Perustava Elementti Oy:ksi. Lammin Asennustaito tunnetaan teräsbetonirunkoisten hallien ja toimitilojen rakentajana. Halliratkaisun keskeisin osa on kantavat mastopilarit ja pilarianturat, joiden Eurokoodin mukaista mitoitusta tässä työssä tutkitaan tarkemmin.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua teräsbetonirunkoisen hallin mastopilarin ja pilarianturan Eurokoodin mukaiseen mitoitukseen. Työn keskeisimmät tutkimusongelmat ovat: Mitkä ovat eurokoodissa käytetyt kuormat, niiden osavarmuuskertoimet ja mitoittavat kuormitusyhdistelmät mastopilarin ja pilarianturan mitoituksessa? Miten mastojäykistys vaikuttaa mitoittavien voimasuureiden määritykseen? Kuinka määritettyjen voimasuureiden avulla mitoitetaan poikkileikkausten koot ja raudoitukset? Miten erilaiset perustusolosuhteet vaikuttavat pilarianturan mitoitukseen? Työn ulkopuolelle rajataan onnettomuusrajatilamitoitus, käyttörajatilamitoitus ja pilari-perustusliitoksen mitoitus. Työssä käsitellään vain maanvarainen perustustapa. Työssä ei käsitellä perustuksen painumia, nousua tai värähtelyitä.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia Excel-pohjainen käsinlaskentaohjelma mastopilarin ja pilarianturan mitoitusta varten hallin sijainti, - laajuus, - ja maaperätietoihin perustuen. Tekijän henkilökohtaisena tavoitteena on työn avulla ymmärtää paremmin betonirakenteisen mastopilarin ja pilarianturan toimintaa ja voimasuureiden muodostumista.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työn teoriaosuudessa käytetään menetelmänä kirjallisuustutkimusta. Tutkimuksen keskeisin lähde on Eurokoodi, sillä se on Suomessa käytettävä rakennesuunnittelun standardi. SFS-EN 1990, käsittelee rakenteiden suunnitteluperusteita, SFS-EN 1991 kuormia, SFS-EN 1992 betonirakenteiden suunnittelua ja SFS-EN 1997 geoteknistä suunnittelua. Eurokoodin soveltamisessa käytetään myös Suomen Betoniyhdistyksen ja RIL:n julkaisuja.

Tutkimusosuudessa sovelletaan kirjallisuustutkimuksessa esiin tulleita laskukaavoja teräsbetonirunkoisen hallin mitoituksessa. Laskelmien perusteella laaditaan käsilaskentaohjelma. Laskentaohjelman tuloksia ja käytettyä verrataan kaupallisiin sovelluksiin.

2 MASTOPILARIN JA PILARIANTURAN SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Eurokoodin mukaiset yleiset suunnitteluperusteet

Eurokoodin perusvaatimusten mukaan rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa niin että ne täyttävät seuraavat vaatimukset suunnitellun käyttöikänsä ajan:

- Kestävät kuormat ja vaikutukset, joita todennäköisesti esiintyy toteutuksen ja käytön aikana
- Pysyy vaadittuun tarkoitukseensa käyttökelpoisena
- Sillä on riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys
- Tulipalotilanteessa sen kestävyys on riittävä vaadittavan ajan
- Räjähdyks, törmäys tai inhimillinen erehdys ei vaurioita sitä alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman paljon. (SFS-EN 1990/2006, 44.)

Rakenteen suunnittelijan tulee määrittää säilyvyyteen liittyvä rakenteen suunniteltu käyttöikä. Suunniteltu käyttöikä voidaan määrittää taulukon 1. mukaisesti. (SFS-EN 1990/2006, 48.)

Taulukko 1. Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (SFS-EN 1990/2006,48).

Suunnitellun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾
2	10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

Rakenteet mitoitetaan käyttäen rajatilamitoitusta, jossa otetaan huomioon erilaiset, todennäköiset mitoitustilanteet. Rajatiloja ovat murtorajati-

lat ja käyttörajatilat. Murtorajatiloiksi luokitellaan pääosin ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen liittyvät rajatilat. Murtorajatiloina käsitellään rakenteen sortumista edeltäviä tiloja esim. jäykän kappaleen tasapainon menetyksestä, rakenteen tai sen osan katkeamisesta, muuttumisesta mekanismiksi tai stabiiliuden menetyksestä johtuen. Käyttörajatiloissa tarkastellaan siirtymiä, värähtelyitä ja vaurioita, jotka vaikuttavat rakenteen ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen ja rakenteen toimivuuteen sekä säilyvyyteen. Käyttörajatiloissa tulisi erottaa toisistaan palautuva ja palautumaton käyttörajatila. Rajatilamitoituksessa tulee osoittaa että mitään rajatilaa ei ylitetä käytettäessä kyseistä rajatilaa koskevia mitoitusarvoja kuormille, materiaaliominaisuuksille ja mittatiedoille sekä asianmukaista rakennemallia. Tarkastelut tulee suorittaa kaikille merkittävillä mitoitustilanteille ja kuormitustapauksille. (SFS-EN 1990/2006, 52–56.)

2.2 Kuormien määrittäminen

2.2.1 Kuormien luokitus ja osavarmuusmenetelmä

Rakenteille tulevat kuormat luokitellaan

- Aikariippuvuuden perusteella pysyviksi, - (G), muuttuviksi, - (Q) ja onnettomuuskuormiksi (A)
- Alkuperän perusteella välittömiksi tai välillisiksi
- Vaikutuskohdan perusteella kiinteiksi tai liikkuviksi
- Luonteen tai rakenteen vasteen perusteella staattisiksi tai dynaamisiksi (SFS-EN 1990/2006, 58.)

Rajatilamitoituksessa käytetään osavarmuusmenetelmää. Osavarmuusmenetelmässä rajatiloja koskevissa mitoitusmalleissa käytetään kuormien ja kestävyyksien mitoitusarvoja. Mitoitusarvot saadaan kertomalla kuormien ominaisarvot EN 1991...EN 1999 mukaisilla osavarmuusluvulla ja muilla kertoimilla. Valittujen määräävien mitoitustilanteiden erilliset kuormat yhdistellään kuormitusyhdistelmiksi, joissa tarkastellaan samaan aikaan vaikuttavia kuormia. Useamman muuttuvan kuorman vaikuttaessa samaan aikaan käytetään ei-määräville muuttuville kuormille taulukon 2 mukaisia ψ -kertoimia. Yhdistelmissä ei tarkastella kuormia, joiden on fyysikaalisesti mahdoton esiintyä samanaikaisesti. Kuormien vaikutus voi olla edullinen tai epäedullinen. Pysyvien kuormien ollessa kyseessä käytetään tällöin kahta eri osavarmuuslukua $\gamma_{G,inf}$ ja $\gamma_{G,sup}$. Hyötykuorman vaikutuksen ollessa edullinen saa osavarmuusluku arvon 0. (SFS-EN 1990/2006, 70.)

Kaavassa 1 on esitetty kuorman mitoitusarvo yksinkertaistetussa muodossa

$$F_d = K_{fi} \cdot \gamma_f \cdot \psi \cdot F_k \quad (1)$$

missä K_{fi} on seuraamusluokan mukainen kuormakerroin,
 γ_f = kuorman osavarmuusluku,

ψ = joko 1,00 tai ψ_0 , ψ_1 tai ψ_2 ,
 F_k = kuorman ominaisarvo. (SFS-EN 1990/2006, 70.)

Seuraamusluokat ja niihin liittyvät kuormakertoimet on esitetty taulukossa 2 (SFS-EN 1990/2006, 136-138). Kuormakerrointa käytetään normaaleissa ja tilapäisesti vallitsevissa kuormitustapauksissa. Kerrointa ei käytetä onnettomuustilanteessa, väsytyksessä tai käyttörajatilatarkasteluissa. Kerrointa ei käytetä myöskään edullisen vaikutuksen aiheuttavan pysyvän kuorman kanssa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 53.)

Taulukko 2. Seuraamusluokat ja kuormakertoimet

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia koskevia esimerkkejä	Kuormakerroin K_{fi}
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalot)	1,1
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerrakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)	1,0
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalouksrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet	0,9

Kertoimen ψ arvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kertoimien ψ suositusarvot rakennuksille (SFS-EN 1990/2006,86).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ⁾			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. ⁾ Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Eri rajatiloissa käytetään kyseiseen rajatilaan liittyviä kuormien osavarmuuskertoimia. Taulukoissa 4-6 on esitetty eri murtorajatilojen yhteydessä käytettävät kuormien osavarmuuskertoimet. Rakenneosien kestävyys, kun geoteknisiä kuormia ei vaikuta, määritetään taulukon 5 kuormien mitoitusarvoilla. Sellaisten rakenneosien joiden mitoitukseen vaikuttavat geotekniset kuormat ja maapohjan kantavuus (esim. perustukset ja anturarat) käytetään kolmea eri menettelytapaa, joita täydennetään geoteknisten kuormien ja kantavuuksien osalta standardilla EN 1997. Menettelytavassa 1 käytetään geoteknisten ja muiden rakenteeseen vaikuttavien kuormien mitoitusarvoja taulukoiden 5 ja 6 mukaisesti. Usein perustusten koko määritetään taulukon 6 ja rakenteen kestävyys taulukon 5 perusteella. Menettelytavassa 2 käytetään taulukon 5 mukaisia geoteknisten kuormien ja muiden rakenteeseen vaikuttavien kuormien mitoitusarvoja. Menettelytavassa 3 käytetään taulukon 6 mukaisia geoteknisten kuormien mitoitusarvoja ja kerrotaan muut rakenteeseen vaikuttavat kuormat taulukon 5 mukaisilla osavarmuusluvuilla. (SFS-EN 1990/2006, 88.) Suomessa käytetään rakenteiden mitoituksessa menettelytapaa 2, poikkeuksena taulukkoon 5 edullisten pysyvien kuormien osavarmuuskertoimelle $G_{k,inf}$ käytetään arvoa 0,9 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 53). Taulukossa 7 on esitetty käyttörajatiloihin liittyvät kuormitusyhdistelmät. Käyttörajatiloissa osavarmuusluku on normaalisti 1,0.

Taulukko 4. Kuormien mitoitusarvot (EQU eli staattinen tasapaino) (Sarja A) (SFS-EN 1990/2006,88).

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määrävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut
(Yht. 6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$
(*) Muuttuvia kuormia ovat taulukossa A1.1 mainitut kuormat.					
<p>HUOM. 1 Osavarmuuslukujen γ arvot voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Osavarmuusluvun γ suositeltavat arvot ovat:</p> <p>$\gamma_{G,j,sup} = 1,10$ $\gamma_{G,j,inf} = 0,90$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa) $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa)</p> <p>HUOM. 2 Tapauksissa, joissa staattisen tasapainon tarkastelu sisältää myös rakenneosien kestävyys, voidaan vaihtoehtona kahdelle erilliselle, taulukoihin A1.2(A) ja A1.2(B) perustuvalle tarkastelulle käyttää kansallisen liitteen niin sallissa yhdistettyä tarkastelua, joka perustuu taulukkoon A1.2(A), jolloin käytetään seuraavia suositeltavia arvoja. Kansallisessa liitteessä näistä suositeltavista arvoista voidaan poiketa.</p> <p>$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$ $\gamma_{G,j,inf} = 1,15$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa) $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa).</p> <p>Tämä edellyttää, että jos osavarmuusluvun arvoa $\gamma_{G,j,inf} = 1,00$ käytetään sekä pysyvien kuormien edulliselle osuudelle että epäedulliselle osuudelle, niin ei saada epäedullisempaa vaikutusta.</p>					
-ACJ					

Taulukko 5. Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO eli rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus) (Sarja B) (SFS-EN 1990/2006, 90).

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)		Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määrävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut		Epäedulliset	Edulliset		Kuorma	Pääasiallinen
(Yht. 6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	(Yht. 6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$
						(Yht. 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$
(*) Muuttuvia kuormia ovat taulukossa A1.1 mainitut kuormat.											
<p>HUOM. 1 Valinta kaavan 6.10 tai kaavojen 6.10a ja 6.10b välillä esitettään kansallisessa liitteessä. Jos kansallisessa liitteessä valitaan 6.10a ja 6.10b, niin siinä voidaan kaavasta 6.10a poiketa lisäksi siten, että siihen sisällytetään vain pysyvät kuormat.</p> <p>HUOM. 2 Osavarmuuslukujen γ ja kerrointen ξ arvot voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Seuraavia lukujen γ ja kerrointen ξ arvoja suositellaan käytettäväksi lausekosta 6.10 tai lausekosta 6.10a ja 6.10b.</p> <p>$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$ $\gamma_{G,j,inf} = 1,00$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa) $\gamma_{Q,1} = 1,50$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa) $\xi = 0,85$ (sitä, että $\xi \gamma_{G,j,sup} = 0,85 \times 1,35 \geq 1,15$).</p> <p>Ks. myös standardista EN 1991...EN 1999 pakkojärjelmille tai pakkomuodonmuutoksille käytettävät osavarmuusluvun γ arvoja.</p> <p>HUOM. 3 Kaikkien samasta syystä aiheutuvien pysyvien kuormien ominisarvot korotetaan osavarmuusluvulla $\gamma_{G,j,sup}$. Jos kuormien kokonaisvaikutus on epäedullinen ja osavarmuusluvulla $\gamma_{G,j,inf}$. Jos kuormien kokonaisvaikutus on edullinen. Esimerkiksi kaikkien rakenteen omasta painosta aiheutuvien kuormien voidaan katsoa aiheutuvan samasta syystä; tämä pitää paikkansa silloinkin, kun kyseessä on erilaisia materiaaleja.</p> <p>HUOM. 4 Erityistarkastelussa osavarmuuslukujen γ_G ja γ_Q arvot voidaan jakaa osiin γ_D ja γ_Q ja mallin epävarmuusluvun $\gamma_{D,1}$. Useimmissa tapauksissa voidaan käyttää väärittämiä 1,05...1,15 olevaa $\gamma_{D,1}$-arvoa ja siitä voidaan poiketa kansallisessa liitteessä.</p>											
-ACJ											

Taulukko 6. Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO eli rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus) (Sarja C) (SFS-EN 1990/2006,92).

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määräava muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)	
	Epäedulliset	Edulliset		Pääasiallinen (jos on)	Muut
(Yht. 6.10)	$\gamma G_{j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma G_{j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma Q_{k,1} Q_{k,1}$		$\gamma Q_{i,\psi_{0,i}} Q_{k,i}$
(*) Muuttuvia kuormia ovat taulukossa A1.1 mainitut kuormat.					
HUOM. Osavarmuuslukujen γ arvot voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Osavarmuuslukujen γ suositellavat arvot ovat: $\gamma_{G_{j,sup}} = 1,00$ $\gamma_{G_{j,inf}} = 1,00$ $\gamma_{Q_{k,1}} = 1,30$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa) $\gamma_{Q_{i,j}} = 1,30$ epäedullisessa tapauksessa (0 edullisessa tapauksessa)					
<ACJ					

Taulukko 7. Kuormayhdistelmissä käytettävät kuormien mitoitusarvot (SFS-EN 1990/2006,92).

Yhdistelmä	Pysyvät kuormat G_d		Muuttuvat kuormat Q_d	
	Epäedulliset	Edulliset	Määräava	Muut
Ominaisyhdistelmä	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Tavallinen yhdistelmä	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Pitkäaikaisyhdistelmä	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

2.2.2 Yleiset kuormat, omat painot ja hyötykuormat

Rakennusten oma paino luokitellaan pysyväksi kiinteäksi kuormaksi. Rakennusten omaan painoon luetaan:

- kantavat ja ei-kantavat rakennusosat
- kiinteät laitteet
 - hissit ja muut nostolaitteet
 - lämmitys ja ilmastointilaitteet
 - putkistot
 - kaapelirivit ja kanavat
- maakerrokset

Omat painot määritetään nimellismittojen ja tilavuuspainojen avulla. Rakennusosien oma paino otetaan huomioon kuormia yhdistettäessä yksittäisenä kuormana. (SFS-EN 1991-1-1/2002, 20-24.)

Rakennusten hyötykuormat luokitellaan muuttuviksi liikkuviksi kuormiksi. Hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Eurokoodissa on määritelty hyötykuormien arvot, jotka sisältävät:

- normaalin henkilökäytön
- huonekalut ja siirrettävät kohteet
- ajoneuvot

- odotettavissa olevat harvinaiset tapahtumat kuten henkilöiden kokoontumisen, huonekalujen kasaantumisen tai tavaroiden siirtämisen ja pinoamisen

Mitotustilanteessa otetaan huomioon liikkuvan kuorman vaikutus epäedullisimmassa kohdassa. Kun hyötykuormat vaikuttavat samanaikaisesti muiden muuttuvien kuormien, kuten lumen tai tuulen vaikutusten kanssa, tulee kuormitustapauksessa huomioon otettavaa kokonaishyötykuormaa pitää yksittäisenä kuormana. (SFS-EN 1991-1-1/2002, 20-28.)

Eurokoodissa rakennusten hyötykuormien ominaisarvot on luokiteltu tilojen käyttötarkoituksen mukaisesti. Asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistotilat kuuluvat luokkiin A...D, varasto- ja tuotantotilat luokkaan E, autotallit ja liikennöntialueet (siltoja lukuun ottamatta) luokkiin F ja G sekä vesikatot luokkiin H...K. Taulukossa 8 on esitetty Suomen Rakennusinsinöörien liiton (2017) Eurokoodista kokoamat rakennusten tilojen luokat ja niihin liittyvien hyötykuormien ominaisarvot. (SFS-EN 1991-1-1/2002, 28-42.)

Taulukko 8. Rakennuksen tilojen luokat ja niihin liittyvät hyötykuormat (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 71-72).

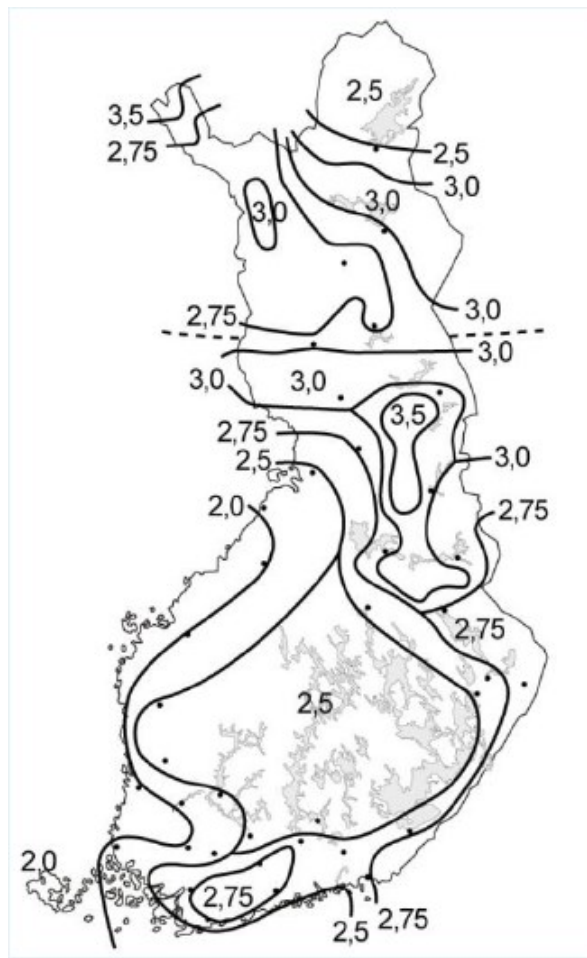
Luokka	Käyttötarkoitus	Pinta-alakuorma q_k [kN/m ²]	Pistekuorma Q_k [kN/m]
A	Asunto ja majoitustilat	välipohjat 2,0 portaot 2,0 parvekkeet 2,5	2,0
B	Toimistotilat	välipohjat 2,5 portaot 3,0 parvekkeet 2,5	2,0
C1 (kokoontumistilat)	Tilat, joissa on pöytiä yms.	välipohjat 2,5 portaot 3,0 parvekkeet 2,5	3,0
C2 (kokoontumistilat)	Tilat, joissa on kiinteät istuimet	välipohjat 3,0 portaot 3,0 parvekkeet 3,0	3,0
C3 (kokoontumistilat)	Tilat, joissa ei ole liikumista rajoittavia esteitä	välipohjat 4,0 portaot 3,0 parvekkeet 4,0	4,0
C4 (kokoontumistilat)	Liikuntatilat	välipohjat 5,0 portaot 3,0 parvekkeet 5,0	4,0
C5 (kokoontumistilat)	Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumista	välipohjat 6,0 portaot 6,0 parvekkeet 6,0	4,0
D1 (myymälätilat)	Tavallisten vähittäiskauppojen tilat	välipohjat 4,0 portaot 3,0 parvekkeet 4,0	4,0
D2 (myymälätilat)	Tavaratalojen tilat	välipohjat 5,0 portaot 6,0	7,0

		parvekkeet 5,0	
E1 (Varasto- ja tuotantotilat)	Varastotilat	välipohjat 7,5 portaot 3,0	7,0
E2 (Varasto- ja tuotantotilat)	Teollisuuskäyttö	määritetään hankekohtaisesti	määritetään hankekohtaisesti
F (Liikennöntialueet)	Kevyiden ajoneuvojen liikennönti- ja pysäköintialueet	välipohjat 2,5 portaot 3,0	20
G (Liikennöntialueet)	Keskiraskaiden ajoneuvojen liikennönti- ja paikoitusalueet	välipohjat 5,0 portaot 3,0	90
H (vesikatot)	Vesikatot, joille on pääsy vain huolto- ja korjaamista varten	0,4	1,0
I (Vesikatot)	Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...G mukaisesti	kuormat luokkien A...G mukaisesti	
K (Vesikatot)	Erityistoimintoja varten olevat vesikatot	määritetään erityistoiminnon mukaisesti hankekohtaisesti	

2.2.3 Lumikuormat

Eurokoodissa rakennusten lumikuormat luokitellaan normaaliolosuhteissa muuttuviksi kiinteiksi kuormiksi. Tietyin rajaehdoin, kuten maantieteelliset tekijät, voidaan Euroopassa lumikuorma luokitella myös onnettomuuskuormaksi. Suomessa saa kansallisen liitteen (Ympäristöministeriö 2017a, 19) mukaan soveltaa vain standardin mukaisia normaaliolosuhteita. (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 20.)

Lumikuorma maanpinnalla on määritetty Suomen kansallisessa liitteessä kuvan 1. mukaisesti.



Kuva 1. Lumen ominaisarvot (s_k) maassa (Ympäristöministeriö 2017a, 15).

Kattojen lumikuormat lasketaan kaavalla 2.

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad (2)$$

missä μ_i on lumikuorman muotokerroin,
 C_e tuulensuojaiskerroin
 C_t lämpökerroin ja s_k lumikuorman ominaisarvo maassa.

Lumikuorma vaikuttaa pystysuoraan kattopinnan vaakaprojektiota kohti. (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 28.)

Tuulensuojaiskertoimet on määritetty Suomen kansallisessa liitteessä. Katon lyhemmän sivun ollessa pidempi kuin 50 m kerrotaan tuulensuojaiskertoimet korotuskertoimella. Tuulensuojakertoimet on esitetty taulukossa 9 ja korotuskertoimet taulukossa 10. Lumikuormaa voidaan pienentää käyttämällä lämpökerrointa C_t , kun kattorakenteen lämmöneristys on vähäinen. Lämpökertoimen käyttö vaatii tarkempaa selvitystä ja Suomessa tulee joka tapauksessa käyttää lumikuormana s vähintään arvoa $0,5 \text{ kN/m}^2$. (Ympäristöministeriö 2017a, 16.)

Taulukko 9. Katon tuulensuojaisuuskertoimen arvot c_e (Ympäristöministeriö 2017a, 17).

Maastotyyppi	c_e
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

Tuulinen maasto: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
 Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
 Suojainen maasto: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

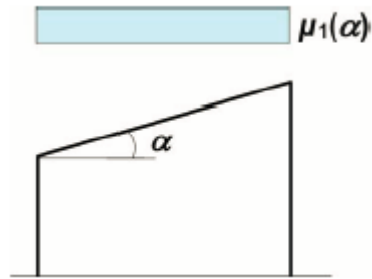
Taulukko 10. Katon tuulensuojaisuuskertoimen korotuskertoimet katolle, jonka lyhyemmän sivun pituus on yli 50 m (Ympäristöministeriö 2017a, 17).

Lyhyt sivu (m)	Pitkän sivun suhde lyhyeen sivuun	
	1	2
50	1,0	1,1
75	1,1	1,2
100	1,2	1,25

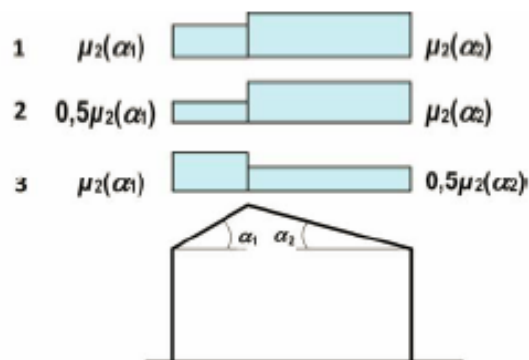
Eurokoodissa on määritelty kinostuneen ja kinostumattoman lumen kuormituskaavioita koskevat katon muotokertoimet. Taulukossa 11 on esitetty lumikuorman muotokertoimet katon kaltevuuskulman perusteella. Muotokertoimen $\mu_1(0^\circ)$ suositusarvo on 0,8. Taulukon arvot ovat voimassa, jos lunta ei estetä liukumasta katolta. Jos katolla on lumieste tai muu este, joka estää lumen liukumisen, käytetään muotokertoimelle vähintään arvoa 0,8. Kuvassa 2 on esitetty pulpettikaton ja kuvassa 3 harjakaton muotokertoimet. Kuvassa 3 tapaus ii on kinostumattomalle lumelle ja tapaukset ii sekä iii kinostuneelle lumelle. (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 30-34.)

Taulukko 11. Lumikuorman muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 32).

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30^\circ$	1,6	–



Kuva 2. Pulpettikaton muotokerroin (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 32).



Kuva 3. Harjakaton lumikuorman muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-1-3/2015, 34).

2.2.4 Tuulikuormat

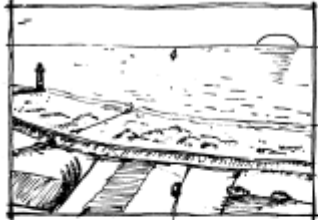
Tuulikuormat luokitellaan pääosin kiinteiksi muuttuviksi kuormiksi. Tuulikuormat aiheuttavat painetta umpinaisten rakenteiden ulkopintoihin ja välillisesti ulkopinnan huokoisuuden vuoksi myös sisäpintoihin. Tuulikuormat voivat myös vaikuttaa avoimien rakenteiden sisäpintoihin. Tuulenpaine aiheuttaa rakenteen tai verhousosan pintaa vastaan kohtisuoria voimia. Tuulen vaikutukseen rakenteessa eli rakenteen vasteeseen vaikuttavat rakenteen koko, muoto ja dynaamiset ominaisuudet. Rakenteiden vaste lasketaan tietyllä nopeuspainekorkeudella vaikuttavan puuskanopeuspaineen q_p , voima- ja painekertoimien sekä rakennekertoimen $c_s c_d$ perusteella. (SFS-EN 1991-1-4/2011, 30-32.) Rakennekertoimelle voidaan käyttää arvoa 1, jos rakennuksen korkeus on alle 15 m (SFS-EN 1991-1-4/2011, 48).

Puuskanopeuspaineeseen vaikuttavat ilmastotekijät, maaston rosoisuus, pinnan muodostus ja nopeuspainekorkeus. Eurokoodissa on määritetty viisi eri maastoluokkaa ympäröivän maaston rosoisuuden mukaan. Kuvassa 4 on esitetty maastoluokkien kuvaukset. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo tasaisessa maastossa maastoluokan ja rakennuksen korkeuden

perusteella voidaan määrittää kuvan 5 mukaisesti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 130-136.) Tässä työssä otetaan huomioon ainoastaan tasaiset maastot, sillä hallien rakennuspaikat ovat yleisimmin melko tasaisessa maastossa käyttötarkoituksensa vuoksi.

Maastoluokka 0

Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue



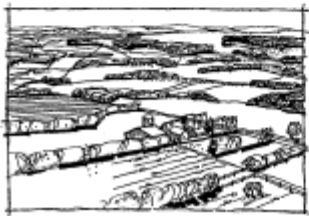
Maastoluokka I

Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä



Maastoluokka II

Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan



Maastoluokka III

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)

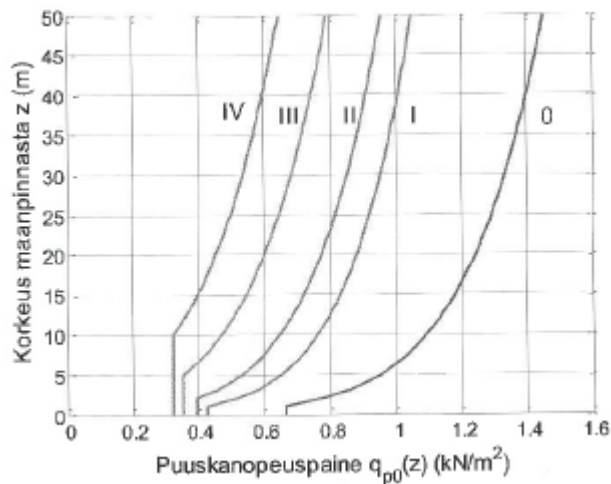


Maastoluokka IV

Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Kuva 4. Maastoluokkien rosoisuuden kuvaukset (SFS-EN 1991-1-4/2011, 58).



Kuva 5. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa tasaisessa maastossa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 136).

Rakennuksen tai yksittäisten rakenneosien tuulikuorma voidaan laskea käyttämällä voimakerrointa (c_f) tai pintapaineiden perusteella käyttämällä painekertoimia (c_p) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 139). Tässä työssä tarkastellaan mastopilari-pilariantura paria vaakarakenteen yhdistämänä kehänä. Kehän tuulikuorma määritetään työssä sen eri osien pintapaineiden summana. Rakenteen ulkopuolinen tuulikuorma lasketaan pintapaineiden perusteella kaavalla 3. Kaavan 3 w_e on yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine ja se lasketaan kaavalla 4.

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{pinnat}} \cdot w_e \cdot A_{\text{ref}} \quad (3)$$

missä $c_s c_d$ rakennekerroin (tässä työssä 1),
 A_{ref} yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4)$$

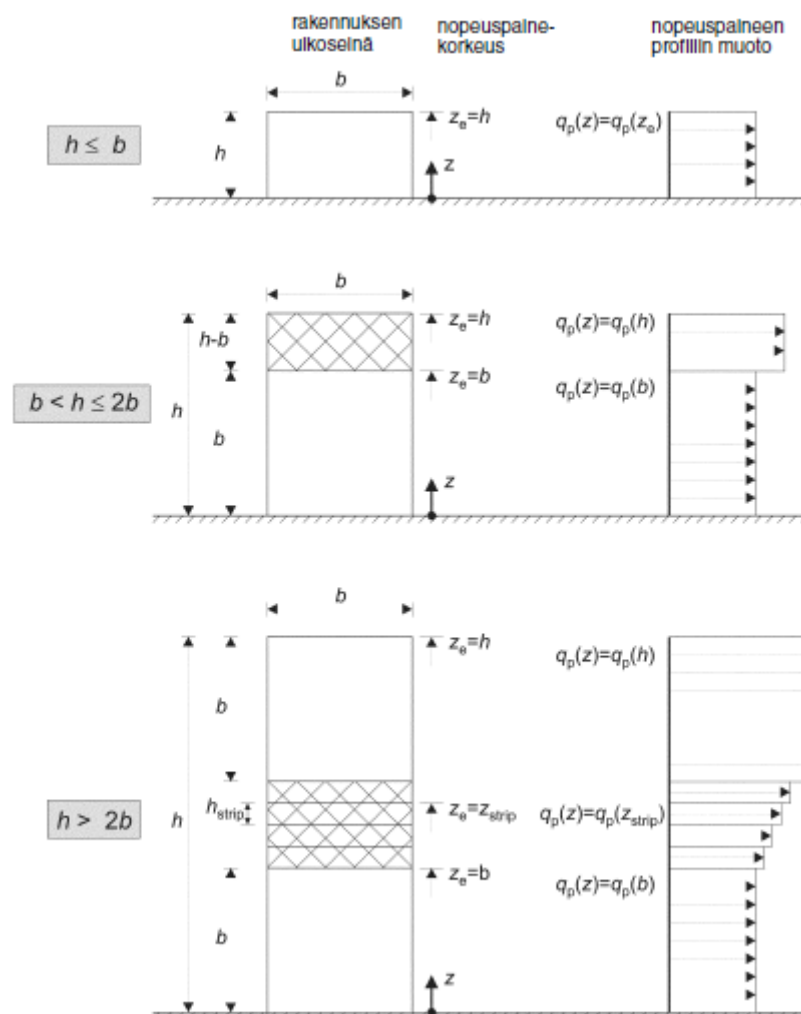
missä c_{pe} ulkoisen paineen kerroin,
 $q_p(z_e)$ on puuskanopeuspaine kuvan 5 mukaisesti.

missä z_e on nopeuspaine korkeus.

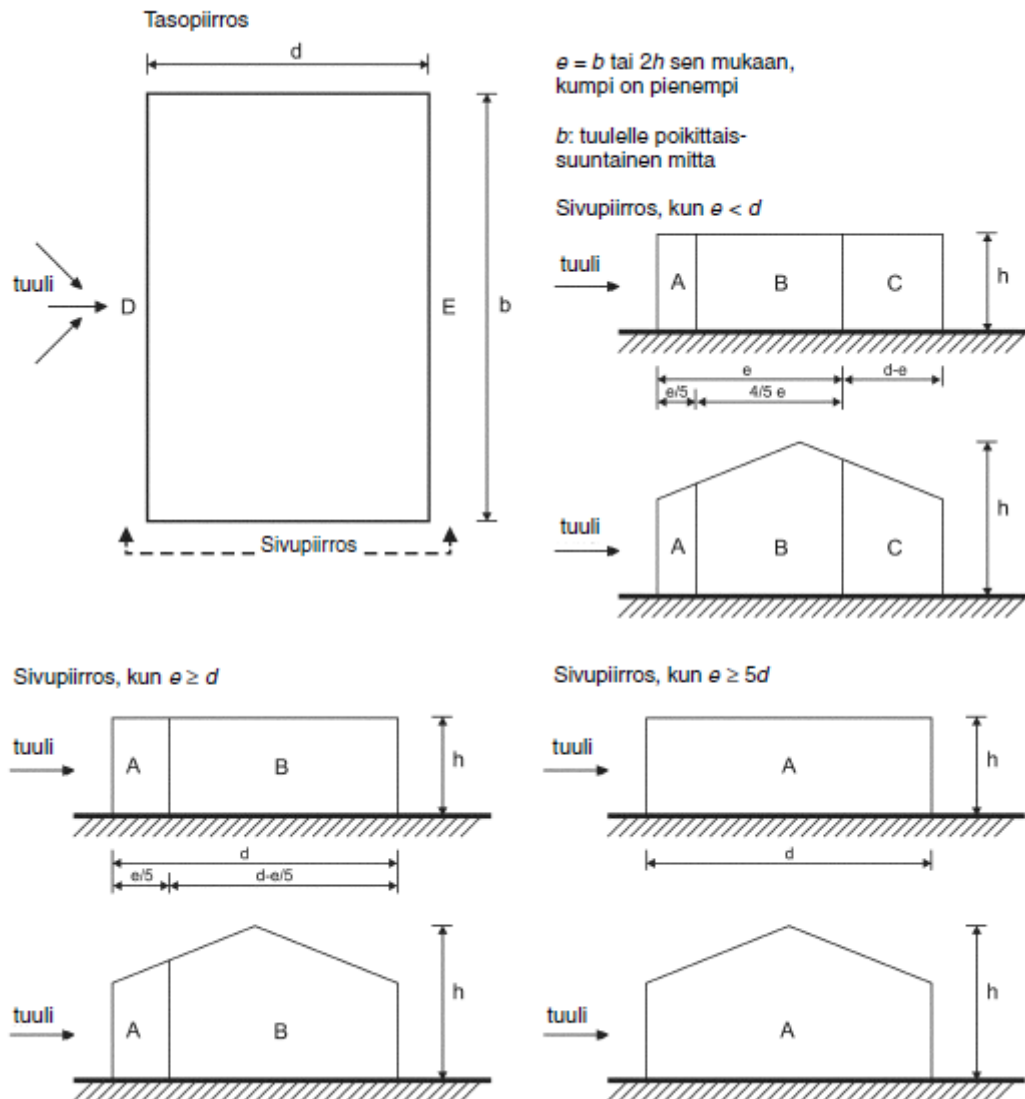
Tuulesta syntyvän kitkan vaikutukset on otettava huomioon, mikäli tuulensuuntaisten pinta-alojen kokonaisala on yli 4-kertainen tuulta vastaan koh-tisuorien pintojen pinta-alaan verrattuna. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 143.)

Pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystyseiniin tuulenpaineet määritetään kuvan 6 mukaisesti. Matalilla rakennuksilla ($h \leq b$) Nopeuspaine määritetään h eli harjakorkeuden mukaisesti. Tässä työssä käsitellään ai-noastaan matalia rakennuksia. Ulkopuolisen paineen kertoimen c_{pe} arvot

riippuvat tarkasteltavan pinta-alan A suuruudesta. Paine kertoimet on luokiteltu pinta-alan 1 m^2 ja 10 m^2 mukaan. Kuvassa 7 esitetään pohjaltaan suorakulmaisen rakennuksen pystyseiniä koskevat tuulenpainevyöhykkeet ja taulukossa 12 ulkopuoleisen paineen kertoimet eri vyöhykkeille rakennuksen sivusuhteiden mukaisesti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 147-148)



Kuva 6. Rakennuksen korkeuden (h) ja leveyden (b) mukaiset nopeuspainekorkeudet z_e (SFS-EN 1991-1-4/2011, 60).



Kuva 7. Pystyseiniä koskevat vyöhykekaaviot (SFS-EN 1991-1-4/2011, 62).

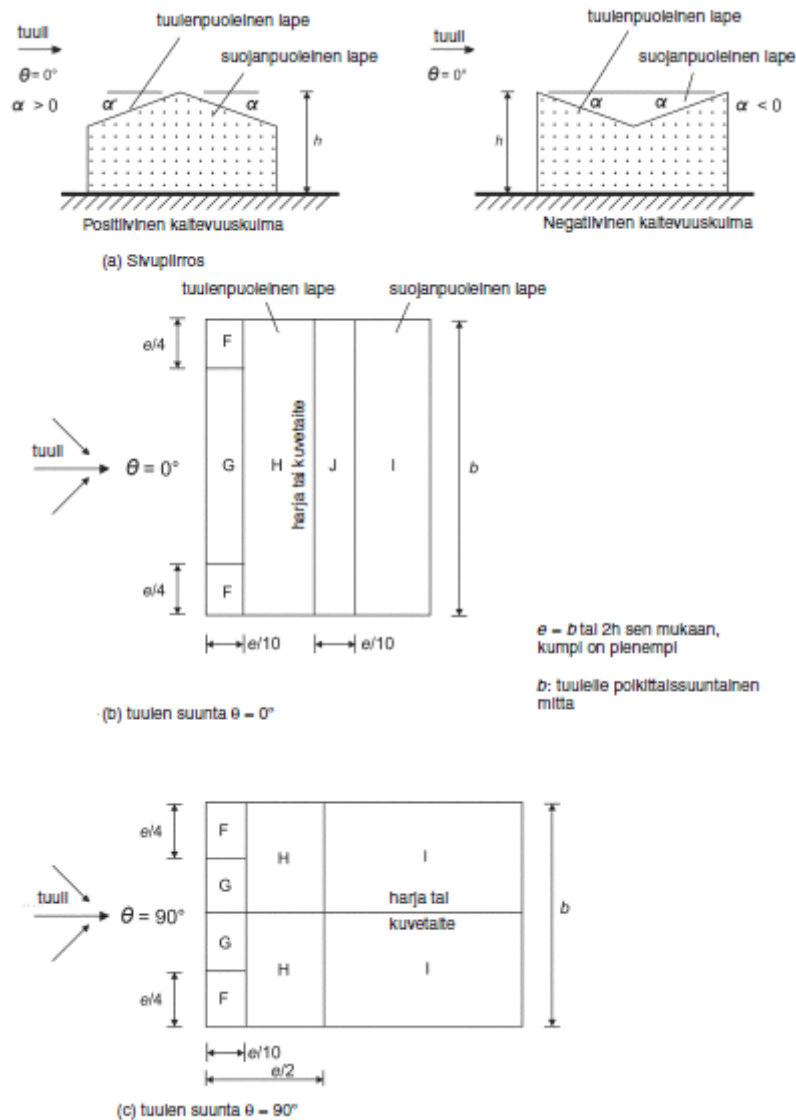
Taulukko 12. Ulkopuolisen paineen kertoimet pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuorille seinille (Suomen Rakennusinsinöörin Liitto 2017, 150).

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{ps,10}$	$c_{ps,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≥ 5 ⁴⁾	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4 ⁻	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

⁴⁾ Kansallisen liitteen mukaan (5 §) tarkennettu standardin taulukkoa.

Kattojen tuulenpainekertoimet riippuvat kattokulmasta ja kattotyypistä. Tässä työssä käsitellään ainoastaan harjakattoja. Pitkillä harjakatoilla ote-

taan tarvittaessa huomioon kitkan vaikutukset. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 155.) Kuvassa on 8 on esitetty harjakaton vyöhykekaaviot ja taulukossa 13 ulkopuoleisen paineen kertoimet eri vyöhykkeille katotokulman mukaisesti.



Kuva 8. Harjakattojen vyöhykekaaviot (SFS-EN 1991-1-4/2011, 74).

Taulukko 13. Ulkopuolisen paineen kertoimien arvot harjakatoille ja kuvetaitteisille katoille (SFS-EN 1991-1-4/2011, 76).

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
5°							-0,6		-0,6	
	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			+0,2	
15°	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
30°	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
45°	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
60°	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

HUOM. 1 Arvolla $\theta = 0^\circ$ paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä tuulenpuoleisella lappeella kaltevuuskulman ollessa välillä $\alpha = -5^\circ \dots +45^\circ$, joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot on esitetty. Tällaisten kattojen osalta tarkastellaan neljää tapausta, joissa kaikkien alueiden F, G ja H suurimmat tai pienimmät arvot yhdistetään alueiden I ja J suurimpien tai pienimpien arvojen kanssa. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

HUOM. 2 Samanmerkkisten kaltevuuskulman arvojen välillä voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota samanmerkkisten kertoimien arvojen välillä. (Kaltevuuskulman arvojen $\alpha = +5^\circ$ ja $\alpha = -5^\circ$ välillä ei pidä interpoloida, vaan käytetään kohdan 7.2.3 mukaisia tasakatoille tarkoitettuja arvoja). Arvot 0,0 on merkitty interpolaatiota varten.

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

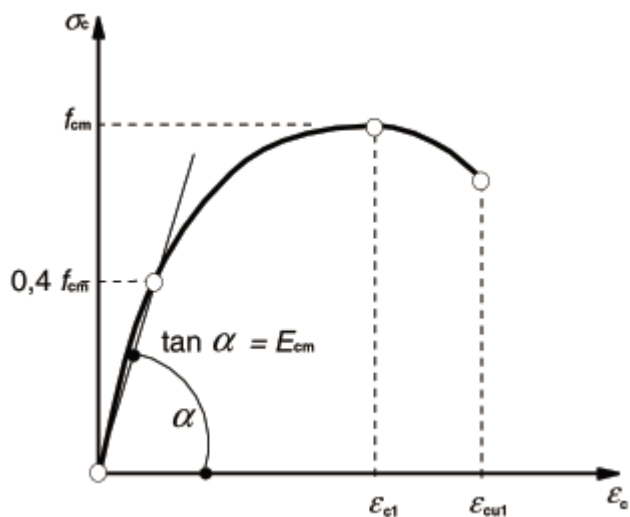
2.3 Teräsbetonin materiaaliominaisuudet

Betonin puristuslujuus osoitetaan lujusluokilla. Lujusluokat perustuvat standardin EN 206-1 mukaiseen 28 vuorokauden ikäiseen lieriölujuuden f_{ck} ja kuutiolujuuden $f_{ck,cube}$ ominaisarvoon. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 28.) Betonin mitoituksessa käytettävä vetolujuus eli ns. suora vetolujuus on noin 5-8 % puristuslujuudesta. Alhaisissa lujusluokissa vetolujuus on suhteellisesti suurempi kuin korkeissa lujusluokissa. (Suomen Betoniyhdistys 2013, 38.) Taulukossa 14 on esitetty betonin eri lujusluokkien lujus- ja muodonmuutosominaisuudet.

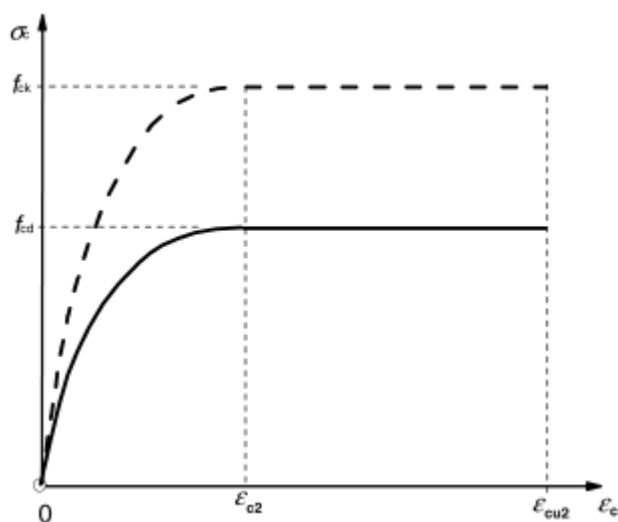
Taulukko 14. Betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet (SFS-EN 1992-1-1/2015, 30).

Betonin lujuusluokka														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ϵ_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ϵ_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ϵ_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ϵ_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ϵ_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

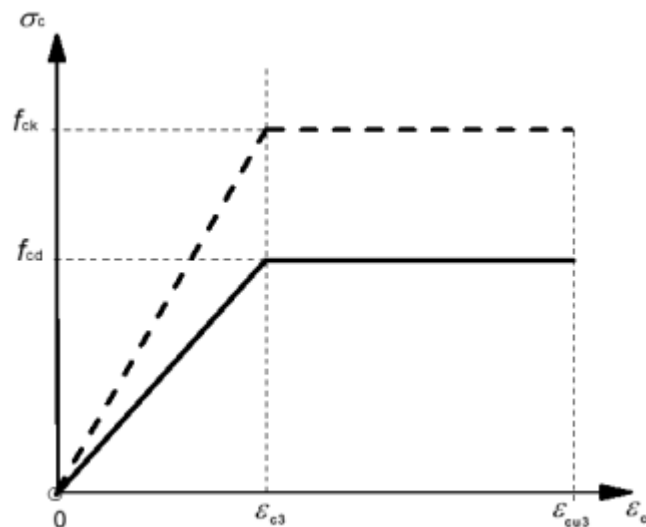
Taulukossa f_{cm} on betonin puristuslujuuden keskiarvo, f_{ctm} vetolujuuden keskiarvo, $f_{ctk, 0,05}$ vetolujuuden ominaisarvon 5 %:n ala-arvo, $f_{ctk, 0,95}$ vetolujuuden ominaisarvon 95 %:n yläarvo, E_{cm} kimmokertoimen keskiarvo ns. sekanttimoduuli, ϵ_{c1} muodonmuutos jännityksen huippuarvon kohdalla jännitys-muodonmuutosyhteyden 1 mukaan, ϵ_{cu1} murtopuristuma jännitys-muodonmuutosyhteyden 1 mukaan, ϵ_{c2} muodonmuutos jännityksen huippuarvon kohdalla jännitys-muodonmuutosyhteyden 2 mukaan, ϵ_{cu2} murtopuristuma jännitys-muodonmuutosyhteyden 2 mukaan, ϵ_{c3} muodonmuutos jännityksen huippuarvon kohdalla jännitys-muodonmuutosyhteyden 3 mukaan, ϵ_{cu3} murtopuristuma jännitys-muodonmuutosyhteyden 3 mukaan. Kuvassa 9 on esitetty Eurokoodin mukainen kimmokertoimen muodostumisperiaate ja kuvissa 10 sekä 11 yksinkertaistetut betonin jännitys-muodonmuutosyhteydet. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 30-36.)



Kuva 9. Rakenneanalyysissä käytettävä jännitys-muodonmuutosyhteyden periaatekuva (SFS-EN 1992-1-1/2015, 35).

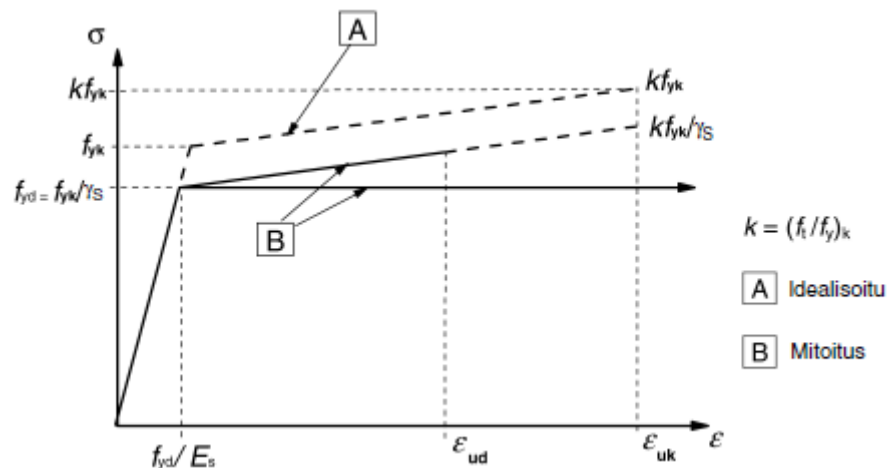


Kuva 10. Puristetun betonin paraabeli-suorakaide-kuvio (SFS-EN 1992-1-1/2015, 36).



Kuva 11. Bilineaarinen jännitys-muodonmuutosyhteys (SFS-EN 1992-1-1/2015, 36).

Teräsbetonirakenteiden mitoituksessa betoniteräksen tärkeimmät materiaaliominaisuudet ovat myötölujuus, tiheys ja kimmokerroin. Mitoituksessa teräksen tiheydeksi oletetaan 7850 kg/m^3 ja kimmokertoimen mitoitusarvoksi E_s 200 GPa. Betoniteräksen jännitys-muodonmuutosyhteys on esitetty kuvassa 12. Betoniteräksen ominaisuudet tulee osoittaa käyttämällä standardin EN 10080 mukaisia testausmenetelmiä. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 38-41.)



Kuva 12. Betoniteräksen idealisoitu jännitys-venymäkuvaaja ja mitoituskuvaajat (SFS-EN 1992-1-1/2015, 41).

Osavarmuusmenetelmän mukaisesti käytetään murtorajatiloja tarkistaessa betonin ja betoniteräksen materiaaliosavarmuuslukuja. Suomessa käytettävät osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 15. Betoniteräksen

mitoitusmyötölujuus saadaan jakamalla ominaisarvo taulukon osavarmuuskertoimella. Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 5 ja vetolujuuden kaavalla 6 missä α_{cc} ja α_{ct} ovat kertoimia, joiden avulla otetaan huomioon puristus- tai vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikatekijät ja kuorman vaikuttamistavasta aiheutuvat epäedulliset tekijät (SFS-EN 1992-1-1/2015, 35). Suomessa käytetään α_{cc} arvona 0,85. α_{ct} arvoa ei ole kansallisessa liitteessä erikseen mainittu, joten käytetään SFS-EN 1992-1-1/2015 mukaista suositusarvoa 1,0.

Taulukko 15. Materiaalien osavarmuusluvut murtorajatiloina (Ympäristöministeriö 2017b, 15).

Mitoitustilanne	Betonin osavarmuusluku γ_c	Betoniteräksen osavarmuusluku γ_s	Jänneteräksen osavarmuusluku γ_{st}
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen mitoitustilanne	1,5	1,15	1,15
Normaalisti vallitsevassa ja tilapäisessä mitoitustilanteessa voidaan käyttää pienennettyjä osavarmuuslukuja mikäli käytössä: - SFS-EN 13670 mukainen toteutusluokka 3 ja toleranssiluokka 2 sekä betonin valmistuksen laadunvalvonta on varmennettu - betonielementeissä SFS-EN 1992-1-1 taulukon A.1 mukaiset pienennetyt poikkeamat sekä betonin valmistuksen laadunvalvonta on varmennettu	1,35	1,10	1,10
Onnettomuustilanne	1,0	1,0	1,0

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (5)$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ct,0,05}}{\gamma_c} \quad (6)$$

2.4 Teräsbetonin säilyvyys

Jotta teräsbetonirakenne täyttää kohdan 2.1 mukaiset vaatimukset koko käyttöikänsä ajan, tulee sen suunnittelussa huomioida ympäristöolosuhteet. Ympäristöolosuhteet aiheuttavat fysikaalisia ja kemiallisia rasituksia mekaanisten kuormitusten lisäksi. Ympäristöolosuhteet jaetaan rasitusluokkiin, jotka on määritetty standardin EN 206-1 perusteella. Rasitusluokat on esitetty taulukossa 16. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 47.)

Taulukko 16. Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat (SFS-EN 1992-1-1/2015, 48)

Luokan merkintä	Ympäristön kuvaus	Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasitusluokkia voi esiintyä
1 Ei korroosion tai rasituksen riskiä		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen
2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korrosio		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2
3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio		
XD1	Kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alltiina ilman sisältäville klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat Betoni on alltiina kloridipitoisille teollisuusvesille
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillan osat, jotka ovat alltiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat
4 Meriveden kloridien aiheuttama korrosio		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä	Merirakenteiden osat
5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alltiit pystysuorat betonipinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alltiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alltiit vaakasuorat betonipinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Jäänsulatusaineille alltiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alltiit betonipinnat Roiskevyöhykkeellä olevat jäätymiselle alltiit merirakenteet
6 Kemiallinen rasitus		
XA1	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi

Betoniteräksiä suojataan riittävällä betonipeitteellä. Betonipeitteen nimelisarvo c_{nom} lasketaan kaavalla 7.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (7)$$

missä c_{min} on betonipeitteen vähimmäisarvo, suurin arvoista $c_{min,dur}$, $c_{min,b}$ tai 10mm
 Δc_{dev} on mittapoikkeama.

$C_{min,b}$ on tartuntavaatimuksesta johtuva ja $C_{min,dur}$ ympäristöolosuhteista johtuva vähimmäisarvo. $C_{min,b}$ arvo on erillisillä tangoilla tangon halkaisija. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 49-50.) $C_{min,dur}$ vähimmäisarvovaatimukset on esitetty taulukossa 17. Muottipintaa vasten valettaessa on sallittu mittapoikkeama 10 mm, ellei toteuttajan sisäinen varmennettu laadunhallintajärjestelmä oikeuta käyttämään toleranssiluokkaa 2, jolloin mittapoikkeama voi olla minimissään 5 mm. Maapohjaa vasten valettaessa, käytetään mittapoikkeamana suunnittelijan harkinnan perusteella arvoa 20...40 mm. (Ympäristöministeriö 2017b, 16.)

Taulukko 17. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset (Ympäristöministeriö 2017b, 17).

Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $C_{min,dur}$ (mm) eri ympäristöolosuhteissa							
Kriteeri	Rasitusluokka standardin SFS-EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan						
	X0	XC1	XC2	XC3, XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5

Huomautus 1. Tartuntajänteille, joiden pitkäaikainen jännitys käyttörajatilassa on korkeintaan 400 N/mm^2 , sovelletaan betoniteräkselle asetettuja vaatimuksia.

Huomautus 2. Betonipeitteen vähimmäisarvoa voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonin lieeriölujuus on vähintään 10 MPa suurempi kuin säilyvyyden kannalta vaadittava vähimmäislieeriölujuus.

Huomautus 3. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset koskevat myös jänneterästen ankureita ja valuun asennettavia metalliosia ellei niitä ole korroosiosuojattu rasitusluokkaa vastaavasti.

Huomautus 4. Betonin säilyvyyden tulee myös muilta osin täyttää 100 vuoden käyttöikävaatimus, mikäli rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta

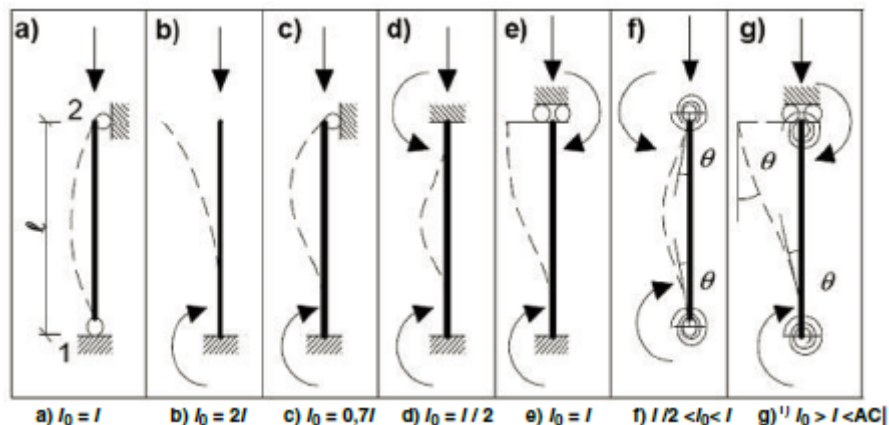
2.5 Mastopilarin mitoitus

2.5.1 Rakenneanalyysi

Rakenneanalyysissä selvitetään rakenteen tai rakenneosan voimasuurejakautumat tai jännitysten, muodonmuutosten ja siirtymien jakaumat. Analyysissä käytettäviä yleisimpiä idealisointeja ovat lineaarisen kimmoteorian mukainen toiminta, lineaarisen kimmoteorian mukainen toiminta momenttien jakautuessa uudelleen rajallisesti, plastisuusteorian mukainen toiminta ja epälineaarinen toiminta. Mastopilarin rakenneanalyysissä olennaisia asioita ovat nurjahdus, mittaepätarkkuudet sekä toisen kertaluvun vaikutukset. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 53.)

Nurjahduksella tarkoitetaan epästabiiliudesta johtuvaa rakenneosan tai rakenteen murtumista puristavan normaalivoiman vaikutuksesta ilman

poikittaiskuormaa. Nurjahduspituus on sellaisen päistään niveltuetun va-kiopoikkileikkauksen omaava sauvan pituus, jolla on sama nurjahduskuorma kuin tarkasteltavalla sauvalla. Nurjahduskuorma on kuorma, jonka vaikutuksesta sauva nurjahtaa. Kuvassa 13 on esitetty esimerkkejä erillisten sauvojen nurjahduspituudesta. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 64.)



Kuva 13. Esimerkkejä erillisten sauvojen erilaisista nurjahdusmuodoista ja vastaavista nurjahduspituuksista (SFS-EN 1992-1-1/2015, 65).

Betonirakenteille käytetään käytännön mitoituksessa taulukon 18 mukaisia nurjahduspituuskertoimia, missä teoreettisia nurjahduspituuksia on korotettu kertoimella k_0 .

Taulukko 18. Eri nurjahdusmuotojen teoreettiset ja mitoituksessa käytettävät kertoimet (Suomen Betoniyhdistys 2014, 120).

Nurjahdusmuoto (kuva 13)	a	b	c	d	e
Teoreettinen	1,0	2,0	0,7	0,5	1,0
Mitoituksessa käytettävä	1,0	2,18	0,77	0,59	1,23

Mahdolliset mittapoikkeamat ja kuormien sijainnin epäedulliset vaikutukset otetaan huomioon rakenneanalyysissä. Epätarkkuudet otetaan huomioon murtorajatiloina normaalisti ja onnettomuuksissa vallitsevissa mitoi-

tustilanteissa. Epätarkkuuksia ei oteta huomioon käyttörajatiloissa. Puristavan normaalivoiman kuormittamilla rakenneosilla ja pystykuormitetuilla rakenteilla epätarkkuudet voidaan laskea vinouden θ_i avulla, kaavan 8 mukaisesti. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 54-55.)

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (8)$$

missä θ_0 on vinouden perusarvo, suositus 1/200
 α_h on pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin
 α_m on rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin.

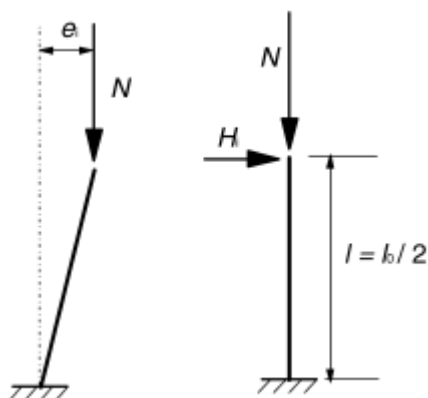
$$\alpha_h = 2/\sqrt{l}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad (9)$$

missä l on pituus tai korkeus.

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (10)$$

missä m on kokonaisvaikutuksen aiheuttavien pystyrakenneosien määrä.

Erillisten rakenneosien epätarkkuudet voidaan ottaa huomioon kahdella eri tavalla, jotka on esitetty kuvassa 14. Tavassa 1 pystykuorma kerrotaan epäkeskisyydellä, e_i . Tavassa 2 rakenteelle lisätään lisävaakavoima H_i suurimman momentin tuottavaan kohtaan. Epäkeskisyyttä voidaan käyttää staattisesti määrätyillä ja poikittaisvoimaa staattisesti määrätyillä sekä määräämättömillä rakenteilla. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 55.)



Kuva 14. Mittaepätarkkuuksien vaikutus erillisellä jäykistämättömällä rakenneosalla (SFS-EN 1992-1-1/2015, 56).

Epätarkkuus e_i lasketaan kaavalla 11 ja vaakavoima H_i kaavalla 12 (SFS-EN 1992-1-1/2015, 55). Pilarin pään korjattu momentti M_{02} joka sisältää mittaepätarkkuuksien ja mittapoikkeamien vaikutukset lasketaan kaavalla 13.

Ensimmäisen kertaluvun momentin mitoitusarvo M_{0Ed} on mastopilarilla sama kuin M_{02} . (Suomen Betoniyhdistys 2014, 133.)

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} \quad (11)$$

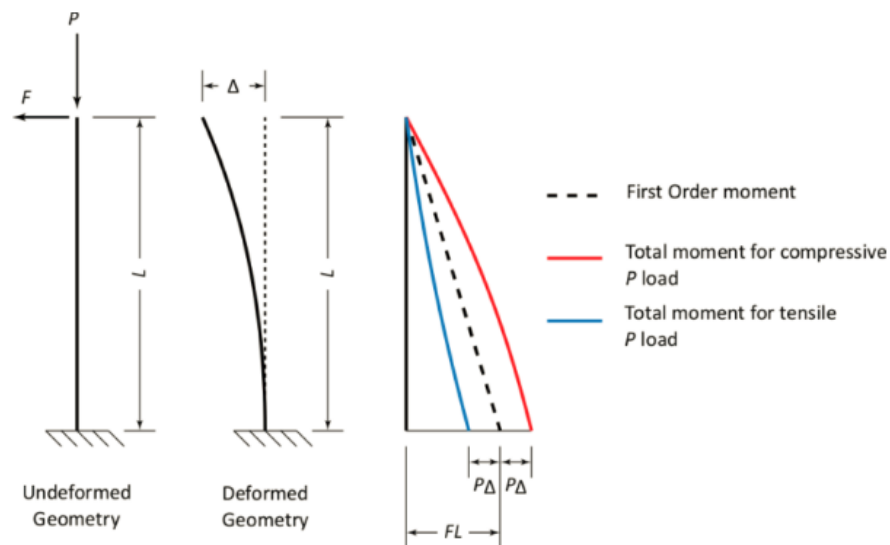
$$H_i = \theta_i \cdot N \quad (12)$$

missä N on normaalivoima.

$$M_{02} = M_{0Ed} = \max(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i \cdot N_{Ed} \quad (13)$$

2.5.2 Toisen kertaluvun vaikutukset

Toisen kertaluvun vaikutuksilla tarkoitetaan rakenteen siirtymätilasta aiheutuvaa voimasuureiden lisäystä. Toisen kertaluvun vaikutukset tulee ottaa huomioon, silloin kun ne todennäköisesti vaikuttavat rakenteen stabiiliuteen tai murtorajatilan saavuttamiseen. Kuvassa 15 on kuvattu mastopilarin toisen kertaluvun momentin muodostumista.



Kuva 15. Second order or P-delta effects (CSi Italia 2018).

Toisen kertaluvun vaikutukset voidaan erillisillä sauvoilla jättää huomiomatta jos sauvan hoikkuus λ on arvoa λ_{lim} pienempi. Sauvan hoikkuusluku λ lasketaan kaavalla 14. Kaavassa l_0 on sauvan nurjahduspituus ja i on halkeilemattoman betonipoikkileikkauksen jäyhyysäde. Jäyhyysäde i lasketaan suorakaidepoikkileikkaukselle kaavalla 15. Hoikkuuden raja-arvo λ_{lim} lasketaan kaavalla 16. Kaavan 16 muuttujien A, B ja C likiarvoina voidaan käyttää $A=0,7$ $B=1,1$ ja mastopilareilla $C=0,7$. Tässä työssä ei esitetä näiden muuttujien tarkempaa laskentaa, sillä niiden määrittäminen on työlästä ja vaikutus lopputulokseen on pieni. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 64-65.)

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (14)$$

missä

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad (15)$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

missä

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (17)$$

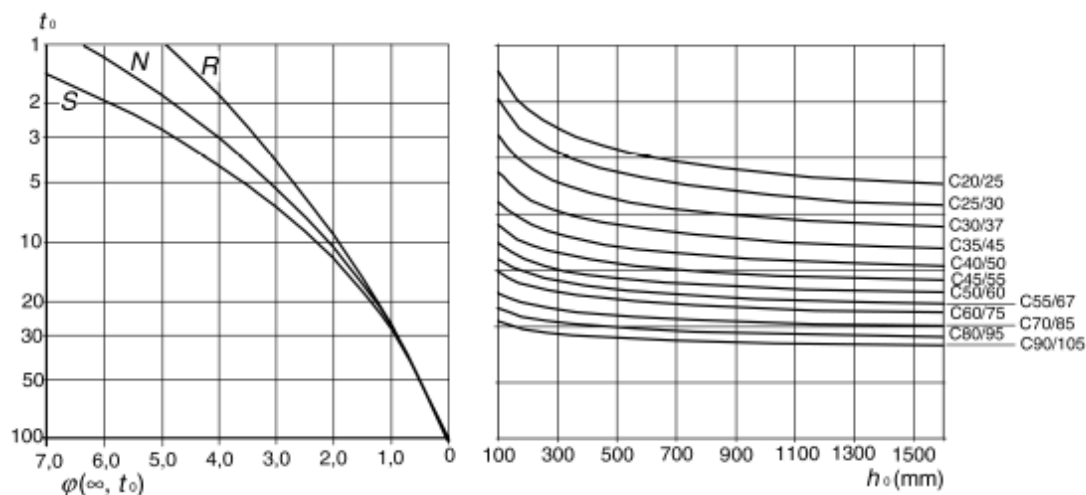
Lineaarisen kimmoteorian mukaisessa toisen kertaluvun tarkastelussa otetaan huomioon viruman vaikutukset. Kuormien kesto otetaan huomioon yksinkertaistetulla menetelmällä virumisasteen φ_{ef} avulla. Virumisasteen ja mitoituskuorman avulla saadaan määritettyä pitkäaikaiskuormaa vastaava viruma eli käyritymä. Virumisaste lasketaan kaavalla 18. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 67.)

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} \quad (18)$$

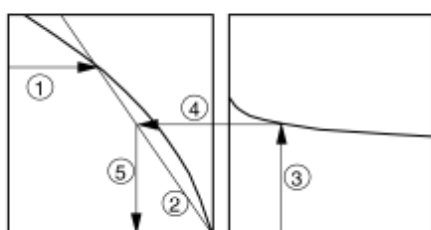
missä $\varphi(\infty, t_0)$ on virumaluvun loppuarvo
 M_{0Eqp} lineaarisen laskennan mukainen käyttörajatilan momentti pitkäaikaisilla kuormilla
 M_{0Ed} lineaarisen laskennan mukainen taivutusmomentin mitoitusarvo.

Virumaluvun loppuarvo määritetään kuvan 16 käyrästöjen avulla seuraavasti.

1. Vasemman puolen käyrästöön piirretään vaakasuora viiva kuormitusiän kohdalle
2. Yhdistetään suoran 1 ja käyrän N (jos käytetään normaalisti kovettuvaa sementtiä) leikkauspiste origoon
3. Oikean puolen käyrästöön piirretään pystysuora viiva muunnetun paksuuden kohdalle
4. Piirretään vaakasuora viiva suoran 3 ja betonin lujuusluokan käyrän leikkauspisteen kautta vasemmanpuoleiseen käyrään suoralle 2
5. Piirretään pystysuora viiva suorien 2 ja 4 leikkauspisteen kautta viruma-arvosuoralle ja luetaan virumaluku (Suomen Betoniyhdistys 2013, 48.)

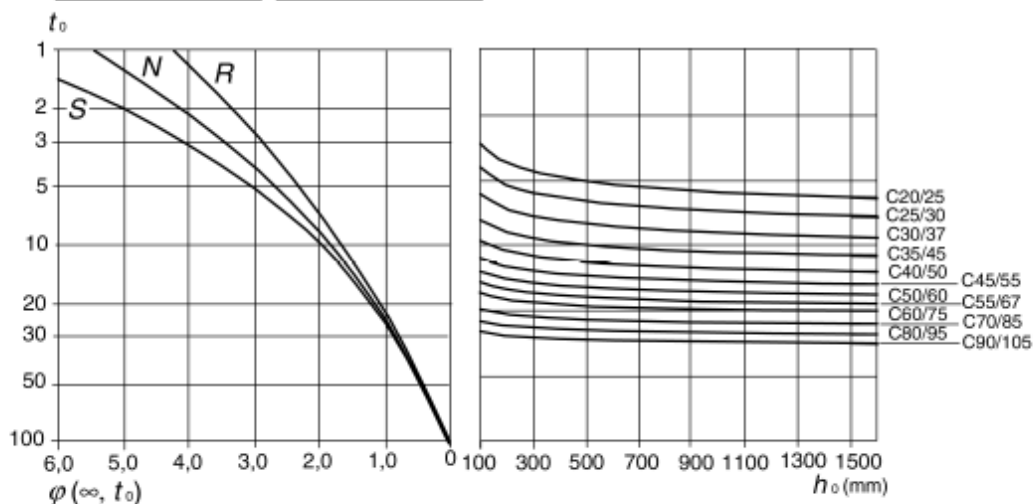


a) sisätilat – suhteellinen kosteus = 50 %



HUOM.

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



b) ulkotilat – suhteellinen kosteus = 80 %

Kuva 16. Virumaluvun loppuarvon määrittäminen normaaleissa ympäristöolosuhteissa olevalle betonille (SFS-EN 1992-1-1/2015, 32).

Toisen kertaluvun analyysimenetelmiä ovat yleinen menetelmä, joka perustuu epälineaariseen toisen kertaluvun analyysiin ja yksinkertaistetut nimellisyäkkyteen ja nimelliseen kaarevuuteen perustuvat menetelmät. Tässä työssä käsitellään yksinkertaistettuja menetelmiä, niiden soveltumassa paremmin käsin laskentaan ja Excel-pohjaiseen laskentaohjelmaan. Nimellisyäkkyden menetelmä soveltuu erillisille rakennesosille ja kokonaisille rakenteille, jos nimelliset jäykkyyssarvot arvioidaan tarpeeksi tarkasti. Nimellisen kaarevuuden menetelmä soveltuu pääasiassa erillisille rakennesosille, mutta myös kokonaisille rakenteille jos kaarevuuden jakauma oletetaan realistiseksi. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 68.)

Nimellisjäykkyyteen perustuvassa analyysissä käytetään taivutusjäykkyyden nimellisarvoja, joissa otetaan huomioon halkeilu, materiaalin epälineaarisuus ja virumisen vaikutus. Nimellisjäykkyyden mukainen jäykkyydellä poikkileikkaukseltaan mielivaltaiselle puristussauvalle lasketaan kaavalla 19. (SFS-EN 1992-1-1/2015, 69.) Kaavat 20...28 nimellisjäykkyyden muuttujien ratkaisemiseksi ovat Suomen Betoniyhdistyksen (2014, 124-125, 150-151) mukaisia.

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s \quad (19)$$

Betonin vaikutuskerroin K_c kun $\rho \geq 0,002$

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} \quad (20)$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \phi_{ef}} \quad (21)$$

missä

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20 \text{ MPa}}} \quad (22)$$

$$k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0,20 \quad (23)$$

Betonin vaikutuskerroin K_c kun $\rho \geq 0,01$

$$K_c = \frac{0,3}{1 + 0,5 \cdot \phi_{ef}} \quad (24)$$

Betonin kimmokertoimen mitoitusarvo

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} \quad (25)$$

missä γ_{cE} on kimmokertoimen osavarmuusluku 1,2.

Betonin jäyhyysmomentti, suorakaidepoikkileikkaus

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (26)$$

Raudoituksen vaikutuskerroin $K_s = 1$ kun $\rho \geq 0,01$ ja $K_s = 0$ kun $\rho \geq 0,002$

Raudoituksen kimmokerroin luvun 2.3 mukaisesti $E_s = 200 \text{ GPa}$

Raudoituksen jäyhyysmomentti

$$I_s = A_s \cdot e_s^2 \quad (27)$$

missä e_s on raudoituksen keskiöetäisyys poikkileikkauksen pintakeskiöstä, suorakaidepoikkileikkauksella:

$$e_s = \frac{h}{2} - d_s \quad (28)$$

Nimelliseen jäykkyyteen perustuva kriittinen nurjahduskuorma saadaan Eulerin nurjahdusteorian mukaisesta nurjahduskestävyyden kaavasta käyttämällä jäykkyytenä nimellistä jäykkyyttä (Suomen Betoniyhdistys 2014, 125).

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_0^2} \quad (29)$$

Toisen kertaluvun momentin sisältävä kokonaismitoitusmomentti saadaan korottamalla ensimmäisen kertaluvun analyysin momenttia, missä on epätarkkuuksien vaikutus mukana, momentin suurennuskertoimella kaavan 30 mukaisesti.

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot 1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \quad (30)$$

missä

$$\beta = \frac{\pi^2}{c_0} \quad (31)$$

SFS-EN 1992-1-1 (2015) on epäselvä c_0 määrittämisestä. Mastopilarille voidaan käyttää Suomen Betoniyhdistyksen (2014, 126) ja SFS-EN 1992-1-1 (2015, 71) mukaista yksinkertaistusta $\beta = 1$. Yksinkertaistus vastaa likiarvoisesti momenttijakaumaa paraabeli tai sinimuotoisesti Suomen Betoniyhdistyksen (2015, 126) taulukon 2/7 perusteella. Yksinkertaistuksen jälkeä kaava 30 sievenee kaavaksi 32. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 69-71.)

$$M_{Ed} = \frac{M_{0Ed}}{1 - \frac{N_B}{N_{Ed}}} \quad (32)$$

Nimelliseen kaarevuuteen perustuvassa menetelmässä lasketaan taipumaan perustuva nimellinen lisämomentti nurjahduspituuden mukaan arvioitun kaarevuuden maksimiarvon avulla. Kaarevuus voidaan laskea kaavalla 33 pilareissa, joissa on muuttumaton symmetrinen poikkileikkaus. Nimellisen kaarevuuden menetelmässä käytettävät kaavat ovat SFS-EN 1992-1-1 2015 (71–73), mukaisia.

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} \quad (33)$$

Korjauskertoimen K_r lasketaan kaavalla 34.

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1 \quad (34)$$

Missä $n_{bal} = 0,4$
 n_u lasketaan kaavalla 35.

$$n_u = 1 + \omega \quad (35)$$

missä
$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (36)$$

Virumisen vaikutuksen huomioon ottava kerroin K_φ lasketaan kaavalla 37.

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1 \quad (37)$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} \quad (38)$$

Kerroin $1/r_0$ lasketaan kaavalla 39.

$$1/r_0 = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} \quad (39)$$

missä ε_{yd} raudoituksen murtorajatilan venymä kaavan 40 mukaisesti.

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (40)$$

Kaarevuudesta johtuva taipuma e_2 lasketaan kaavalla 41, missä c on kokonaiskaarevuudesta johtuva kerroin, jolle käytetään normaalisti vakiopoikkileikkauksella arvoa 10.

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{L_0^2}{c} \quad (41)$$

Taipumasta johtuva lisämomentti M_2 lasketaan kaavalla 42 ja toisen kertaluvun mitoitusmomentti kaavalla 43. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 72-73.)

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 \quad (42)$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (43)$$

Koska edellä esitettyjen yksinkertaistettujen toisen kertaluvun laskentamenetelmien kaavoissa tarvitaan raudoituksen kokonaismäärää jäykkyuden tai kaarevuuden määrittämisessä, ovat menetelmät luonteeltaan iteratiivisia.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (2011, 33) on esittänyt yksinkertaisemman menetelmän toisen kertaluvun vaikutusten aiheuttaman taipuman eli nimellisen kaarevuuden menetelmässä käytetyn e_2 laskemiseen. Tämä menetelmä on kaavan 44 mukainen. Mitoitusmomentiksi on Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (2011, 33) esittänyt ekvivalentin momentin M_{0e} ja toisen kertaluvun lisämomentin M_2 summaa. Ekvivalentti momentti lasketaan kaavalla 45. Mastopilarilla ekvivalentin momentin käyttäminen ensimmäisen kertaluvun mitoitusmomenttina johtaa epävarmalla puolella olevaan tulokseen, sillä pilarin yläpään päätemomentti M_{01} on normaalisti mastopilarilla 0. Kaavan 45 M_{02} ja M_{01} sisältävät mittapöytäarvojen vaikutukset kaavojen 11...13 mukaisesti. Oikein käytettynä tämä yksinkertaistettu menetelmä on käyttäjäystävällisempi kuin SFS-EN 1992-1-1 2015 mukaiset menetelmät.

$$e_2 = \left(\frac{\lambda}{130}\right)^2 \cdot d \quad (44)$$

Hoikkuusluku on tässä rajattu niin että suurempaa hoikkuuslukua kuin 100 ei saa käyttää (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2011, 33).

$$M_{0e} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02} \quad (45)$$

Mitoitusmomenttia M_{Ed} tulee vielä verrata SFS-EN 1992-1-1 (2015, 82) mukaisen vähimmäisepäkeskisyyden e_0 aiheuttamaan minimimomenttiin M_{min} . Vähimmäisepäkeskisyyden lasketaan kaavalla 46 ja minimimomentti kaavalla 47. Mitoitusmomentin ollessa pienempi kuin minimimomentti, mitoitusmomenttina käytetään minimimomenttia.

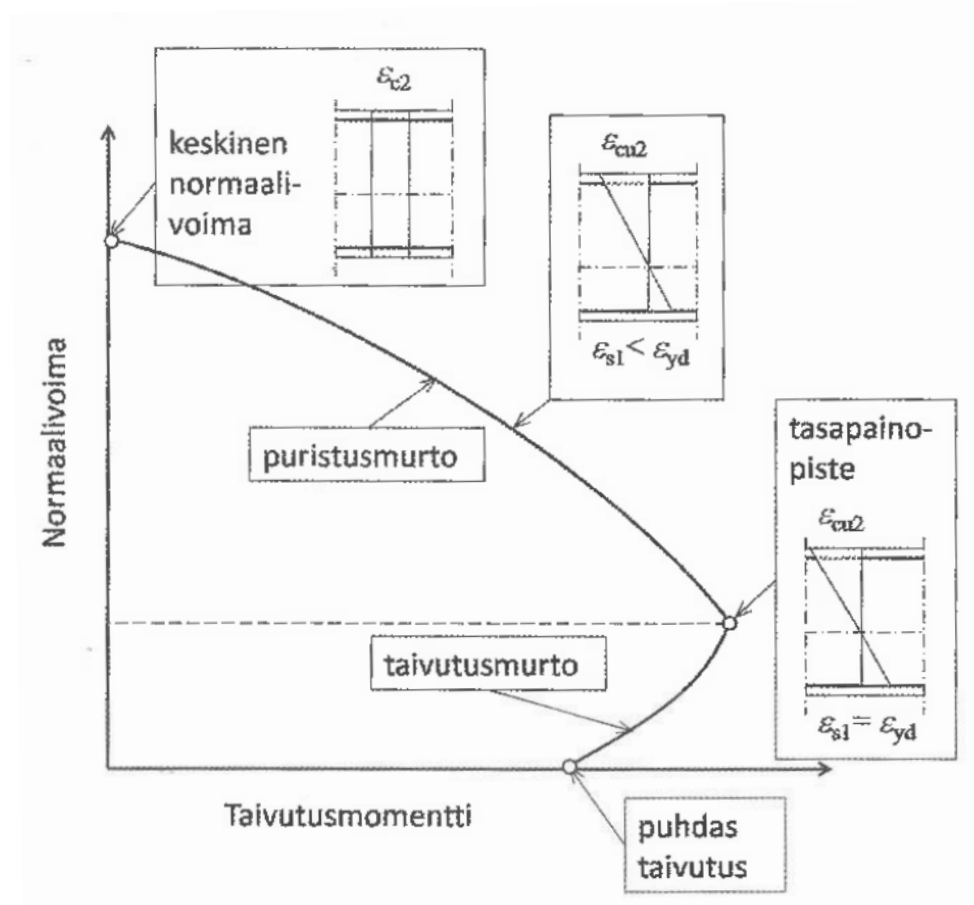
$$e_0 = \frac{h}{30} \geq 20 \text{ mm} \quad (46)$$

$$M_{min} = e_0 \cdot N_{Ed} \quad (47)$$

2.5.3 Pilarin raudoitus

Teräsbetonipilarin poikkileikkausta rasittaa aina taivutusmomentin ja normaalivoiman yhdistelmä, kuten edellisen luvun perusteellakin voidaan päätellä. Pilarin raudoitus voi olla veto- tai puristusrasitettu, myötä- tai vastakkain. Tämän vuoksi raudoituksen mitoitusyhtälöiden määrittely ei ole yksiselitteistä. Kuvassa 17 on esitetty pilaripoikkileikkauksen kestävyyskäyrän kulku. Käyrä leikkaa normaalivoima-akselin kohdassa missä poikkileikkauksella on suurin normaalivoimakestävyys ja taivutusmomenttiakselin puhtaasti taivutuksen tapauksessa. Käyrän taitepisteessä

tapahtuu ns. tasapainomurto missä betonilla on murtopuristuma ja rauditus myötää. Tasapainopisteessä on poikkileikkauksella suurin taivutuskestävyys. Normaalivoiman ollessa suurempi kuin tasapainopisteessä tapahtuu puristusmurto. Taivutusvetomurto tapahtuu normaalivoiman ollessa pienempi kuin tasapainopisteessä.



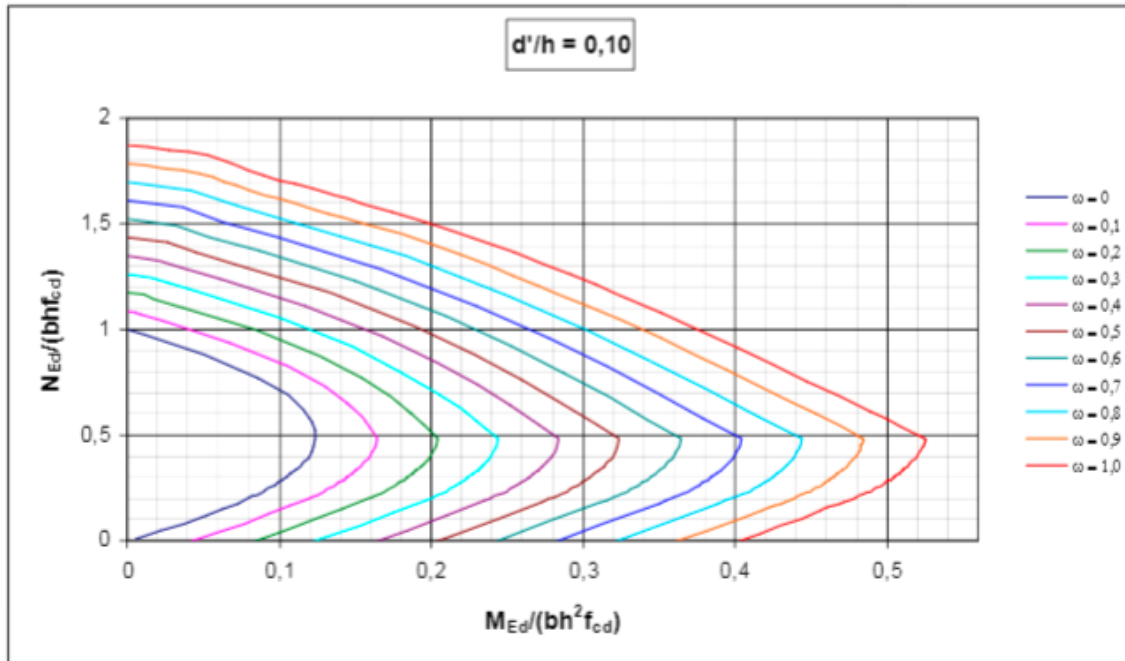
Kuva 17. Pilaripoikkileikkauksen kestävyys, yhteisvaikutuskäyrä, venymätilat eri pisteissä (Suomen Betoniyhdistys 2014, 106).

Käytännön mitoituksessa käytetään valmiiksi määriteltyjä kestävyyskäyrästäjä erilaisille suhteellisen normaalivoiman ja suhteellisen taivutusmomentin yhdistelmille. Suhteellinen normaalivoima n on määritelty kaavassa 17. Suhteellinen taivutusmomentti lasketaan kaavalla 48. Tässä työssä ei tutkita tarkemmin miten kyseiset käyrästäjä on muodostettu, vaan miten niitä voidaan käyttää käytännön mitoitustehtävässä ja käsinlaskentaohjelman laadinnassa. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 106.)

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad (48)$$

Esimerkki mitoituskäyrästäjä on esitetty kuvassa 18. Käyrästäjä on olemassa eri d'/h arvoille, missä d' on raudituksen keskiöetäisyys reunasta, joka lasketaan kaavalla 49. Käyrästäjän vaaka-akselilla on suhteellinen momentti, pystyakselilla suhteellinen normaalivoima ja siihen piirretyt käyrät

esittävät eri mekaanisen raudoitussuhteen ω arvoja. Käyrästöön tehdään suhteellisen normaalivoiman kohdalle vaakaviiva ja suhteellisen momentin kohdalle pystyviiva. Näiden viivojen leikkauspisteestä luetaan ω arvo. Kun ω tunnetaan, voidaan pilarin raudoituksen symmetrinen kokonaismäärä laskea kaavalla 50. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 106-109.)



Kuva 18. Suorakaidepilarin yhteisvaikutusdiagrammi (RTT/Betoni, 2009, 15)

$$d' = c_{\text{nom}} + 1,1 \cdot \phi_h + 1,1 \cdot \frac{\phi}{2} \quad (49)$$

missä ϕ_h on hakaraudoituksen halkaisija
 ϕ pääraudoituksen halkaisija.

$$A_s = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (50)$$

Pääraudoituksen on lisäksi täytettävä seuraavat säännöt. $A_{s,\text{min}}$ on pienempi arvoista $(0,10 \cdot N_{Ed}) / f_{yd}$ tai $0,002 A_c$ (SFS-EN 1992-1-1 2015, 160). $A_{s,\text{max}}$ on $0,12 \cdot A_c$ limityskohdissa ja $0,06 \cdot A_c$ limityskohtien ulkopuolella (Ympäristöministeriö 2017b, 25). Suorakaidepilareissa pääraudoituksen tankomäärä on vähintään 4, yksi jokaisessa nurkassa.

Pääraudoituksia sitovan hakaraudoituksen halkaisija on oltava vähintään 6 mm tai $\frac{1}{4}$ pääraudoituksen halkaisijasta (SFS-EN 1992-1-1 2015, 160). Hakavälin yläraja $s_{cl,\text{tmax}}$ on pienin seuraavista 15 kertaa pienimmän pääraudoituksen halkaisija, 400 mm tai pilarin pienin sivumitta (Ympäristöministeriö 2017b, 25). Hakaväliä pienennetään käyttämällä kerrointa 0,6

poikkileikkauksissa jotka ovat enintään pilarin poikkileikkauksen suuremman mitan etäisyydellä palkin tai laatan ylä- tai alapuolella ja lähellä limitysjatkoksia kun päätankojen suurin halkaisija on suurempi kuin 14 mm. Limityspituudelle sijoitetaan vähintään 3 hakaa tasavälein. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 160.)

2.5.4 Vinto taivutus

Vinto taivutus tarkoittaa samanaikaista taivutusmomenttia pilarin molempien pääakselien suhteen. Vinton taivutuksen mitoitusmenetelmät jaetaan kahteen tapaukseen. Ensimmäinen tapaus tulee kyseeseen mikäli seuraavat ehdot täyttyvät. Hoikkuusluvut eivät poikkea liian paljon toisistaan kaavan 51 mukaisesti ja suhteelliset epäkeskisyydet toteuttavat vähintään toisen kaavassa 52 esitetystä ehdoista. Kun ehdot täyttyvät mitoitetaan poikkileikkauksen rauditus rasitetumman suunnan mukaan ja tarkistetaan riittääkö se myös toisessa suunnassa. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 73.)

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2 \text{ ja } \frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2 \quad (51)$$

Missä hoikkuusluvut y- ja z-akselien suhteen lasketaan kaavan 14 mukaisesti. Nurjahduspituus l_0 ei aina ole sama molempiin suuntiin. Jäyhyysasteen i laskennassa korkeus on y-suunnassa h ja z-suunnassa b kuvan 19 merkintöjen mukaisesti.

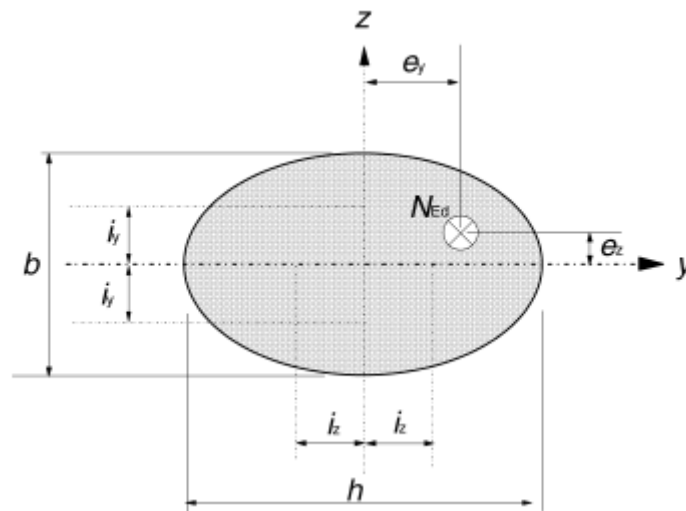
$$\frac{\frac{e_y}{h_{eq}}}{\frac{e_z}{b_{eq}}} \leq 0,2 \text{ tai } \frac{\frac{e_z}{b_{eq}}}{\frac{e_y}{h_{eq}}} \leq 0,2 \quad (52)$$

missä

$$e_y = \frac{M_{Edy}}{N_{Ed}} \quad (53)$$

$$e_z = \frac{M_{Edz}}{N_{Ed}} \quad (54)$$

M_{Edy} ja M_{Edz} ovat toisen kertaluvun vaikutuksesta aiheutuvan lisän sisältävät mitoitusmomentit kyseisen akselin suhteen. Epätarkkuuksista aiheutuva lisä otetaan huomioon vain siinä suunnassa missä sillä on epäedullisempi vaikutus. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 73-74.)



Kuva 19. Epäkeskisyyksien e_y ja e_z määrittelmä (SFS-EN 1992-1-1 2015, 74)

Jos kaavojen 51 ja 52 ehdot eivät toteudu käytetään toisen tapauksen mukaista mitoitusmenetelmää. Poikkileikkauksen rauditus mitoitetaan kummassakin suunnassa erikseen niin että valitaan raudituksen määrä suuremmaksi kuin vähimmäistarve. Kummankin suunnan toimivaksi rauditteenksi huomioidaan se, joka on d' etäisyydellä taivutusakselin suuntaisista reunoista. Lasketaan rauditusmäärää vastaava mekaaninen rauditus-suhde ω kaavalla 55. Kestävyyssäyrältä luetaan normaalivoimaa ja mekaanista rauditussuhdetta vastaava suhteellisen taivutuskestävyyden arvo μ_{Rd} . Lasketaan taivutuskestävyydet molemmissa suunnissa kaavoilla 56 ja 57. Taivutuskestävyys tarkistetaan kaavan 58 mitoitus ehdolla. Kaavan potenssi a riippuu suorakaidepoikkileikkauksessa suhteellisesta normaalivoimasta. Sen arvoja on kerätty taulukkoon 19 ja väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Taulukon N_{Rd} , missä on mukana myös rauditus, laske-taan kaavalla 59. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 112-113.)

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}} \quad (55)$$

$$M_{Rdz} = \mu_{Rdz} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \quad (56)$$

$$M_{Rdy} = \mu_{Rdy} \cdot h \cdot b^2 \cdot f_{cd} \quad (57)$$

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1,0 \quad (58)$$

Taulukko 19. Potenssi a (Suomen Betoniyhdistys 2014, 113).

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

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} \quad (59)$$

2.6 Pilarianturan mitoitus

2.6.1 Geotekninen kantokestävyys

SFS-EN 1997-1 (2014, 32) on esitetty 3 mitoitustapaa geoteknisen kantavuuden laskemiseen. Suomen kansallisen liitteen mukaan Suomessa käytetään antura- ja laattaperustusten mitoituksessa mitoitustapaa 2, kahdella toisistaan poikkeavalla tavalla. Tavassa DA2 pysyvät kuormat kerrotaan laskennan alussa osavarmuuskertoimella $\gamma_{G,inf}$ jos kuorman vaikutus on edullinen tai $\gamma_{G,sup}$ jos kuorman vaikutus on epäedullinen. Vastaavasti muuttuvat kuormat kerrotaan osavarmuuskertoimilla $\gamma_{Q,inf}$ tai $\gamma_{Q,sup}$. Tavassa DA2* laskenta suoritetaan kuormien ominisarvoilla ja osavarmuuslukuja käytetään vasta laskelman lopussa murtorajatilaehdon tarkistamiseen. Tavassa DA2* kaikki kuormat oletetaan epäedullisiksi. Taulukossa 20 on esitetty Suomessa käytettävät maaparametrien osavarmuusluvut. Mitoitustavassa 2 käytetään sarjaa M1. Taulukossa 21 on esitetty antura- ja laattaperustusten kestävyysluvut. Mitoitustavassa 2 käytetään sarjaa R2. (Liikenne- ja Viestintäministeriö 2015, 2-6.)

Taulukko 20. Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (STR/GEO) (Liikenne- ja viestintäministeriö 2015, 7).

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyysskulma ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	γ_c	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,0	1,4
Yksiakselialinen puristuskoef	γ_{qu}	1,0	1,4
Tilavuuspaino	γ_s	1,0	1,0

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko 21. Antura- ja laattaperustusten kestävyysluvut (γ_R) (Liikenne- ja viestintäministeriö 2015, 7).

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,1

Analyttisessä menetelmässä anturan geoteknisen kantavuuden määrittämiseksi otetaan huomioon seuraavien tekijöiden vaikutukset:

- maapohjan lujuus, yleensä esitetty parametrien c_u , c' ja ϕ' mitoitusarvoilla
- mitoituskuormien epäkeskisyyks ja kaltevuus

- perustuksen muoto, syvyys ja kaltevuus
- maanpinnan kaltevuus
- pohjavedenpaineet ja hydrauliset gradientit
- maapohjan vaihtelevuus, erityisesti kerroksellisuus. (SFS-EN 1997-1 2014, 151.)

Kantokestävyys lasketaan eri tavoilla avoimissa olosuhteissa eli kitkamaille ja suljetuissa olosuhteissa eli koheesiomaille. Suljettujen olosuhteiden kantavuuden mitoitusyhtälön yksinkertaistettu versio esitetään kaavassa 60. Koheesiomaalla geoteknisen kantavuuden määräävät kuitenkin useasti painumat. Painumien laskemista ei tässä työssä käsitellä. (SFS-EN 1997-1 2014, 151.)

$$R/A' = (\pi + 2) \cdot c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q \quad (60)$$

Missä yksiköttömät kertoimet ovat:

- perustuksen pohjan kaltevuudelle

$$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \alpha}{\pi + 2} \quad (61)$$

- perustuksen muodolle

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'} \quad (62)$$

$$s_c = 1,2 \text{ neliölle tai ympyrälle} \quad (63)$$

- vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle

$$i_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' \cdot c_u}} \right) \quad (64)$$

$$\text{jolloin } H \leq A' \cdot c_u$$

Kantokestävyden mitoitusarvo avoimissa olosuhteissa lasketaan kaavalla 65. (SFS-EN 1997-1 2014, 151-152.)

$$R/A' = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad (65)$$

Missä yksiköttömät kertoimet ovat:

- kantokestävyydelle

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \cdot \tan^2 \cdot \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (66)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi' \quad (67)$$

$$N_v = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi' \quad (68)$$

Missä $\delta \geq \varphi'/2$ (karhea pohja)

- perustuksen pohjan kaltevuudelle

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \varphi'} \quad (69)$$

$$b_q = b_v = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi')^2 \quad (70)$$

- perustuksen muodolle

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi', \text{ suorakaiteelle} \quad (71)$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ neliölle tai ympyrälle} \quad (72)$$

$$s_v = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'}, \text{ suorakaiteelle} \quad (73)$$

$$s_v = 0,7, \text{ neliölle tai ympyrälle} \quad (74)$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1), \text{ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle} \quad (75)$$

- vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'} \quad (76)$$

$$i_q = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi')]^m \quad (77)$$

$$i_v = [1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi')]^{m+1} \quad (78)$$

Kaavojen 77 ja 78 potenssi m lasketaan kaavalla 79 kun H vaikuttaa B':n suunnassa ja kaavalla 80 kun H vaikuttaa L':n suunnassa.

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \quad (79)$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \quad (80)$$

Jos kuorman vaakakomponentti vaikutussuunta muodostaa kulman tehokkaan pituuden L':n suunnan kanssa, voidaan m laskea kaavalla 81.

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2 \cdot \theta + m_B \cdot \sin^2 \cdot \theta \quad (81)$$

Kantavuuskaavojen merkinnät on esitetty kuvassa 20.

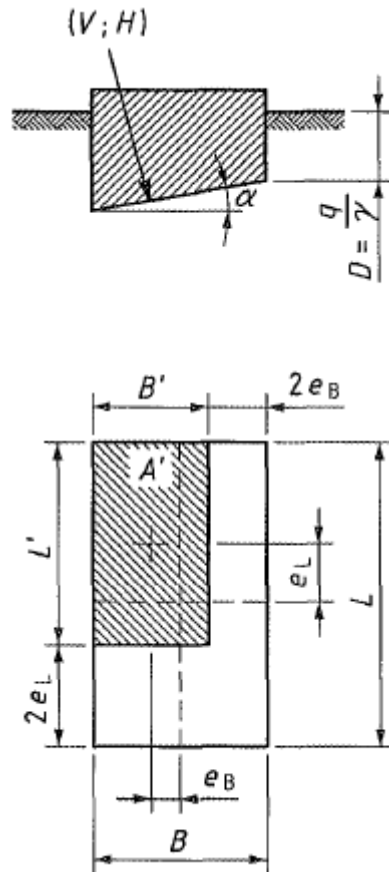
Anturan tehollisten sivumittojen ja tehollisen pinta-alan laskennassa tarvittava epäkeskisyys e lasketaan kaavalla 82. Momentista ja pystykuormasta käytetään murtorajatilan arvoja epäedullisimman vaikutuksen antavassa kuormitusyhdistelmässä, mikäli käytetään mitoitustapaa DA2. Mitoitustavassa DA2* käytetään momentin ja pystykuorman ominaisarvoja. Koska menetelmässä DA2* varmuutta ei kohdisteta momenttikuormitukseen vaan laskelman lopussa ainoastaan pystykuormiin, ei suurempia epäkeskisyyksiä kuin 1/3 perustuksen leveydestä sallita. DA2 menetelmää käytettäessä täytyy kuormien mitoitusarvoja tarkastella erityisen huolellisesti, mikäli epäkeskisyys on yli 1/3 perustuksen leveydestä. Epäkeskisyyttä laskettaessa on huomioitava, että momentti M on laskettava anturan alapinnan suhteen ja pystykuormassa V otetaan huomioon kaikki anturan alapinnan tasolla vaikuttavat pystykuormat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2009, 109, 199.)

$$e = \frac{M}{V} \quad (82)$$

Kaavan 60 q ja 65 q' on perusmaan yläpuoleisen täytön aiheuttama pohjanpaine. Kuvan 20 merkinnöillä q ja q' lasketaan kaavalla 83.

$$q = \gamma \cdot D \quad (83)$$

Missä γ on perusmaan yläpuoleisen täytön tilavuuspaino ja D perustamis-
syvyys.

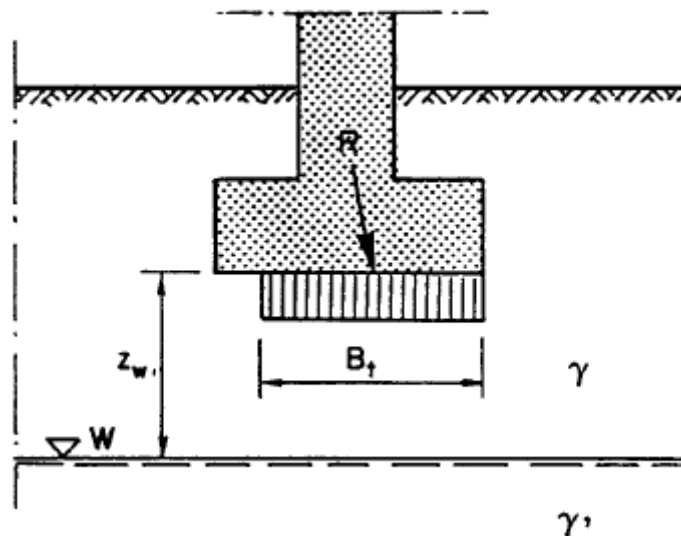


Kuva 20. Merkinnot (SFS-EN 1997-1 2014, 152).

Kaavassa 65 γ on perusmaan tilavuuspaino. Jos pohjaveden pinta on alle B' syvyydellä perustamistasosta täytyy perusmaan tilavuuspaino laskea painotettuna keskiarvona perusmaan tilavuuspainosta pohjaveden ylä- ja alapuolella. Tehokas tilavuuspaino lasketaan kaavalla 84. Kaavan merkinnot on esitetty kuvassa 21. (Tielaitos 1999, 19.)

$$\gamma'_2 = \gamma' + \frac{z_w}{B_t} \cdot (\gamma - \gamma') \quad (84)$$

missä γ on maan tilavuuspaino pohjavedenpinnan yläpuolella ja γ' alapuolella.



Kuva 21. Kaavan 81 merkinnät (Tielaitos 1999, 20).

Mikäli kuormitus ei ole kohtisuorassa perustuksen pohjaa vasten, tulee tarkistaa perustuksen kestävyys pohjaa pitkin tapahtuvaa liukumurtumaa vastaan. Mitoitusyhtälö on esitetty kaavassa 85. Kaavassa H_d on kuorman tai kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo, joka vaikuttaa perustustason suunnassa. R_d on kestävyuden mitoitusarvo ja $R_{p;d}$ perustuksen sivuun kohdistuvan maanpaineen aiheuttaman vastustavan voiman mitoitusarvo. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2009, 108.)

$$H_d \leq R_d + R_{p;d} \quad (85)$$

Avoimissa olosuhteissa antura- ja laattaperustuksilla leikkauskestävyyden mitoitusarvo R_d lasketaan kohdistamalla osavarmuusluvut maapohjan kestävyteen kaavan 86 mukaisesti. Mitoituskittakulman arvo voidaan olettaa yhtä suureksi kuin tehokkaan leikkauskestävyysskulman kriittisen tilan arvo paikalla valetuilla perustuksilla ja $2/3$ siitä sileillä elementtiperustuksilla. V'_d määrittämisessä tulee ottaa huomioon ovatko H_d ja R_d riippumattomia vai toisistaan riippuvia ja käyttää epäedullisimman lopputuloksen antavaa kuormitusyhdistelmää. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2009, 108-109.)

$$R_d = \frac{V'_d \cdot \tan \delta_k}{\gamma_{R,h}} \quad (86)$$

Suljetuissa olosuhteissa antura- ja laattaperustuksilla leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kohdistamalla osavarmuusluvut maapohjan kestävyteen kaavan 87 mukaisesti. Mikäli veden tai ilman tunkeutumista suljetussa tilassa olevan savipohjan väliselle pinnalle ei ole estetty tehdään myös kaavan 88 mukainen tarkastus. Tarkastus voidaan jättää tekemättä

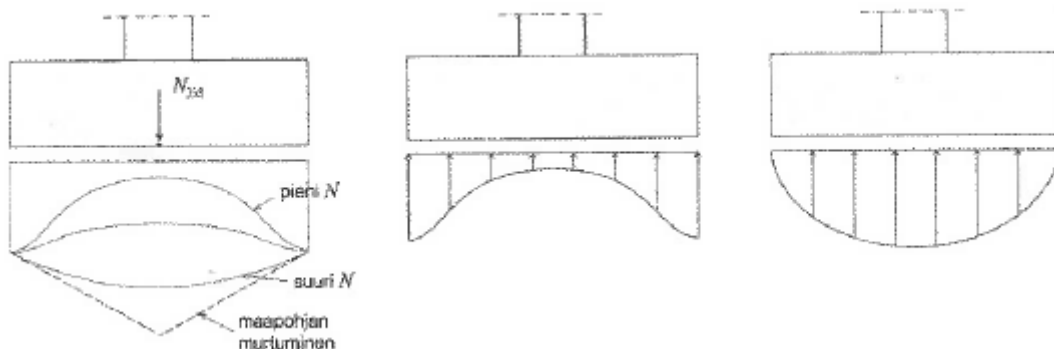
vain, jos perustuksen ja maan välisen raon syntyminen on estetty alipaineilla alueilla, missä ei ole positiivista pohjapainetta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2009, 109.)

$$R_d = \frac{A' \cdot c_{u;k}}{\gamma_{R;h}} \quad (87)$$

$$R_d \leq 0,4 \cdot V_d \quad (88)$$

2.6.2 Taivutusmitoitus

Kun anturan sivumitat on valittu geoteknisessä mitoituksessa, voidaan laskea anturan alapinnassa vaikuttava pohjapaine. Toisin kuin geoteknisessä mitoituksessa, ei anturan rakenneteknisessä mitoituksessa anturan oman painon ja sen päälle tulevien maamassojen oleteta aiheuttavan anturalle kuormitusta. Jäykän anturan pohjapainejakaumat on esitetty kuvassa 22. Pienellä kuormalla pohjapaine on suurempi anturan reunoilla, kuorman kasvaessa pohjapaine tasoittuu ja lopulta maa murtuu. Ennen maan murtumista suurin pohjapaine on anturan keskellä. Kitkamaalajeilla pohjapainejakautuma on kuvan 22 b) ja koheesiomaalajeilla kuvan 22 c) mukainen. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 180.)



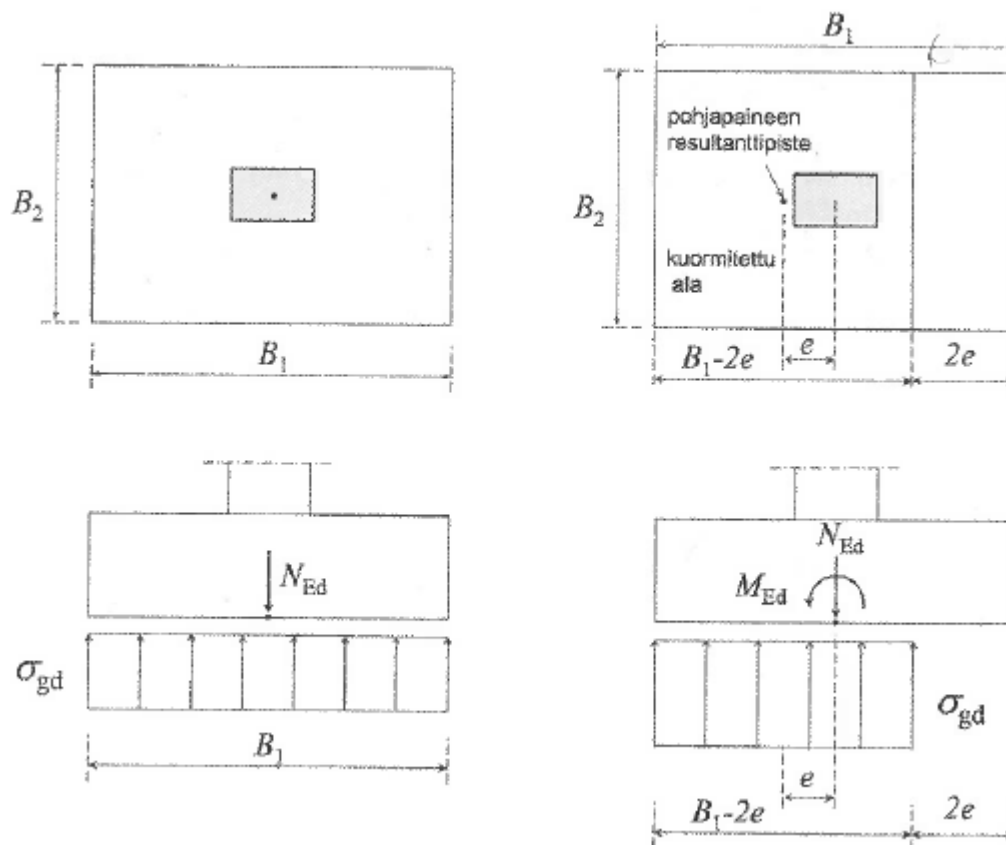
Kuva 22. Pohjapainejakautuma (Suomen Betoniyhdistys 2014, 180).

Murtorajatilamitoituksessa pohjapaine oletetaan tasan jakautuneeksi. Keskeisellä kuormituksella pilarianturan pohjapaine lasketaan kaavalla 89 ja epäkeskisellä kuormituksella kaavalla 90. Kaavojen merkinnät on esitetty kuvassa 23, missä tapaus a) on keskeinen kuormitus ja tapaus b) epäkeskeinen kuormitus. Kaavassa 89 epäkeskisyyttä e lasketaan kaavan 82 mukaisesti murtorajatilan STR epäedullisimman vaikutuksen tuottavan kuormitusyhdistelmän kuormien mitoitusarvoilla. Kaavoissa 89 ja 90 mitoitusnormaalivoima N_{Ed} lasketaan niin ikään murtorajatilan STR epäedullisimman vaikutuksen tuottavalla kuormitusyhdistelmällä. Tämä ei välttämättä epäkeskeisen kuormituksen tapauksessa ole kuormitusyhdistelmä joka

tuottaa suurimman N_{Ed} arvon vaan pienillä pystykuormilla usein yhdistelmä joka tuottaa suurimman momentin ja pienimmän samaan aikaan vaikuttavan pystykuorman. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 180-181.)

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{B_1 \cdot B_2} \quad (89)$$

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{(B_1 - 2 \cdot e) \cdot B_2} \quad (90)$$

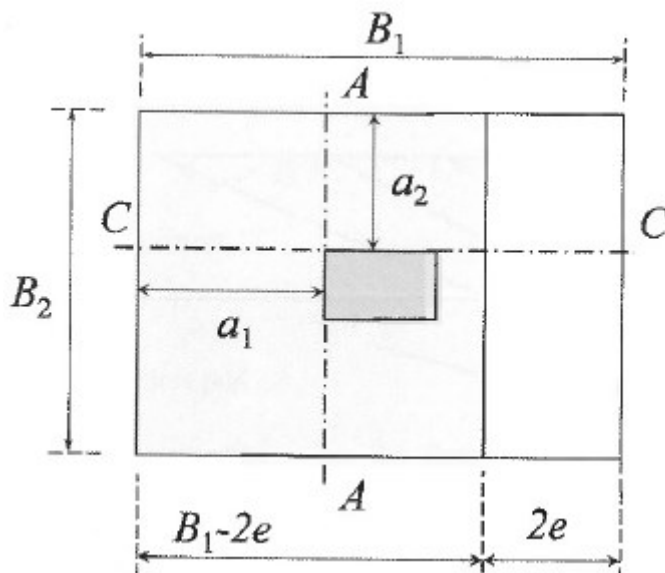


Kuva 23. Pohjapainejakautuman laskentamalli murtorajatilassa (Suomen Betoniyhdistys 2014, 181.)

Pilarianturan taivutusmitoitus tehdään kummassakin suunnassa pilarin kyljessä. Kuvassa 24 on esitetty epäkeskisesti kuormitetun pilarianturan taivutusmitoituksessa käytetyt mitat ja merkinnät. Pilarianturan mitoitettava taivutusmomentti suunnassa A-A lasketaan kaavalla 91 ja suunnassa C-C kaavalla 92. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 193.)

$$M_{Ed1} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot a_1^2 \cdot B_2 \quad (91)$$

$$M_{Ed2} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot a_2^2 \cdot B_1 \quad (92)$$



Kuva 24. Epäkeskisesti kuormitetun pilarianturan mitat ja merkinnät (Suomen Betoniyhdistys 2014, 193).

Pilarianturan mittasuhteet täyttävät useimmiten SFS-EN 1992-1-1 2015 (57) ehdon: "Laatta on rakenneosa, jonka sivumitta on vähintään 5 kertaa laatan kokonaispaksuus", joten siihen sovelletaan laatan raudoitusehtoja. Pilarianturan mitoitusmomentin mukainen suhteellinen momentti μ lasketaan kaavalla 93.

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot d^2} \quad (93)$$

missä η on puristusvyöhykkeen parametri, normaalilujuusluokalla betonilla 1,0

Tehollisen puristusvyöhykkeen korkeus β lasketaan kaavalla 94.

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad (94)$$

Mekaaninen raudoitussuhde $\omega = \beta$.

Vetorausoituksen pinta-ala lasketaan kaavalla 95. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 48-49.)

$$A_{s,vaad} = \omega \cdot d \cdot \frac{\eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad (95)$$

Laatan vähimmäisraudoitus lasketaan kaavalla 96 (Suomen Betoniyhdistys 2014, 80). Pilarianturan vähimmäisraudoitusta laskettaessa on kuitenkin otettava huomioon, että laatan taivutusmitoituksessa minimiraudituksen yksikkö on mm^2/m . Jos pilarianturan leveys tarkastelusuunnassa on muu

kuin 1,0 m, täytyy minimiraudoituksen määrä kertoa tarkastelu suunnan leveydellä. Vähimmäisraudoitus tarkastetaan molemmissa tarkastelu suunnissa samoin kuin vetoraudoituksen ala.

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot d \geq 0,0013 \cdot d \quad (96)$$

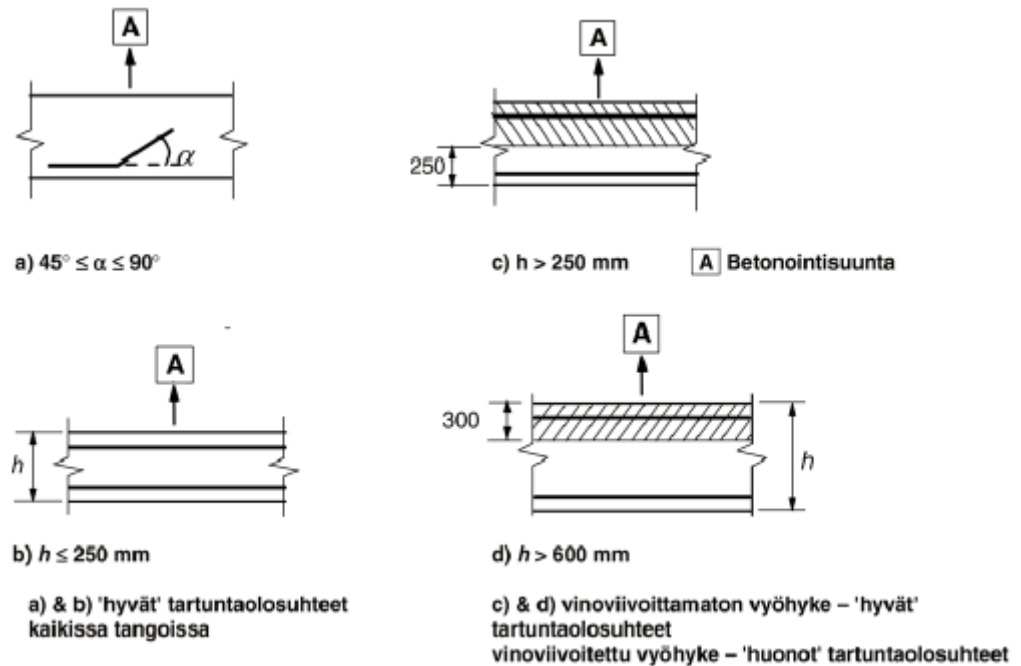
missä f_{ctm} on betonin vetolujuuden keskiarvo taulukon 14 mukaisesti

2.6.3 Ankkurointimitoitus

Raudoitustangot, langat ja verkot ankkuroidaan tuelle niin, että tartunta-voimat siirtyvät luotettavasti betonille tangon suuntaista halkeilua tai lohkeilua aiheuttamatta. Ankkurointi voidaan toteuttaa koukuilla, lenkeillä, taivutuksilla tai lisäämällä taivutusraudoituksen määrää, jolloin yksittäisen tangon jännitys on pienempi. Suoran tangon ankkurointi perustuu betonin ja tangon väliseen tartuntajännitykseen. Tartuntalujuuden on oltava murtorajatilassa riittävä estämään tartunnan peittämisestä aiheutuva murtuminen. Harjaterästankojen tartuntalujuuden mitoitusarvo murtorajatilassa lasketaan kaavalla 97. Kertoimen η_1 määrityksessä tarvittavat tartuntaolosuhteiden kuvaukset on esitetty kuvassa 25. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 131-132.)

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (97)$$

missä η_1 on tartuntaolosuhteista riippuva kerroin, 1,0 hyvissä tartuntaolosuhteissa, 0,7 jos ei voida osoittaa että hyvä tartuntaolosuhteet vallitsevat
 η_2 on tangon halkaisijasta riippuva kerroin 1,0 kun $\phi \leq 32$ mm ja $(132-\phi)/100$ kun $\phi > 32$ mm.



Kuva 25. Tartuntaolosuhteiden kuvaus (SFS-EN 1992-1-1 2015, 133).

Vaadittava ankkurointipituus eli ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd}$ laskeaan kaavalla 98. Eurokoodin mukaan ankkurointipituuden perusarvoa voidaan pienentää kertoimilla α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ja α_5 , jotka ottavat huomioon edullisia vaikutuksia. Tässä työssä ei oteta huomioon pienennyskertoimia, vaan ankkurointipituuden mitoitusarvona pidetään $l_{b,rqd}$, mikä on varmalla puolella oleva oletus. Ankkurointipituuden mitoitusarvo ei saa olla pienempi kuin vähimmäisarvo $l_{b,min}$. Vetovoimaa ankkuroitaessa $l_{b,min}$ on suurin arvoista $0,3 \cdot l_{b,rqd}$; $10 \cdot \phi$; 100 mm. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 133-134.)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (98)$$

Kaavassa σ_{sd} on raudoituksen jännitys ja ϕ halkaisija. Taivutusmitoituksen oletus on, että rauditus ankkuroidaan täydelle myötövoimalle f_{yd} , jolloin $\sigma_{sd} = f_{yd}$. Anturassa voi olla edullisempaa lisätä suoria tankoja kuin taivuttaa pääteräksiä. Käytettäessä selvästi suurempaa teräsmäärää kuin taivutusmitoituksessa on vaadittu, voidaan σ_{sd} laskea kaavalla 99. Lopuksi toteutuvaa ankkurointipituutta eli kuvan 24 merkinnöillä C-C suunnassa $a_1 - c_{nom}$ ja A-A suunnassa $a_2 - c_{nom}$ verrataan vaadittavaan ankkurointipituuteen. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 186-187.)

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,vaad}}{A_{s,tot}} \quad (99)$$

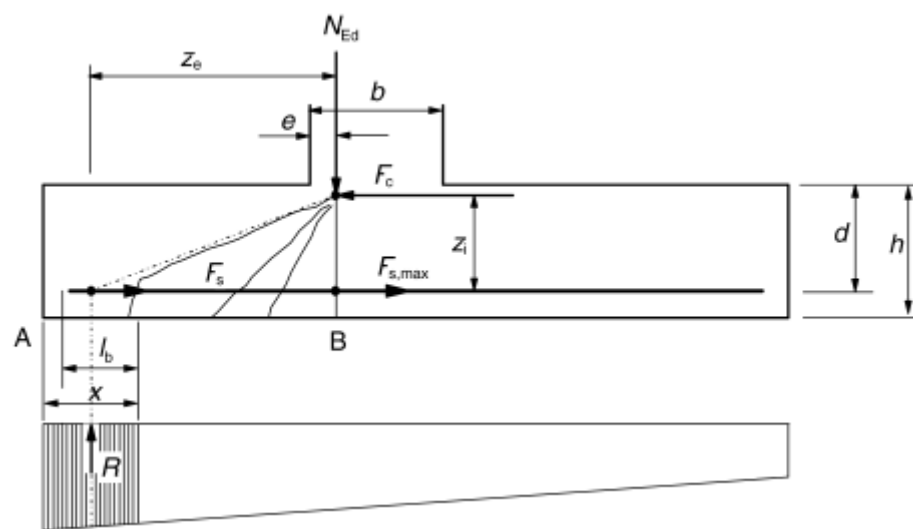
Raudoituksen ankkurointi täytyy mitoittaa myös vinohalkeaman mukaiselle vetovoimalle. Mitoituksessa käytettävä vetovoimamalli on esitetty kuvassa 26. Kuvassa esitetty vetovoima F_s lasketaan halkeavan osan momenttitasapainosta. SFS-EN 1992-1-1 2015 (164) mukaisilla yksinkertaisuuksilla $x = h/2$, $e = 0,15 b$ ja $z_i = 0,9 d$ saadaan vetovoimalle F_s kaavan 100

mukainen lauseke. Ankkurointikestävyys lasketaan kaavalla 101. Mikäli ankkurointikestävyys ei ole riittävä, lisätään ankkurointipituutta l_b taivuttamalla tankoja ylöspäin tai lisätään suoria tankoja, jolloin kaavan Σu_s lasketaan suuremmalla raudoitusmäärällä. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 187-188.)

$$F_s = \sigma_{gd} \cdot B_2 \cdot \frac{h_f}{1,8 \cdot d} \cdot \left(a - \frac{h_f}{4} + 0,15 \cdot c_1 \right) \quad (100)$$

missä B_2 on pilarianturan tehollinen leveys tarkastelusuuntaa kohtisuorassa olevassa suunnassa

c_1 on pilarin leveys tarkastelusuunnassa, kuvan 26 merkinöillä b



Kuva 26. Vinohalkeamien mukainen vetovoimamalli (SFS-EN 1992-1-1 2015, 163).

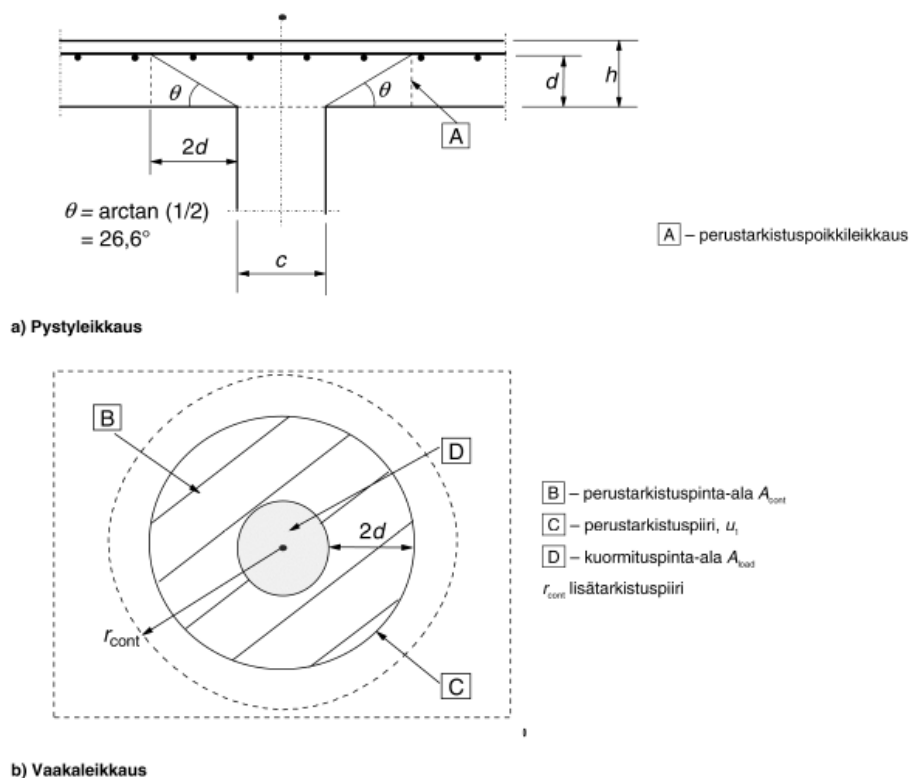
$$F_{bd} = \left(\frac{h_f}{2} - c_{nom,v} \right) \cdot f_{bd} \cdot \Sigma u_s \quad (101)$$

missä $c_{nom,v}$ on anturan pystypinnan suojabetonipeite

Σu_s on raudoitustankojen yhteenlaskettu piiri

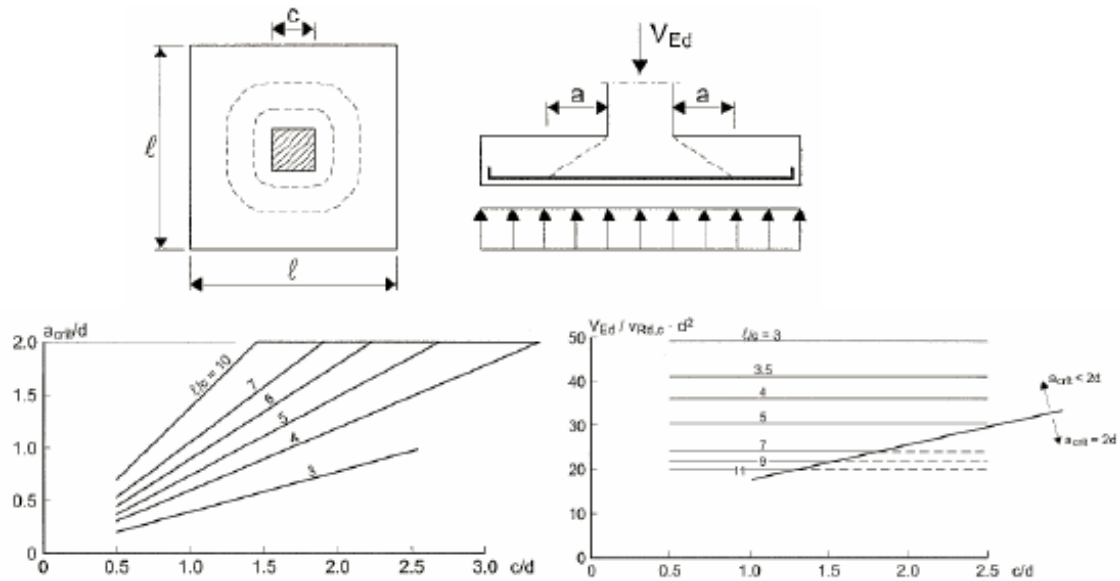
2.6.4 Lävistysmitoitus

Pilarianturan tai laatan lävistyminen voi aiheutua pistekuormasta tai reaktiosta, joka vaikuttaa suhteellisen pienellä alueella. Pilarilaatan lävistysmurtumisen tarkastelumalli on esitetty kuvassa 27. Lävistyskestävyys tarkistetaan pilarin reunan ja perustarkastuspiirin u_1 kohdalta. Jos laatan lävistyskestävyys ei riitä lisätään leikkausraudoitusta ja etsitään lisätarkastuspiiri, missä leikkausraudoitusta ei enää tarvita. Pilarilaatalla perustarkastuspiirin etäisyys pilarin reunasta on $2d$ eli murtokartion kaltevuus on $26,7^\circ$. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 95-96.)



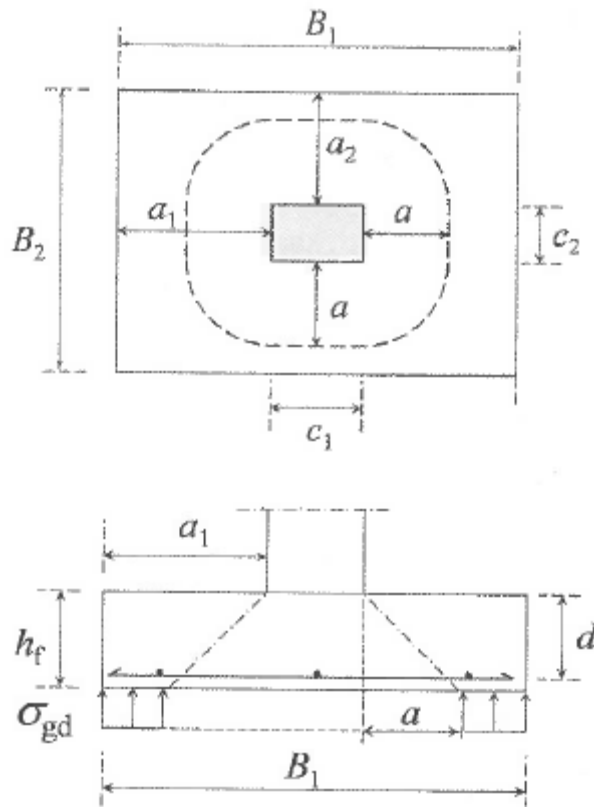
Kuva 27. Lävistykestävyyden tarkastelumalli murtorajatilassa (SFS-EN 1992-1-1 2015, 96).

Pilarianturan ja pilarilaatan lävistyksen suurin ero on se, että pilarianturan pohjaan vaikuttaa voimakas tukireaktio maan pohjapaineesta. Toinen eroavaisuus on usein pienempi etäisyys pilarin reunasta pilarianturan reunaan verrattuna pilarin reunasta momentin nollakohtaan pilarilaatalla. Pystysuuntaisesta maanpaineesta johtuen voi lävistyskartion kaltevuus olla pilarianturalla huomattavasti jyrkempi kuin pilarilaatalla. Tämän vuoksi on Eurokoodin tausta-aineistoon laadittu parametriseen tutkimuksen perusteella käyrästä kriittisen murtokartion kaltevuuksille neliöpilarianturalle eri tehollisen korkeuden d ja pilarin sivumitan c sekä anturan sivumitan l ja pilarin sivumitan c suhteille. Käyrästä ja siinä käytetyt merkinnot on esitetty kuvassa 28. (European Concrete Platform ASBL 2008, 6-32.) Käyrästä on tarkoitettu käytettäväksi keskeisesti kuormitetun neliöpilarianturan kanssa, mutta tässä työssä sitä sovelletaan myös epäkeskeisesti kuormitetun suorakaidepilarianturan mitoituksessa.



Kuva 28. Pilarianturan lävistyskestävyys (European Concrete Platform ASBL 2008, 6-32).

Pilarianturan lävistyskuorman aiheuttaa lävistyskartion ulkopuolelle jäävään anturan pohjaan vaikuttava pohjapaine. Kuorman suuruuteen vaikuttaa voimakkaasti lävistyskartion kaltevuus. Lävistyskartion ulkopuolelle jäävä anturan pinta-ala lasketaan kaavalla 102 ja siihen vaikuttava lävistyskuorma kaavalla 103. Lävistyskartion piiri lasketaan kaavalla 104. Lävistyskuorman aiheuttama jännitys lävistyskartion piirillä keskeisellä kuormituksella lasketaan kaavalla 105. Epäkeskisesti kuormitetun pilarianturan lävistysjännitys lasketaan kaavalla 106. Kaavat 105 ja 106 on johdettu pilarilaatan mitoitusjännitysten kaavoista. Pilarilaatasta poiketen pystykuorman V_{Ed} sijaan vaikuttava kuorma on kaavan 102 mukainen lävistyskuorma $V_{Ed,red}$. Kaavojen 102...106 merkinnät on esitetty kuvassa 29. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 195-196.)



Kuva 29. Pilarianturan lävistyskartio (Suomen Betoniyhdistys 2014, 195).

$$A_{\text{eff}} = B_1 \cdot B_2 - 2 \cdot a \cdot (c_1 + c_2) + \pi \cdot a^2 \quad (102)$$

missä

$$V_{\text{Ed,red}} = A_{\text{eff}} \cdot \sigma_{\text{gd}} \quad (103)$$

missä

σ_{gd} on pohjapaineen mitoitusarvo, kaavan 89 mukaisesti keskeisellä kuormituksella tai kaavan 90 mukaisesti epäkeskisellä kuormituksella

$$u = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot a \quad (104)$$

$$V_{\text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed,red}}}{u \cdot d} \quad (105)$$

$$V_{\text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed,red}}}{u \cdot d} \cdot \left(1 + k \cdot \frac{M_{\text{Ed}} \cdot u}{V_{\text{Ed,red}} \cdot W}\right) \quad (106)$$

missä

k on pilarin sivusuhteista johtuva kerroin, taulukon 22 mukaisesti

M_{Ed} on epäkeskisyyden aiheuttava momentti

W on tarkistuspiirissä vaikuttavan leikkausvoiman staattinen momentti kaavan 107 mukaisesti (Suomen Betoniyhdistys 2014, 69).

$$W = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (107)$$

missä c_1 on pilarin sivumitta kuorman epäkeskisyyden suunnassa
 c_2 on pilarin sivumitta toisessa suunnassa (SFS-EN 1992-1-1 2015, 100-101).

Taulukko 22. Kertoimen k arvot suorakaiteen muotoisille kuormituspinta-aloille (SFS-EN 1992-1-1 2015, 100.)

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Raudoittamattoman pilarianturan lävistyskestävyys lasketaan kaavalla 108. Kaava on muuten sama kuin leikkausraudoittamattoman pilarilaatan lävistyskestävyyden kaava, mutta siihen on lisätty murtokartion kaltevuuden huomioon ottava kerroin $2d/a$. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 69.) Kaavan 108 kerroin $C_{Rd,c}$ lasketaan kaavalla 109 (Ympäristöministeriö 2017b, 19).

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{MPa})^{1/3} \cdot (2 \cdot \frac{d}{a}) \quad (108)$$

missä

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} \leq 2,0 \quad (109)$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,3}{\gamma_c} \cdot \frac{(\frac{D}{d} + 1,5)}{(\frac{D}{d} + 4)} \quad (110)$$

missä

$$D = \sqrt{c_1 \cdot c_2} \quad (\text{suorakaidepilarille}) \quad (111)$$

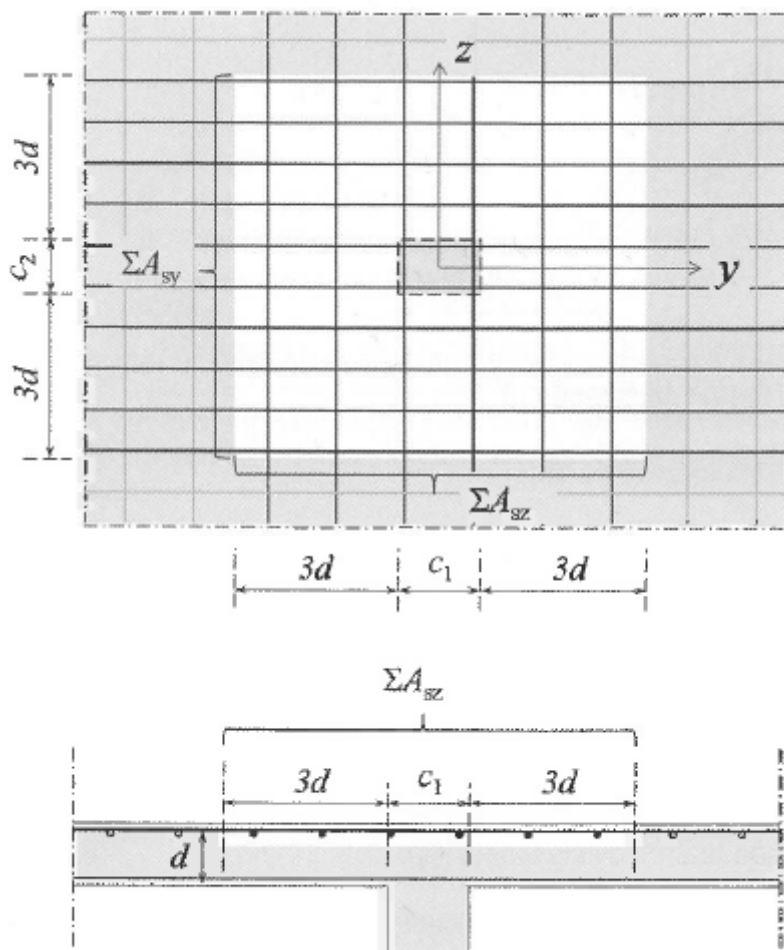
$D = \text{pyöreän pilarin halkaisija}$

Kaavan 108 geometrisessä raudoitussuhteessa ρ_L otetaan huomioon kummankin suunnan vetoraudoitus. ρ_L lasketaan kaavalla 112. Kaavan 112 eri suuntien raudoitussuhteet ρ_{Ly} ja ρ_{Lz} lasketaan keskimääräisen raudoitusmäärän mukaan kaistalla, joka ulottuu mitan $3d$ matkalle pilarin molemmin puolin. Raudoitusmäärissä otetaan huomioon vain raudoitukset, jotka ovat täysin ankkuroituja tarkasteltavan poikkileikkauksen molemmin puolin. Suhteelliset raudoitusmäärät lasketaan kaavoilla 113 ja 114, kuvan 30 mukaisilla merkinnöillä. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 69-70.)

$$\rho_L = \sqrt{\rho_{Ly} \cdot \rho_{Lz}} \leq 0,02 \quad (112)$$

$$\rho_{Ly} = \frac{\Sigma A_{sy}}{d \cdot (6 \cdot d + c_1)} \quad (113)$$

$$\rho_{Lz} = \frac{\Sigma A_{sz}}{d \cdot (6 \cdot d + c_2)} \quad (114)$$



Kuva 30. Suhteellisen raudoituskäärän määrittäminen pilarin päässä (Suomen Betoniyhdistys 2014, 70).

Jotta rauditus on täysin ankkuroitu ja se voidaan huomioida raudoitussuhteessa, täytyy sen ulottua ankkurointipituuden mitoitusarvon $l_{b,rqd}$ verran murtokartion yli. Ankkurointipituuden mitoitusarvo on määritetty aiemmin, kaavassa 98. Mikäli rauditus ei ole täysin ankkuroitu lasketaan tehollinen rauditusmäärä eri suunnissa kaavoilla 115 ja 116. (Suomen Betoniyhdistys 2014, 69-70, 202-203.)

$$\rho_{y,eff} = \rho_{Ly} \cdot \frac{L_b}{L_{b,rqd}} \quad (115)$$

missä L_b on raudituksen ulottuma murtokartion yli suunnassa $y = a_1 - a$

$$\rho_{z,eff} = \rho_{Lz} \cdot \frac{L_b}{L_{b,rqd}} \quad (116)$$

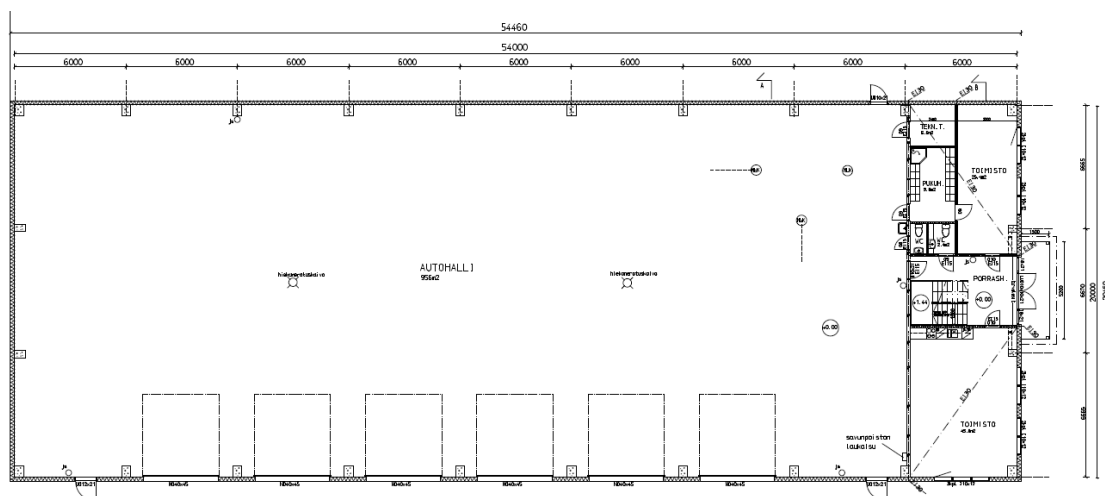
missä L_b on raudituksen ulottuma murtokartion yli suunnassa $z = a_2 - a$

Tässä työssä ei käsitellä leikkausraudoitetun laatan kestävyyslaskentaa, sillä pilarianturaan ei ole edullista tehdä erillistä leikkausraudoitusta. Pilarianturan lävistyskestävyyttä on helppo lisätä kasvattamalla anturan pak-suutta ja pienissä määrin lisäämällä taivutusraudoitusta tai lisäämällä raudituksen ankkurointia taivutuksilla.

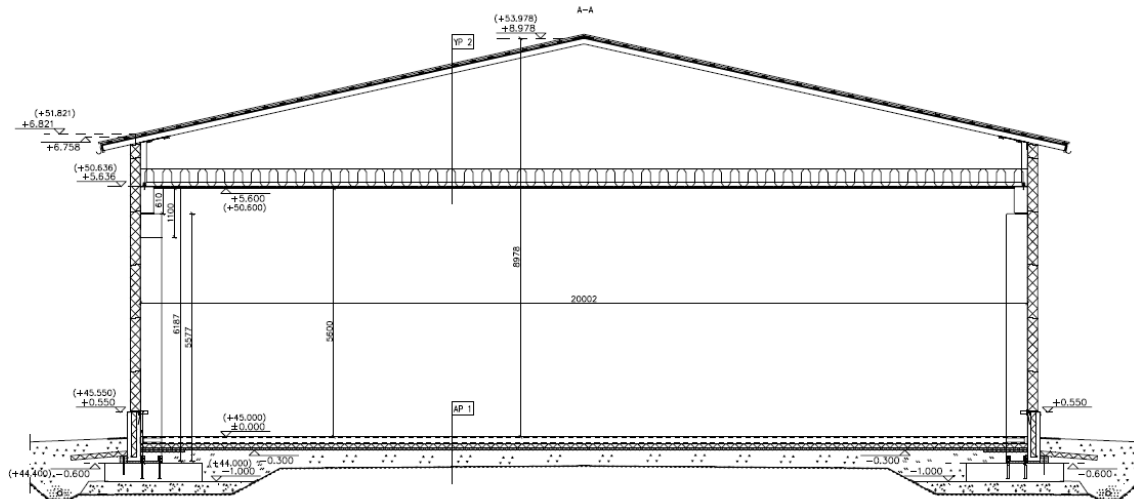
3 TERÄSBETONIRUNKOISEN HALLIN RAKENNESUUNNITTELU

Tässä luvussa sovelletaan edellisten lukujen teorioita ja laskukaavoja teräsbetonirunkoisen hallin pilarin ja pilarianturan mitoituksessa. Käsiteltävä halli on Keravalle vuonna 2019 rakennettava autohalli, jonka päädyssä on 2-kerroksinen toimisto-osa. Hallin pitkän sivun pituus on 54,46 m, päädyn leveys 20,46 m, harjakorkeus 8,98 m, räystäskorkeus 6,79 m ja kehäjako 6 m. Hallin suunniteltu käyttöikä 50 vuotta ja seuraamusluokka CC2, jolloin kerroin $K_{fi} = 1,0$. Hallin pohjakuva on esitetty kuvassa 31 ja yleisleikkaus kuvassa 32. Tässä työssä käsitellään autohallin puolen kehä-, pääty- ja nurkkapilarien ja pilarianturoiden mitoitus. Mitoitustehtävässä edetään seuraavassa järjestyksessä:

1. Määritetään kuormien ominaisarvot
2. Määritetään rakennemallit ja kuormitusyhdistelmät
3. Laaditaan pilarien kestävyyslaskelmat
4. Laaditaan pilarianturoiden kestävyyslaskelmat



Kuva 31. Käsiteltävän hallin pohjakuva



Kuva 32. Käsiteltävän hallin yleisleikkaus

3.1 Ominaiskuormat

Omat painot

- Peltikatetun puuristikkorakenteisen yläpohjan omapaino ripustukseen:
 - $0,675 \text{ kN/m}^2$, ristikko $2,8 \text{ kN/m}$
 - $\text{Palkille } 0,675 \text{ kN/m}^2 \cdot 20,46 \text{ m} / 2 + 2,8 \text{ kN/m} / 2 = 8,3 \text{ kN/m}$
- Teräsbetonisen aukonylityspalkin omapaino:
 - $0,6 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}$
- Pilarin oma paino
 - Kehäpilari $0,48 \text{ m} \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 5,6 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 25,5 \text{ kN}$
 - Päätypilari $0,48 \text{ m} \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 6,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 28,27 \text{ kN}$

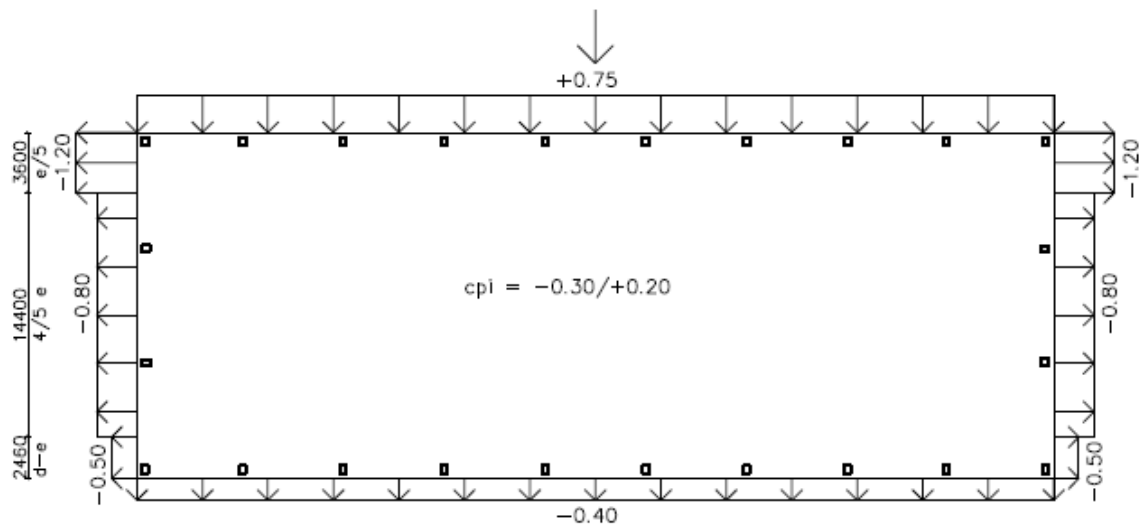
Lumikuorma

- Lumikuorma maassa Keravalla (kuva 1) $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$
- Kattokaltevuus $12^\circ \rightarrow$ muotokerroin μ_2 (taulukko 11) $0,8$
- Tuulensuojakerrointa ja lämpökerrointa ei huomioida
- Lumikuorma katolla $s = 2,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 = 2,2 \text{ kN/m}^2$
 - $\text{Palkille } 2,2 \text{ kN/m}^2 \cdot (20,46 \text{ m} / 2 + 0,5 \text{ m}) = 23,6 \text{ kN/m}$

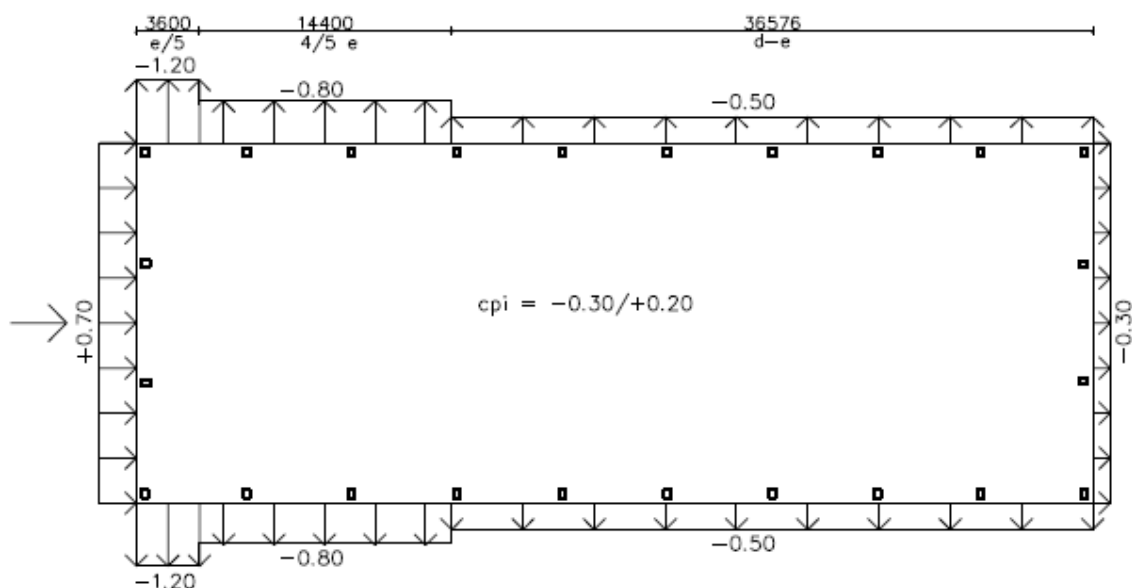
Tuulikuorma

- Maastoluokka II, avoin teollisuusalue (kuva 4)
- Puuskanopeuspaine, $h=9 \text{ m}$ (kuva 5) $q_{p0}(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$
- Vyöhykekaaviot (kuva7), tuulensuunta pitkää sivua vasten
 - $h/d = 9/20,46 = 0,43$
 - $e =$ pienempi arvoista b tai $2h \rightarrow 2h = 18 \text{ m} \rightarrow e < d$

- Ulkopuolisen paineen kertoimet (taulukko 12) ja vyöhykkeet esitetty kuvassa 33.
- Vyöhykekaaviot, tuulen suunta päädystä
 - $h/d = 9/54,46 = 0,16$
 - $e = 18 \text{ m} \rightarrow e < d$
 - Ulkopuolisen paineen kertoimet ja vyöhykkeet esitetty kuvassa 34
- Sisäpuoleisen paineen kertoimena käytetään vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoa vaihtoehdoista -0.30 tai $+0.20$ (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2017, 163).



Kuva 33. Ulkopuolisen paineen kertoimet ja vyöhykkeet, tuuli pitkää sivua vasten



Kuva 34. Ulkopuolisen paineen kertoimet ja vyöhykkeet, tuuli päädystä

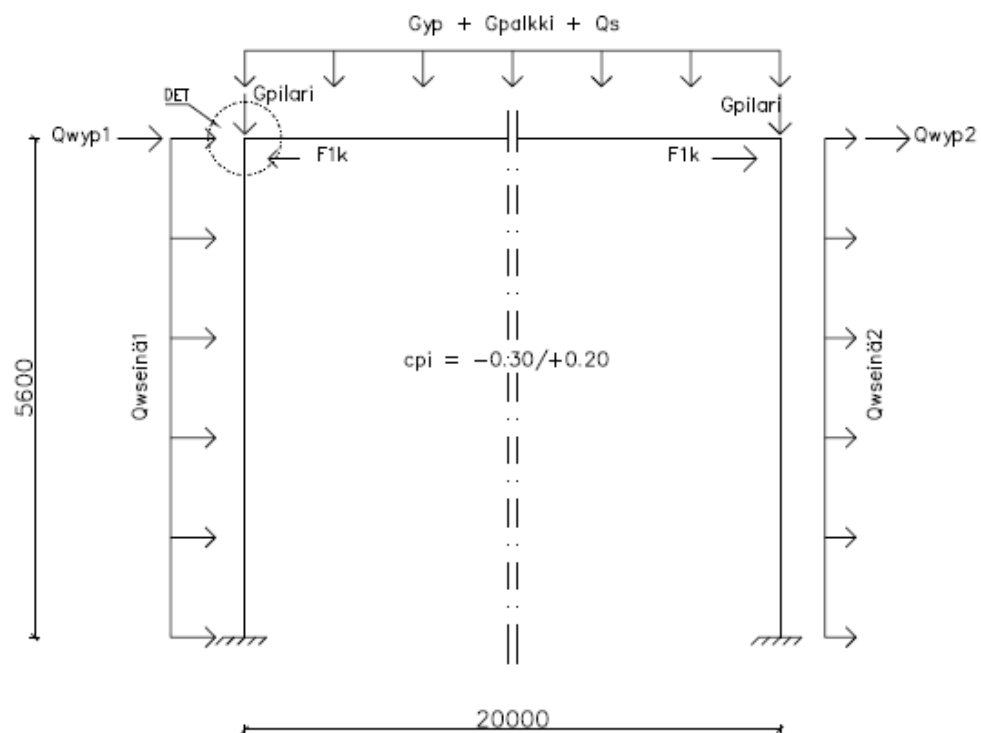
3.2 Rakennemallit ja kuormitusyhdistelmät

Tässä luvussa esitetään hallin pilareiden rakennemallit ja etsitään mitoittavat kuormitusyhdistelmät. Pilareiden mitoittava kuormitusyhdistelmä on joko suurimman momentin ja samaan aikaan vaikuttavan normaalivoiman, suurimman normaalivoiman ja samaan aikaan vaikuttavan momentin yhteisvaikutus tai pienimmän normaalivoiman ja samaan aikaan vaikuttavan momentin yhteisvaikutus. Pilarianturoiden kuormitusyhdistelmät käsitellään pilarianturoiden mitoituksen yhteydessä.

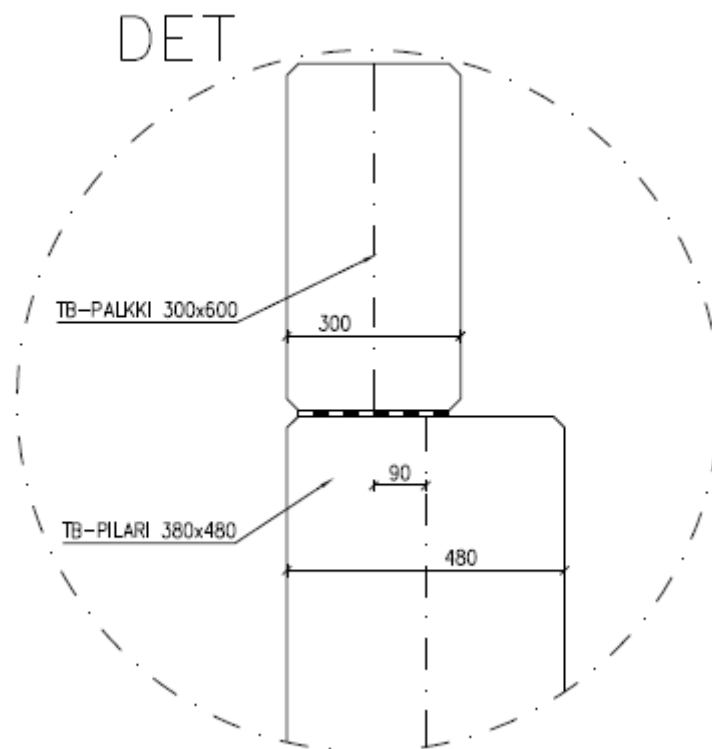
3.2.1 Kehäpilari

Kehäpilarin rakennemalli on esitetty kuvassa 35 ja kehäpilarin yläpään liitos aukonylityspalkkiin kuvassa 36. Pilarit toimivat ristikoiden yhdistämänä jäykkäkantaisena, sivusiirtyvänä kehänä. Kehän vaakakuormia tasaava vaikutus on esitetty rakennemallissa voimana F_{1k} . Kehävoiman ratkaisussa käytetään opinnäytetyönohjaajan (Tapio Korkeamäen, 2018) laskentaesimerkin mukaista kaavaa, joka perustuu kehäpilareiden taipuman määrittämiseen yhtä suureksi.

$$F_{1k} = \frac{1}{2} \cdot (Q_{wyp1k} - Q_{wyp2k}) + \frac{3}{16} \cdot L \cdot (Q_{wseinä1k} - Q_{wseinä2k}) \quad (117)$$



Kuva 35. Kehäpilarin rakennemalli



Kuva 36. Kehäpilarin ja aukonylityspalkin liitos

Taulukossa 23 on esitetty ratkaisu, kumpi on vaarallisempi tilanne positiivinen vai negatiivinen sisäpuoleinen paine. Taulukon mukaisesti käytetään anturan mitoituksessa positiivista sisäpuoleista painetta, sillä positiivinen sisäpuoleinen paine aiheutti hieman suuremman momentin pilarin alapäähän. Ero vaikutuksien välillä on kuitenkin niin pieni että pilarin sijoittamisella anturaan nähden epäkeskisesti ei saavutettaisi merkittävää etua. Näin ollen pilari sijoitetaan anturaan nähden keskeisesti. Pilari mitoitetaan imu ja painepuolelle erikseen eri kuormitusyhdistelmille, sillä kuvan 36 mukainen pystykuorman epäkeskisyys sekä mittaepätarkkuuksien vaikutus aiheuttavat pilarille momenttia, jonka suuruuteen vaikuttavat kuormitusyhdistelmien kertoimet.

Taulukko 23. Sisäpuoleisen paineen vaikutus

	$C_{pi} +0,2$	$C_{pi} -0,3$
$Q_{wseinä1}$ [kN/m]	3,59	1,7
$Q_{wseinä2}$ [kN/m]	-0,76	-2,65
Q_{wyp1} [kN]	12,2	5,78
Q_{wyp2} [kN]	-2,57	-9
F_{1k} [kN]	7,79	-2,61
Q_{wyp1} korjattu [kN]	4,41	8,39
Q_{wyp2} korjattu [kN]	-10,35	6,39
Max momentti [kNm]	80,99	-77,34

Pilarin nurjahduspituus L_0 , nurjahdusmuoto b (kuva 13), nurjahdusmuotoon liittyvä kerroin (taulukko 18), 2,18.

$$L_0 = 2,18 \cdot 5,6 \text{ m} = 12,21 \text{ m}$$

Mittaepätarkkuuksien vaikutus (kaavat 8...11).

- $\alpha_h = 0,85$
- $\alpha_m = 0,87$ (vaikuttavien rakenneosien määrä 2)
- $\theta_i = 0,0037$
- $e_i = 0,023 \text{ m}$

Kehäpilarien kuormitukset lasketaan kolmella eri MRT kuormitusyhdistelmällä ottamalla huomioon tuulen imu ja paine (taulukko 5). Muita kuormitusyhdistelmiä ei lasketa, sillä kokemuksesta tiedetään että määrääväksi kuormitusyhdistelmäksi tulee yksi näistä. Lisäksi lasketaan KRT pitkäaikaisyhdistelmän (taulukko 7) mukaiset kuormitukset viruman määrittämistä varten.

- KY1: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{sk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{wpainek}$
- KY2: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{sk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{wimuk}$
- KY3: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wpainek} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$
- KY4: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wimuk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$
- KY5: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wpainek}$
- KY6: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wimuk}$
- Pitkäaikaisyhdistelmä: $G_k + \Psi_{2,1} \cdot Q_{sk}$

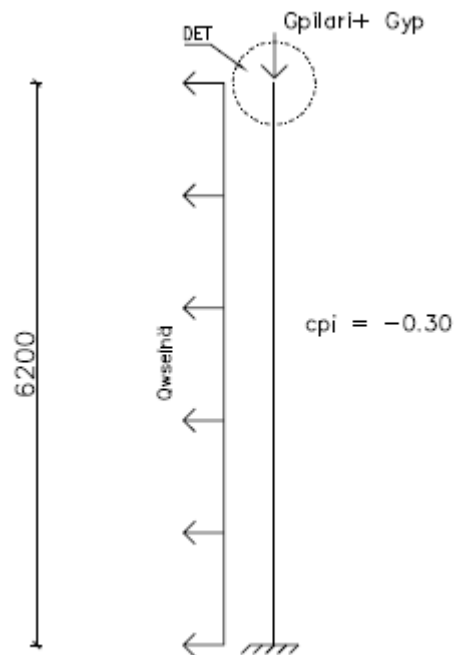
Kuormitusyhdistelmien mukaiset rasitukset ja rajajoikkuudet λ_{lim} on kerätty taulukkoon 24.

Taulukko 24. Kehäpilarin rasitukset ja rajajoikkuudet λ_{lim} kuormitusyhdistelmien mukaisesti

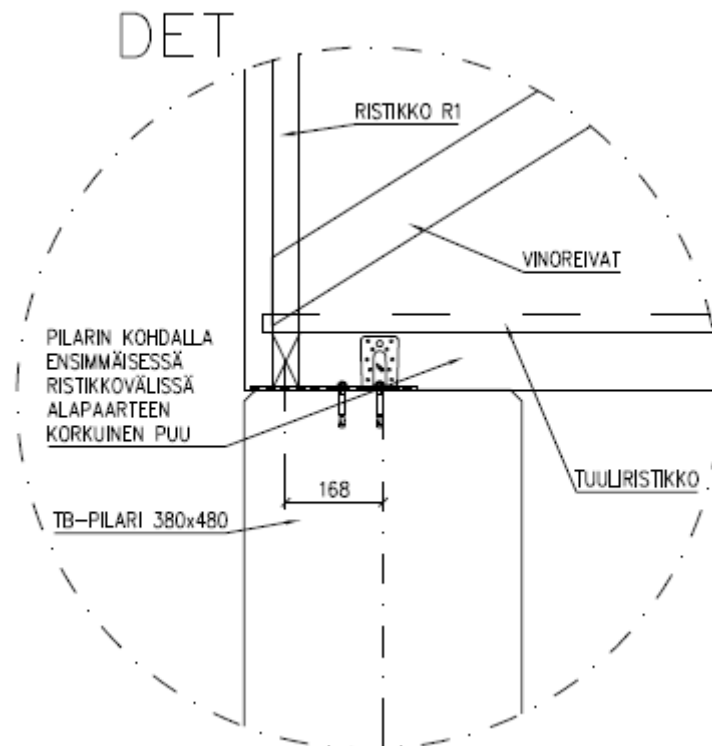
	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	M_{0Ed} [kNm]	λ_{lim}
KY1	330,1	22	53,4	38,15
KY2	330,1	19,2	107,13	38,15
KY3	266,4	36,78	106,26	42,47
KY4	266,4	31,9	143,58	42,47
KY5	92,07	36,78	117,37	72,24
KY6	92,07	31,9	103,59	72,24
KY7	130,62	0	12,47	-

3.2.2 Päätypilari

Päätypilarin rakennemalli on esitetty kuvassa 37 ja päätypilarin yläpään liitos päätyristikkoon kuvassa 38. Pilarit toimivat yksittäisinä mastopilareina, jotka kantavat päätyristikolta tulevat pystykuormat ja seinän tuulikuorman. Päätykolmion tuulikuorma otetaan vastaan tuuliristikoilla ja ristikoiden jäykistelankuilla. Päädyn pilariväli on 6,8 m.



Kuva 37. Päätypilarin rakennemalli.



Kuva 38. Päätypilarin ja ristikon liitos

Pilarin nurjahduspituus L_0 , nurjahdusmuoto b (kuva 13), nurjahdusmuotoon liittyvä kerroin (taulukko 18), 2,18.

$$L_0 = 2,18 \cdot 6,2 \text{ m} = 13,52 \text{ m}$$

Mittaepätarkkuuksien vaikutus (kaavat 8...11).

- $\alpha_h = 0,80$
- $\alpha_m = 1,0$ (vaikuttavien rakenneosien määrä 1)
- $\theta_i = 0,004$
- $e_i = 0,027 \text{ m}$

Päätypilarien kuormitukset lasketaan yhdellä MRT kuormitusyhdistelmällä, missä määrävää muuttuva kuorma on pitkältä sivulta puhaltavan tuulen aiheuttama imu (taulukko 5). Muita kuormitusyhdistelmiä ei lasketa, sillä lumen vaikutus on häviävän pieni ja suurimman momentin aiheuttaa pitkälle sivulle puhaltavan tuulen aiheuttama imu yhdistettynä negatiiviseen sisäpuoleiseen paineeseen. Lisäksi lasketaan KRT pitkäaikaisyhdistelmän (taulukko 7) mukaiset kuormitukset viruman määrittystä varten.

- KY1: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$
- KY2: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk}$
- Pitkäaikaisyhdistelmä: $G_k + \Psi_{2,1} \cdot Q_{sk}$

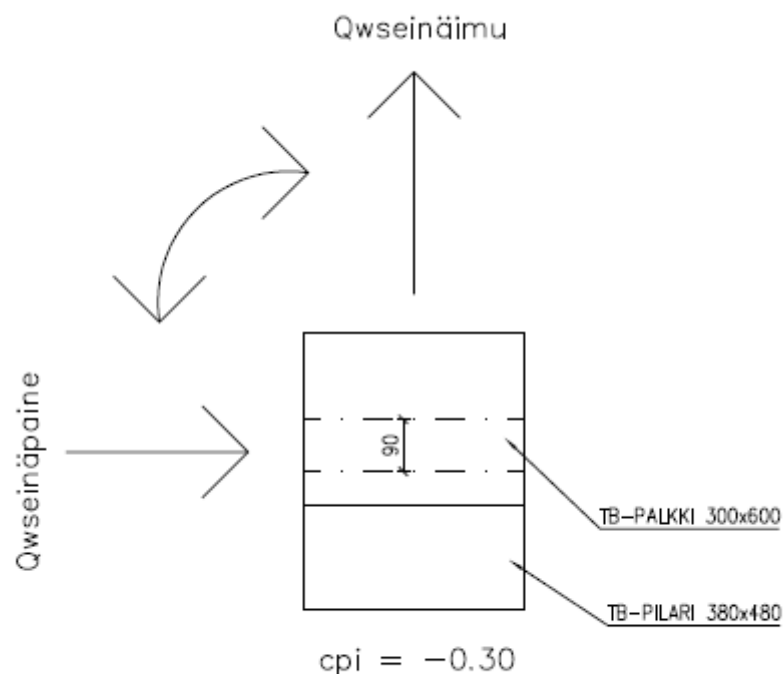
Kuormitusyhdistelmien mukaiset rasitukset ja rajajoikkuudet λ_{lim} on kerätty taulukkoon 25.

Taulukko 25. Päätypilarin rasitukset ja rajajoikkuudet λ_{lim} kuormitusyhdistelmien mukaisesti

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	M_{0Ed} [kNm]	λ_{lim}
KY1	39,60	43,83	138,15	110,15
KY2	28,07	43,83	137,09	130,83
KY3	31,90	0	1,94	-

3.2.3 Nurkkapilari

Nurkkapilarin rakennemalli on esitetty kuvassa 39. Pilarit toimivat yksittäisinä mastopilareina, kuten päätypilarit. Nurkkapilarit kantavat teräsbetonipalkilta tulevat pystykuormat ja seinän tuulikuorman. Nurkassa on imupuolella korotettu tuulikuorma. Tuulikuorma vaikuttaa samanaikaisesti imu ja painekuormana kummasta tahansa suunnasta. Nurkan yläpohjan tuulikuorma otetaan vastaan tuuliristikoilla ja ristikoiden jäykistelankuilla. Nurkkapilarin kuormitusleveys on 3 m.



Kuva 39. Nurkkapilarin rakennemalli

Pilarin nurjahduspituus L_0 , nurjahdusmuoto b (kuva 13), nurjahdusmuotoon liittyvä kerroin (taulukko 18), 2,18.

$$L_0 = 2,18 \cdot 5,6 \text{ m} = 12,21 \text{ m}$$

Mittaepätarkkuuksien vaikutus (kaavat 8...11).

- $\alpha_h = 0,85$
- $\alpha_m = 1$ (vaikuttavien rakenneosien määrä 1)
- $\theta_i = 0,00425$
- $e_i = 0,026 \text{ m}$

Nurkkapilarien kuormitukset lasketaan kolmella MRT kuormitusyhdistelmällä, ottaen huomioon tuulikuorma molemmista suunnista. Suurimman momentin aiheuttaa negatiivinen sisäpuoleinen paine. Lisäksi lasketaan KRT pitkäaikaisyhdistelmän (taulukko 7) mukaiset kuormitukset viruman määrittystä varten.

- KY1: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{sk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{wk}$ (tuuli pitkältä sivulta)
- KY2: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{sk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{wk}$ (tuuli päädystä)
- KY3: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$ (tuuli pitkältä sivulta)
- KY4: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$ (tuuli päädystä)
- KY5: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk}$ (tuuli pitkältä sivulta)
- KY6: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk}$ (tuuli päädystä)
- Pitkäaikaisyhdistelmä: $G_k + \Psi_{2,1} \cdot Q_{sk}$

Kuormitusyhdistelmien mukaiset rasitukset ja rajahoikkeudet λ_{lim} on kerätty taulukkoon 26.

Taulukko 26. Nurkkapilarin rasitukset ja rajahoikkeudet λ_{lim} kuormitusyhdistelmien mukaisesti

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	M_{0Ed} paine [kNm]	M_{0Ed} imu [kNm]	λ_{lim}
KY1	179,7	14,28	3,21	44,66	51,71
KY2	179,7	14,28	15,33	58,19	51,71
KY3	147,84	23,8	13,25	70,48	57,01
KY4	147,84	23,8	23,91	81,15	57,01
KY5	57,51	23,8	18,46	65,14	91,40
KY6	57,51	23,8	21,57	71,25	91,40
KY7	68,6	0	1,78	5,67	-

3.3 Mastopilarin mitoitus

Tässä luvussa mitoitetaan mastopilarien raudoitukset taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutukselle. Mitoituksessa huomioidaan toisen kertaluvun vaikutukset SFS-EN 1992-1-1 mukaisilla menetelmillä sekä RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä. Nurkkapilareilla huomioidaan vinon taivutuksen vaikutus. Nurkkapilarin pystykuormat ovat todella pienet puristuskapasiteettiin verrattuna, joten vinon taivutuksen käyttöastetta tarkistettaessa käytetään taulukon 19 mukaisesti potenssina $\alpha = 1,0$. Pilarit mitoitetaan lujuusluokan C40/50 betonilla ja A500HW betoniteräksellä. Rasitusluokka on XC1 eli kuivat sisätilat ja toleranssiluokka 1. Kaikkien pilareiden virumaluvun loppuarvona $\varphi(\infty, t_0)$ käytetään 2,0.

3.3.1 Kehäpilari

Kehäpilarin mitoituksessa käytettäviä poikkileikkaussuureita on kerätty taulukkoon 27. Oletuksena poikkileikkaussuureiden laskennassa on käytetty raudoitusta 4T25 eli $A_{s,tot} = 1963 \text{ mm}^2$, jolloin raudoitusuhde $\rho = 0,0108$ (kaava 20). Pilarin nurjahduspituus on taulukon 18 kertoimilla nurjahdusmuoto $b:n$ mukaisesti $L_0 = 12,208 \text{ m}$. Kehäpilarin hoikkuusluku λ ylittää taulukon 24 mukaiset rajahoikkuudet λ_{lim} kaikilla kuormitusyhdistelmillä, joten toisen kertaluvun vaikutukset täytyy huomioida. $\lambda_y / \lambda_z = 1,26$, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida mikäli kaavan 52 mukaiset epäkeskisyysehdot täyttyvät.

Taulukko 27. Kehäpilarin poikkileikkaussuureita ja mitoituksessa käytettäviä oletuksia

Kehäpilarin poikkileikkaussuureita ja mitoituksessa käytettäviä oletuksia

	suunta y	suunta z
i [m]	0,139	0,110
λ	88,104	111,289
Ic [m ⁴]	0,004	0,002
I _s [m ⁴]	0,000071	0,000039
e _s [m]	0,190	0,140
e ₀ [m]	0,020	0,020
d'/h	0,10	0,13
Mitoituskäyrä	0,10	0,15

Kehäpilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmällä Nimellisen jäykkyyden menetelmällä on kerätty taulukkoon 28.

Taulukko 28. Kehäpilarin mitoitusmomentti ja raudoitus nimellisen jäykkyyden menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
EI	18,55	19,37	18,37	18,59	15,70	15,66
NB	1228,36	1282,53	1216,64	1230,85	1039,47	1037,28
Med	73,02	144,26	136,05	183,24	128,78	113,68
Mmin	6,60	6,60	5,33	5,33	1,84	1,84
(e _y /h) / (e _z /b)	8,76	17,30	20,21	27,22	55,41	48,91
(e _z /b) / (e _y /h)	0,11	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02
μ	0,04	0,07	0,07	0,09	0,06	0,06
n	0,08	0,08	0,06	0,06	0,02	0,02
ω	0,026	0,078	0,1	0,153	0,119	0,119
As,vaad	247	742	951	1455	1132	1132

Nimellisen jäykkyyden menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY4 ja vaadittu teräsmäärä 1455 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys (e_z/b) / (e_y/h) ≤ 0,2 jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

Kehäpilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmillä Nimellisen kaarevuuden menetelmällä on kerätty taulukkoon 29.

Taulukko 29. Kehäpilarin mitoitusmomentti ja raudoitus nimellisen kaarevuuden menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
e2	0,1673	0,1673	0,1673	0,1673	0,1673	0,1673
M2	55,21	55,21	44,56	44,56	15,40	15,40
Med	110,04	163,77	151,97	189,29	133,17	119,39
Mmin	6,60	6,60	5,33	5,33	1,84	1,84
(ey/h) / ez/b)	13,20	19,64	22,57	28,12	57,30	51,37
(ez/b) / ey/h)	0,08	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02
μ	0,05	0,08	0,08	0,09	0,07	0,06
n	0,08	0,08	0,06	0,06	0,02	0,02
ω	0,028	0,1	0,128	0,153	0,143	0,119
As,vaad	266	951	1217	1455	1360	1132

Nimellisen kaarevuuden menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY4 ja vaadittu teräsmäärä 1455 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyyden $(e_z/b) / (e_y/h) \leq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

Kehäpilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmillä RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä on kerätty taulukkoon 30.

Taulukko 30. Kehäpilarin mitoitusmomentti ja raudoitus RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
e2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
M2	65,26	65,26	52,67	52,67	18,20	18,20
Med	118,66	172,39	158,93	196,25	135,57	121,79
Mmin	6,60	6,60	5,33	5,33	1,84	1,84
(ey/h) / ez/b)	14,23	20,68	23,60	29,15	58,33	52,40

(e _z /b) / e _y /h)	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
μ	0,06	0,09	0,08	0,10	0,07	0,06
n	0,08	0,08	0,06	0,06	0,02	0,02
ω	0,054	0,131	0,128	0,178	0,141	0,117
As,vaad	513	1246	1217	1693	1341	1113

RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY4 ja vaadittu teräsmäärä 1693 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys (e_z/b) / (e_y/h) ≤ 0,2 jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

3.3.2 Päätypilari

Pääty pilarin mitoituksessa käytettäviä poikkileikkaussuureita on kerätty taulukkoon 31. Oletuksena poikkileikkaussuureiden laskennassa on käytetty raudoitusta 4T25 eli A_{s,tot} = 1963 mm², jolloin raudoitussuhde ρ = 0,0108 (kaava 20). Pilarin nurjahduspituus on taulukon 18 kertoimilla nurjahdusmuoto b:n mukaisesti L₀ = 13,516 m. Pääty pilarin hoikkuusluku λ ei ylitä taulukon 25 mukaista rajahoikkuutta λ_{lim} suunnassa y, joten toisen kertaluvun vaikutuksia ei täytyisi huomioida. Vertailun vuoksi lasketaan kuitenkin myös pääty pilarin toisen kertaluvun vaikutukset. λ_z / λ_y = 1,26, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida mikäli kaavan 52 mukaiset epäkeskisyys ehdot täyttyvät.

Taulukko 31. Pääty pilarin poikkileikkaussuureita ja mitoituksessa käytettäviä oletuksia

	suunta y	suunta z
i [m]	0,139	0,110
λ	97,54	123,21
I _c [m ⁴]	0,004	0,002
I _s [m ⁴]	0,000071	0,000039
e _s [m]	0,190	0,140
e ₀ [m]	0,020	0,020
d'/h	0,10	0,13
Mitoituskäyrä	0,10	0,15

Pääty pilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyysdet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala nimellisen jäykkyden menetelmällä on kerätty taulukkoon 32.

Taulukko 32. Päätypilarin mitoitusmomentti ja rauditus nimellisen jäykkyyden menetelmällä

	KY1	KY2
EI	15,06	14,82
NB	813,61	800,77
Med	145,22	142,07
Mmin	0,79	0,56
(e_y/h) / (e_z/b)	145,54	200,86
(e_z/b) / (e_y/h)	0,007	0,005
μ	0,07	0,07
n	0,010	0,007
ω	0,150	0,155
As,vaad	1426	1474

Nimellisen jäykkyyden menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY2 ja vaadittu teräsmäärä 1474 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys (e_z/b) / (e_y/h) $\leq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

Päätypilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala nimellisen kaarevuuden menetelmällä on kerätty taulukkoon 33.

Taulukko 33. Päätypilarin mitoitusmomentti ja rauditus nimellisen kaarevuuden menetelmällä

	KY1	KY2
e2	0,205	0,205
M2	8,12	5,76
Med	146,27	142,85
Mmin	0,79	0,56
(e_y/h) / (e_z/b)	147,25	201,95
(e_z/b) / (e_y/h)	0,007	0,005
μ	0,07	0,07
n	0,010	0,007
ω	0,150	0,155
As,vaad	1426	1474

Nimellisen kaarevuuden menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY2 ja vaadittu teräsmäärä 1474 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys $(e_z/b) / (e_y/h) \leq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

Pääty Pilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä on kerätty taulukkoon 34.

Taulukko 34. Pääty Pilarin mitoitusmomentti ja raudoitus RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä

	KY1	KY2
e2	0,24	0,24
M2	9,60	6,80
Med	147,75	143,89
Mmin	0,79	0,56
(e _y /h) / e _z /b)	148,06	203,42
(e _z /b) / e _y /h)	0,07	0,005
μ	0,07	0,07
n	0,01	0,007
ω	0,150	0,155
As,vaad	1426	1474

RIL 202-2011 mukaisella mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY2 ja vaadittu teräsmäärä 1474 mm². Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on suurempi kuin minimimomentti. Y-suunnan mitoitusmomentti on minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys $(e_z/b) / (e_y/h) \leq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida.

3.3.3 Nurkkapilari

Nurkkapilarin mitoituksessa käytettäviä poikkileikkaussuureita on kerätty taulukkoon 35. Oletuksena poikkileikkaussuureiden laskennassa on käytetty raudoitusta 4T25 eli $A_{s,tot} = 1963 \text{ mm}^2$, jolloin raudoitusuhde $\rho = 0,0108$ (kaava 20). Pilarin nurjahduspituus on taulukon 18 kertoimilla nurjahdusmuoto b:n mukaisesti $L_0 = 12,208 \text{ m}$. Nurkkapilarin hoikkuusluku λ ylittää taulukon 26 mukaiset rajahoikkuudet λ_{lim} kaikilla kuormitusyhdistel-

millä suunnassa z ja kuormitusyhdistelmillä 1...4 suunnassa y. Toisen kertaluvun vaikutukset täytyy huomioida. $\lambda_y / \lambda_z = 1,26$, joten vinoa taivutusta ei tarvitse huomioida mikäli kaavan 52 mukaiset epäkeskisyysehdot täyttyvät.

Taulukko 35. Nurkkapilarin poikkileikkaussuureita ja mitoituksessa käytettäviä oletuksia

	suunta y	suunta z
i [m]	0,139	0,110
λ	88,104	111,289
Ic [m ⁴]	0,004	0,002
Is [m ⁴]	0,000071	0,000039
es [m]	0,190	0,140
e0 [m]	0,020	0,020
d'/h	0,10	0,13
Mitoituskäyrä	0,10	0,15

Nurkkapilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmillä Nimellisen jäykkyyden menetelmällä on kerätty taulukkoon 36.

Taulukko 36. Nurkkapilarin mitoitusmomentti, raudoitus ja vinon taivutuksen käyttöaste nimellisen jäykkyyden menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
suunta y						
EI	15,00	17,12	15,77	16,73	14,93	15,19
NB	993,49	1133,81	1044,20	1107,61	988,40	1006,12
Med	3,92	69,15	15,44	93,65	19,60	75,57
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,002	0,03	0,01	0,05	0,01	0,04
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
ω	0	0,049	0	0,073	0,005	0,078
As,vaad	0	466	0	694	48	742
suunta z						
EI	10,27	10,31	9,88	9,89	8,57	8,58
NB	679,94	682,86	654,16	655,06	567,7	567,9
Med	60,70	20,81	91,06	30,88	72,48	24,00
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,04	0,01	0,06	0,02	0,05	0,02
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01

ω	0,047	0	0,1	0	0,103	0,029
As,vaad	447	0	951	0	979	276
Suhteelliset epäkeskisyydet						
(ey/h) / (ez/b)	0,05	2,63	0,13	2,40	0,21	2,49
(ez/b) / (ey/h)	19,56	0,38	7,45	0,42	4,67	0,40
Vino taivutus						
ω_{tot}	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
μ_{ytot}	0,106	0,106	0,106	0,106	0,095	0,095
μ_{ztot}	0,097	0,097	0,097	0,097	0,087	0,087
Käyttöaste	42 %	47 %	67 %	65 %	63 %	58 %

Nimellisen jäykkyyden menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY5 ja vaadittu teräsmäärä 979 mm² suunnassa z. Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on suurempi kuin minimimomentti. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä molemmissa suunnissa suurempi kuin minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyyden $(e_y/h) / (e_z/b)$ tai $(e_z/b) / (e_y/h) \geq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vino taivutus tarvitsee huomioida. Vinon taivutuksen määräävä kuormitusyhdistelmä on KY3 ja käyttöaste 67 %.

Nurkkapilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset, suhteelliset epäkeskisyydet ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmillä Nimellisen kaarevuuden menetelmällä on kerätty taulukkoon 37.

Taulukko 37. Nurkkapilarin mitoitusmomentti ja raudoitus nimellisen kaarevuuden menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
suunta y						
e2	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
M2	30,06	30,06	24,73	24,73	9,62	9,62
Med	33,27	88,25	37,98	105,88	28,08	80,87
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,02	0,04	0,02	0,05	0,01	0,04
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
ω	0	0,050	0	0,074	0,007	0,079
As,vaad	0	475	0	704	67	751
suunta z						
e2	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218
M2	39,15	39,15	32,21	32,21	9,62	9,62

Med	83,81	54,48	102,69	56,12	77,67	34,10
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,05	0,03	0,07	0,04	0,05	0,02
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
ω	0,074	0,021	0,129	0,047	0,103	0,028
As,vaad	704	200	1227	447	979	266
Suhteelliset epäkeskisyydet						
(e_y/h) / (e_z/b)	0,31	1,28	0,29	1,49	0,286	1,877
(e_z/b) / (e_y/h)	3,18	0,78	3,41	0,67	3,494	0,533
Vino taivutus						
ω_{tot}	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
μ_{ytot}	0,106	0,106	0,106	0,106	0,095	0,095
μ_{ztot}	0,097	0,097	0,097	0,097	0,087	0,087
Käyttöaste	71 %	78 %	85 %	87 %	72 %	68 %

Nimellisen kaarevuuden menetelmällä mitoitettava kuormitusyhdistelmä on KY3 ja vaadittu teräsmäärä 1227 mm² suunnassa z. Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä molemmissa suunnissa suurempi kuin minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyyden (e_y/h) / (e_z/b) tai (e_z/b) / (e_y/h) $\geq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vino taivutus tarvitsee huomioida. Vinon taivutuksen määräävä kuormitusyhdistelmä on KY4 ja käyttöaste 87 %.

Nurkkapilarin toisen kertaluvun vaikutukset, mitoittavat rasitukset ja vaadittu pääraudoituksen pinta-ala luvun 3.2.1 kuormitusyhdistelmillä RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä on kerätty taulukkoon 38. Taulukon 35 mukaisesti pilarin hoikkuusluku suunnassa z ylittää 100, joten tätä menetelmää ei saisi mitoituksessa käyttää. Mitoitetaan pilari kuitenkin vertailun vuoksi tälläkin menetelmällä.

Taulukko 38. Nurkkapilarin mitoitusmomentti ja rauditus RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä

	KY1	KY2	KY3	KY4	KY5	KY6
suunta y						
e2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
M2	35,53	35,53	29,23	29,23	11,37	11,37
Med	38,74	93,72	42,48	110,38	29,83	82,62
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,02	0,05	0,02	0,06	0,02	0,04
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
ω	0	0,074	0	0,095	0,029	0,082
As,vaad	0	704	0	903	276	780
suunta z						
e2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
M2	43,52	43,52	35,80	35,80	13,93	13,93
Med	88,18	58,85	106,28	59,71	79,07	35,50
Mmin	3,59	3,59	2,96	2,96	1,15	1,15
μ	0,06	0,04	0,07	0,04	0,05	0,02
n	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
ω	0,100	0,047	0,129	0,047	0,103	0,028
As,vaad	951	447	1227	447	979	266
Suhteelliset epäkeskisyydet						
(ey/h) / ez/b)	0,31	1,28	0,29	1,49	0,30	1,84
(ez/b) / ey/h)	3,18	0,78	3,41	0,67	3,35	0,54
Vino taivutus						
ω_{tot}	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
μ_{ytot}	0,106	0,106	0,106	0,106	0,095	0,095
μ_{ztot}	0,097	0,097	0,097	0,097	0,087	0,087
Käyttöaste	76 %	83 %	90 %	92 %	74 %	70 %

RIL 202-2011 mukaisella menetelmällä mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY3 ja vaadittu teräsmäärä 1227 mm² suunnassa z. Vaadittu teräsmäärä on pienempi kuin toteutunut, joten mitoitus on ok. Mitoitusmomentti on kaikissa kuormitusyhdistelmissä molemmissa suunnissa suurempi kuin minimimomentti. Suhteellinen epäkeskisyys $(e_y/h) / (e_z/b)$ tai $(e_z/b) / (e_y/h) \geq 0,2$ jokaisella kuormitusyhdistelmällä, joten vino taivutus tarvitsee huomioida. Vinon taivutuksen määräävä kuormitusyhdistelmä on KY4 ja käyttöaste 92 %.

3.4 Pilarianturan mitoitus

Tässä luvussa mitoitetaan pilarianturat geotekninen kantavuuden, taivutuksen, ankkuroinnin ja lävistyksen suhteen. Pilarianturoiden kuormitukset lasketaan samoilla rakennemalleilla kuin pilarit, mutta momentit lasketaan anturan alapinnan suhteen. Pilarianturan kuormitukseen lisätään myös sokkelielementtien oma paino, pilarianturan oma paino ja täytön paino. Pilarianturoiden geotekninen kantavuus mitoitetaan luvun 2.6.1 mukaisella mitoitustavalla DA2*. Pilarianturan geotekninen kantokestävyys mitoitetaan joko suurimman momentin ja suurimman pystykuorman tai suurimman momentin ja pienimmän pystykuorman aiheuttavilla kuormituksilla. Pilarianturoiden rakenneteknisessä mitoituksessa käytetään Eurokoodin mukaisia kuormitusyhdistelmiä, joista etsitään taivutus- ja ankkurointimitoitusta varten suurimman pohjapaineen tuottava yhdistelmä ja lävistysmitoitusta varten suurimman pystykuorman tuottava yhdistelmä.

3.4.1 Geotekninen kantokestävyys

Pilarianturoiden geoteknisen kantokestävyuden mitoituksessa käytettävät rasitukset on kerätty taulukkoon 39. Pystykuormissa ei ole huomioitu anturan omaa painoa ja täytön painoa, mutta kantokestävyyslaskelmiin ne lisätään iteroimalla oikeat anturan sivumitat. V_{kmin} on ilman lunta ja V_{kmax} lumen kanssa. Päätypilarilla ei ole otettu huomioon yhdistelmää V_{kmax} , sillä lumen vaikutus on häviävän pieni. Nurkkapilarilla on otettu huomioon suurimmat samaan aikaan eri suuntiin vaikuttavat momentit. Tuuli 1:n mukaisissa yhdistelmissä tuuli puhaltaa pitkän sivun suunnasta ja tuuli 2:n mukaisissa päädyistä. Mitoituskitkakulmana käytetään 40° , joka vastaa mursketäytön kitkakulmaa. Kohteen perusmaa on louhittu kallio ja anturan alle rakennetaan vähintään 300 mm tiivistetty mursketäyttö. Perustussyvyudeksi määritellään 1,0 m.

Taulukko 39. Pilarianturoiden geoteknisessä mitoituksessa käytettävät rasitukset

	V_{kmin} [kN]	V_{kmax} [kN]	M_{max} [kN]	H_k [kN]
Kehäpilari	130,35	271,95	91,08	26
Päätypilari	64,38	-	102,58	31,09
Nurkkapilari (tuuli 1)	91,98	162,78	51/15,3	17
Nurkkapilari (tuuli 2)	91,98	162,78	15,3/51	17

Taulukkoon 40 on kerätty kehäpilarin kantokestävyys, epäkeskisyys ja liukumiskestävyys sekä niiden käyttöasteet kuormitusyhdistelmillä $V_{kmin} + M_{max}$ ja $V_{kmax} + M_{max}$. Anturan sivumitoiksi on valittu laskentaohjelmalla iteroimalla 2 m x 1,2 m. Määrävä kuormitusyhdistelmä on $V_{kmin} + M_{max}$ ja

mitoitettava tekijä kuorman epäkeskisyys käyttöasteella 83,3 %. Tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 40. Kehäpilarin geotekninen mitoitus

Kehäpilari	V _{kmin} /M _{max}	V _{kmax} /M _{max}
Epäkeskisyys [m]	0,50 / 83,3 %	0,28 m / 46,7 %
Kantokestävyys [kN]	1553 / 16,4 %	2942,2 / 14,2 %
Liukumiskestävyys [kN]	74,67 / 52 %	-

Taulukkoon 41 on kerätty pääty pilarin kantokestävyys, epäkeskisyys ja liukumiskestävyys sekä niiden käyttöasteet kuormitusyhdistelmällä V_{kmin} + M_{max}. Anturan sivumitoiksi on valittu laskentaohjelmalla iteroimalla 2,8 m x 1,2 m. Mitoitettava tekijä on liukumiskestävyys käyttöasteella 83,3 %. Tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 41. Pääty pilarin geotekninen mitoitus

Päätypilari	V _{kmin} /M _{max}
Epäkeskisyys [m]	0,75 / 80 %
Kantokestävyys [kN]	1857,5 / 9,7 %
Liukumiskestävyys [kN]	56 / 83,3 %

Taulukkoon 42 on kerätty nurkkapilarin kantokestävyys, epäkeskisyys ja liukumiskestävyys sekä niiden käyttöasteet kuormitusyhdistelmillä V_{kmin} + M_{max} ja V_{kmax} + M_{max} tuulen puhaltaessa pitkän sivun suunnasta tai päädystä. Anturan sivumitoiksi on valittu laskentaohjelmalla iteroimalla 2 m x 1,4 m. Kuorman epäkeskisyttä on anturan molemmissa suunnissa. Taulukossa on esitetty vain suurempi käyttöaste. Määrävä kuormitusyhdistelmä on V_{kmin} + M_{max} tuulen puhaltaessa pitkän sivun suunnasta ja mitoitettava tekijä kuorman epäkeskisyys käyttöasteella 72,9 %. Tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 42. Nurkkapilarin geotekninen mitoitus

Nurkkapilari (tuuli 1)	V _{kmin} /M _{max}	V _{kmax} /M _{max}
Epäkeskisyys [m]	0,34 / 72,9 %	0,23 / 49 %
Kantokestävyys [kN]	2464,8 / 8,4 %	3425,7 / 8,4 %
Liukumiskestävyys [kN]	62,42 / 40,9 %	-
Nurkkapilari (tuuli 2)		
Epäkeskisyys [m]	0,34 / 51 %	0,23 / 35 %
Kantokestävyys [kN]	2470,4 / 8 %	3427,86 / 8 %
Liukumiskestävyys [kN]	62,42 / 40,9 %	-

3.4.2 Rakennetekninen mitoitus

Kehäpilarin pilarianturan kuormitukset taivutus- ja ankkurointimitoitusta varten lasketaan kolmella eri MRT kuormitusyhdistelmällä (taulukko 5). Päätypilariilla huomioidaan vain KY3, sillä kokemuksesta tiedetään, että se on määräävä kuormitusyhdistelmä. Nurkkapilarilla on otettu huomioon suurimmat samaan aikaan eri suuntiin vaikuttavat momentit. Nurkkapilarin tuuli 1:n mukaisissa yhdistelmissä tuuli puhaltaa pitkän sivun suunnasta ja tuuli 2:n mukaisissa päädyistä Anturat on mitoitettu betonin lujuusluokalla C30/37 ja rasitusluokassa XC2. Anturan korkeus on 0,4 m.

- KY1: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{sk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{wk}$
- KY2: $\gamma_{G,j,\text{sup}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{sk}$
- KY3: $\gamma_{G,j,\text{inf}} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{wk}$

Kuormitusyhdistelmien mukaiset rasitukset on kerätty taulukkoon 43.

Taulukko 43. Pilarianturoiden rasitukset kuormitusyhdistelmien mukaisesti taivutus- ja ankkurointimitoitusta varten

	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]
Kehäpilari		
KY1	421,37	81,97
KY2	357,65	136,62
KY3	163,54	136,62
Päätypilari		
KY3	122,65	153,87
Nurkkapilari (tuuli 1)		
KY1	280,89	45,9/13,77
KY2	196,23	76,50/22,95
KY3	136,73	76,50/22,95
Nurkkapilari (tuuli 2)		
KY1	280,89	13,77/45,9
KY2	196,23	22,95/76,50
KY3	136,73	22,95/76,50

Taulukkoon 44 on kerätty kehäpilarin taivutusmitoituksen mitoitusuurteita ja vaaditut vetoraudoituksen pinta-alat edellä määritettyjen kuormitusyhdistelmien mukaisesti. Anturan sivumitat 2 x 1,2 m on valittu geoteknisen mitoituksen mukaisesti. Sivumittoja vastaavat minimiraudoitusmäärät ovat 657 mm² suunnassa y ja 1095 mm² suunnassa z.

Taulukko 44. Kehäpilarin taivutusmitoitus

Kehäpilari	KY1	KY2	KY3
Anturan tehollinen ala [m ²]	1,93	1,48	0,40
Pohjapaineen aiheuttama momentti [kNm]			
Suunta y	75,54	83,57	143,46
Suunta z	29,51	25,05	11,45
As,vaad [mm ²]			
Suunta y	485	537	934
Suunta z	187	159	73

Taulukkoon 45 on kerätty kehäpilarin ankkurointimitoituksen tuloksia. Mitoituksessa on ensin käytetty taivutusmitoituksen mukaista rauditusmäärää, jolle on laskettu tarvittava taivutuspituus ja sitten etsitty rauditusmäärä, millä raudoitusta ei tarvitse taivuttaa.

Taulukko 45. Kehäpilarin ankkurointimitoitus

Kehäpilari	KY1	KY2	KY3
Vaadittava taivutusmitta [mm], A _{s,vaad}			
Suunta y	204	188	240
Suunta z	0	0	0
Vaadittava rauditusmäärä ilman taivutusta [mm ²]			
Suunta y	905	792	1357
Suunta z	-	-	-

Kehäpilarin mitoittava kuormitusyhdistelmä taivutuksessa ja ankkuroinnissa on KY3. Vaadittava rauditusmäärä on 934 mm², jolloin raudoitusta täytyy taivuttaa 240 mm² tai 1357 mm² ilman raudituksen taivutusta. Ankkurointimitoituksessa päädyttiin käyttämään rauditusmäärää, jolla raudoitusta ei tarvitse taivuttaa. Suunnassa z minimirauditus on riittävä ilman raudituksen taivutusta. Liitteessä 4 on esitetty tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä.

Taulukkoon 46 on kerätty pääty pilarin taivutusmitoituksen mitoitussuureita ja vaaditut vetoraudituksen pinta-alat edellä määritetyn kuormitusyhdistelmän mukaisesti. Anturan sivumitat 2,8 x 1,2 m on valittu geoteknisen mitoituksen mukaisesti. Sivumittoja vastaavat minimirauditusmäärät ovat 657 mm² suunnassa y ja 1533 mm² suunnassa z.

Taulukko 46. Pääty Pilarin taivutusmitoitus

Pääty Pilarin	KY3
Anturan tehollinen ala [m ²]	0,349
Pohjapaineen aiheuttama momentti [kNm]	
Suunta y	283,66
Suunta z	8,59
As,vaad [mm ²]	
Suunta y	1901
Suunta z	54

Taulukkoon 47 on kerätty pääty Pilarin ankkurointimitoituksen tuloksia. Mitoituksessa on ensin käytetty taivutusmitoituksen mukaista raudoitussuoraa, jolle on laskettu tarvittava taivutusmitta ja sitten etsitty raudoitussuora, millä raudoitusta ei tarvitse taivuttaa.

Taulukko 47. Pääty Pilarin ankkurointimitoitus

Pääty Pilarin	KY3
Vaadittava taivutusmitta [mm], As,vaad	
Suunta y	0
Suunta z	0
Vaadittava raudoitussuora ilman taivutusta [mm ²]	
Suunta y	-
Suunta z	-

Pääty Pilarin mitoittava kuormitusyhdistelmä taivutuksessa ja ankkuroinnissa on KY3. Vaadittava raudoitussuora on 1901 mm². Taivutusmitoituksessa vaadittu raudoitussuora on niin suuri, ettei raudoitusta tarvitse taivuttaa. Suunnassa z minimirauditus on riittävä ilman raudoituksen taivutusta. Liitteessä 5 on esitetty tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä.

Taulukkoon 48 on kerätty nurkkapilarin taivutusmitoituksen mitoitussuoraa ja vaadittu vetoraudoituksen pinta-ala edellä määritettyjen kuormitusyhdistelmien mukaisesti. Anturan sivumitat 2 x 1,4 m on valittu geoteknisen mitoituksen mukaisesti. Sivumittoja vastaavat minimiraudoitussuorat ovat 766 mm² suunnassa y ja 1095 mm² suunnassa z.

Taulukko 48. Nurkkapilarin taivutusmitoitus

Nurkkapilari (tuuli 1)	KY1	KY2	KY3
Anturan tehollinen ala [m ²]	2,04	1,096	0,468
Pohjapaineen aiheuttama momentti [kNm]			
Suunta y	42,65	32,09	23,73
Suunta z	34,04	41,14	63,28
As,vaad [mm ²]			
Suunta y	272	204	151
Suunta z	212	262	403
Nurkkapilari (tuuli 2)	KY1	KY2	KY3
Anturan tehollinen ala [m ²]	2,18	1,42	0,938
Pohjapaineen aiheuttama momentti [kNm]			
Suunta y	48,48	46,44	44,82
Suunta z	28,06	21,88	16,71
As,vaad [mm ²]			
Suunta y	309	296	286
Suunta z	178	139	106

Taulukkoon 49 on kerätty nurkkapilarin ankkurointimitoituksen tuloksia. Mitoituksessa on ensin käytetty taivutusmitoituksen mukaista raudoitusmäärää, jolle on laskettu tarvittava taivutuspituus ja sitten etsitty raudoitusmäärä, millä raudoitusta ei tarvitse taivuttaa.

Taulukko 49. Nurkkapilarin ankkurointimitoitus

Nurkkapilari (tuuli 1)	KY1	KY2	KY3
Vaadittava taivutusmitta [mm], A _{s,vaad}			
Suunta y	0	0	0
Suunta z	0	0	0
Vaadittava raudoitusmäärä ilman taivutusta [mm ²]			
Suunta y	-	-	-
Suunta z	-	-	-
Nurkkapilari (tuuli 2)	KY1	KY2	KY3
Vaadittava taivutusmitta [mm], A _{s,vaad}			
Suunta y	0	0	0
Suunta z	0	0	0
Vaadittava raudoitusmäärä ilman taivutusta [mm ²]			

Suunta y	-	-	-
Suunta z	-	-	-

Nurkkapilarin mitoittava kuormitusyhdistelmä taivutuksessa suunnassa z on KY3 tuulen puhaltaessa pitkän sivun suunnasta ja suunnassa y KY2 tuulen puhaltaessa päädystä. Vaadittu rauditusmäärä on molemmissa suunnissa kaikilla kuormitusyhdistelmillä selvästi minimirauditusta pienempi. Minimirauditus on molemmissa suunnissa kaikilla kuormitusyhdistelmillä riittävä ilman raudituksen taivutusta. Liitteessä 6 on esitetty tarkemmat laskelmat määrävällä kuormitusyhdistelmällä.

Pilarianturoiden lävistysmitoituksessa käytetään kuormitusyhdistelmää 1 ilman anturan omaa painoa, täytön omaa painoa tai sokkelin omaa painoa, sillä ne eivät ole pistemäisiä kuormituksia eivätkä aiheuta lävistyskuormaa. Päätypilarin lävistysmitoitus on tehty ilman tuulikuormaa, sillä ottamatta huomioon anturan omaa painoa tulisi pohjapaineesta negatiivinen, eikä lävistysmitoitusta ole tarpeen suorittaa. Pilarianturoiden lävistysmitoituksessa käytettävät rasitukset on kerätty taulukkoon 50.

Taulukko 50. Pilarianturoiden lävistysmitoituksessa käytettävät rasitukset

	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]
Kehäpilari	330	81,97
Päätypilari	42,77	-
Nurkkapilari	179,7	45,9/13,77

Taulukkoon 51 on kerätty kehäpilarin lävistysmitoituksen mitoitussuureita ja käyttöaste. Lävistysmitoituksessa on käytetty samaa rauditusmäärää kuin ankkurointimitoituksessa. Lävistysmitoitus on tehty murtokartion kaltevuudelle y-suunnan ja z-suunnan mukaan, sillä lähteissä oli käsitelty vain neliöanturan murtokartion kaltevuudet. Mitoittava murtokartion kaltevuus on y-suunnan mukaisesti. Vertailun vuoksi taulukossa on esitetty myös vastaavat suuret ja käyttöaste z-suunnan mukaisella murtokartion kaltevuudella.

Taulukko 51. Kehäpilarin lävistysmitoitus

Kehäpilari	Suunta y	Suunta z
Murtokartion sivumitta [m]	0,29	0,16
Murtokartion ala [m ²]	0,757	0,349
Lävistyskuorma [kN]	191,46	266,21
Lävistyspiiri [m]	3,532	2,709
Mitoitusjännitys [MPa]	0,259	0,458
Tehollinen rauditussuhde	0,0007	0,001

Lävistyskestävyys [MPa]	0,580	1,200
Käyttöaste	45 %	38 %

Taulukkoon 52 on kerätty pääty pilarin lävistysmitoituksen mitoitussuureita ja käyttöaste. Lävistysmitoituksessa on käytetty samaa raudoitusmäärää kuin ankkurointimitoituksessa. Lävistysmitoitus on tehty vain murtokartion kaltevuudelle z-suunnan mukaan. Y-suunnan mukaisena murtokartion sivumitta kasvaa niin suureksi, että z-suunnassa ei saada vetotäräisiä ankkuroitua tarpeeksi, jotta niitä voisi käyttää tehollisen raudoitussuhteen laskennassa. Raudoitusta taivuttamalla olisi laskenta voitu suorittaa. Lävistyskuorma on kuitenkin todella pieni ja käyttöaste jää matalaksi, joten ei ole nähty mielekkääksi tehdä lävistysmitoitusta y-suunnan mukaisella murtokartion kaltevuudella.

Taulukko 52. Pääty pilarin lävistysmitoitus

Pääty pilarin	Suunta z
Murtokartion sivumitta [m]	0,16
Murtokartion ala [m ²]	0,349
Lävistyskuorma [kN]	38,33
Lävistyspiiri [m]	2,709
Mitoitusjännitys [MPa]	0,039
Tehollinen raudoitussuhde	0,00141
Lävistyskestävyys [MPa]	1,345
Käyttöaste	3 %

Taulukkoon 53 on kerätty nurkkapilarin lävistysmitoituksen mitoitussuureita ja käyttöaste. Lävistysmitoituksessa on käytetty samaa raudoitusmäärää kuin ankkurointimitoituksessa. Lävistysmitoitus on tehty murtokartion kaltevuudelle y-suunnan ja z-suunnan mukaan, sillä lähteissä oli käsitelty vain neliöanturan murtokartion kaltevuudet. Mitoitava murtokartion kaltevuus on y-suunnan mukaisesti. Vertailun vuoksi taulukossa on esitetty myös vastaavat suureet ja käyttöaste z-suunnan mukaisella murtokartion kaltevuudella.

Taulukko 53. Nurkkapilarin lävistysmitoitus

Nurkkapilari	Suunta y	Suunta z
Murtokartion sivumitta [m]	0,29	0,20
Murtokartion ala [m ²]	0,757	0,461
Lävistyskuorma [kN]	106,40	135,12
Lävistyspiiri [m]	3,532	2,958
Mitoitusjännitys [MPa]	0,142	0,214
Tehollinen raudoitussuhde	0,00071	0,00085
Lävistyskestävyys [MPa]	0,585	0,908
Käyttöaste	25 %	24 %

4 LASKENTAOHJELMA

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia Excel-pohjainen käsinlaskentaohjelma mastopilarin ja pilarianturan mitoitukseen hallin sijainti, - laajuus, - ja maaperätietoihin perustuen. Pohjaksi valittiin Excel, sillä se on käytössä kaikilla tilaajayrityksen suunnittelijoilla ja työn tekijä on perehtynyt sen käyttöön kattavasti jo ennen työn tekoa. Alun perin tarkoituksena oli laatia vain yksi ohjelma joka laskisi kuormat, sekä mitoittaisi pilarin ja anturan. Tämä osoittautui kuitenkin liian monimutkaiseksi toteuttaa Excel-pohjaisena, joten päädyttiin tekemään tähän työhön liittyen kaksi erillistä ohjelmaa, joista yksi mitoittaa pilarin ja toinen pilarianturan. Lisäksi myöhemmin tullaan kehittämään hallin kuormalaskuri.

4.1 Laskentaohjelmien ominaisuudet ja käyttö

4.1.1 Pilarin laskentaohjelma

Pilarin laskentaohjelmassa tulostettavalle etusivulle syötetään käytettävät materiaaliominaisuudet, rasisluokka, nurjahdusmuoto ja poikkileikkauksen mitat, joiden perusteella ohjelma laskee laskennassa käytettävät materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot ja suojaetäisyydet. Raudoitteiden mitoitus tehdään iteroimalla. Liitteessä 7 on esitetty pilarin laskentaohjelman tulostussivu.

Rakenneanalyysi ja kuormat välilehdelle syötetään kuormien ominaisarvot ja sijaintitiedot. Mahdollisia pystysuuntaisia hyötykuormia voi syöttää lumen lisäksi 2. Pystykuormille syötetään resultantin vaakasuuntainen etäisyys pilarin keskilinjasta suunnassa y ja z. Mahdollisia vaakasuuntaisia hyötykuormia voi tuulen lisäksi lisätä 2 Tuulikuorma on eroteltu seinän kuormana ja yläpohjan kuormana imu ja painekuormat erikseen. Vaakakuormat syötetään sekä y-, että z-suunnassa, imukuormat negatiivisena. Vaakakuormille syötetään pystyettäisyys pilarin alapäästä. Ohjelma kerää taulukosta tarvittavat osavarmuus- ja yhdistelykertoimet murtorajatilan kuormitusyhdistelmiä varten. Ohjelma laskee tällä välilehdellä tarvittavat suureet mittaepätarkkuuksien huomioimista varten ja ominaisyhdistelmän momentin virumatarkastelua varten. Liitteessä 8 on esitetty pilarin laskentaohjelman kuormat- ja rakenneanalyysisivu.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät on kerätty omille välilehdilleen y- ja z-suunnassa. Ohjelma laskee pilarin pystykuorman, leikkausvoiman ja alapään momentin annettujen ominaiskuormien perusteella. Momenteissa otetaan huomioon mittaepätarkkuuksien vaikutukset.

Toisen kertaluvun momentti välilehdellä ohjelma tulee jatkossa laskemaan toisen kertaluvun vaikutukset jokaisella menetelmällä jokaisella kuormitusyhdistelmällä ja huomioi vinon taivutuksen tarvittaessa.

Aputaulukko välilehdellä on taulukoita laskukaavojen yksinkertaistamiseksi, alavetovalikoita ja automatisointeja varten.

Tällä hetkellä kuormitusyhdistelmien etsiminen ei ole vielä täysin automatisoitu, sillä teoreettisia yhdistelmiä on satoja kun huomioidaan kaikki mahdolliset hyötykuormat ja omat painot edullisena tai epäedullisena, y ja z suunnassa ja vaakakuormat imu tai painepuolelle. Tällä hetkellä kuormitusyhdistelmien kuormat luetaan murtorajatilat-välilehdiltä ja syötetään manuaalisesti toisen kertaluvun momentti välilehdelle. Mekaaninen raudoitussuhde luetaan käyrästöiltä CAD-sovelluksessa. Kuormien syöttäminen tullaan automatisoimaan ohjelmaa kehittäessä ja raudoitussuhteiden arvoja tullaan taulukoimaan, jolloin niitä ei tarvitse lukea käyrästöiltä erikseen.

4.1.2 Pilarianturan laskentaohjelma

Pilarianturan laskentaohjelmassa tulostettavalle etusivulle syötetään käytettävät materiaaliominaisuudet, anturan sivumitat joiden perusteella ohjelma laskee käytettävät materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot ja suojaetäisyydet. Raudoitteiden mitoitus tehdään iteroimalla. Ohjelma laskee minimiraudoituksen anturan sivumittojen perusteella, vaadittavan veto-raudoituksen taivutusmitoituksen perusteella ja näyttää kuinka paljon raudoitusta pitää taivuttaa ankkurointimitoitusta varten. Lisätaivutus kohtaan voidaan syöttää mahdollinen ylimääräinen taivutus ankkurointivaatimuksen lisäksi. Käytössä on huomattu, että lävistysmitoitusta varten ei aina riitä ankkurointimitoituksen mukaiset taivutukset. Ankkurointivaatimus lävistyksellä on 1,5d murtokartion yli, joten jos murtokartion kaltevuus on loiva, voi lävistyksen ankkurointivaatimus olla suurempi kuin pystysuorassa tai vinossa leikkauksessa. Etusivulla on esitetty anturan kantokestävyys, liukumiskestävyys ja lävistyskestävyys sekä kuormien vaikutukset määräävillä kuormitusyhdistelmillä ja näiden käyttöasteet. Liitteessä 9 on esitetty pilarianturan laskentaohjelman tulostussivu.

Kantokestävyys välilehdellä tehdään anturan geoteknisen mitoituksen laskelmat. Mitoituksessa käytettävät maaparametrit syötetään niihin varattuihin kohtiin. Kuormat voidaan syöttää mitoitusarvoina (menetelmä DA2) tai ominaisarvoina (menetelmä DA2*) Pystykuormat, Vaakakuormat ja Kaatava momentti anturan alapinnassa kohtiin. Momentti voidaan syöttää anturan B tai L mitan suunnassa tai molemmissa. Ohjelmassa on alavetovalikko, josta valitaan onko kuormat syötetty ominais- vai mitoitusarvoina, jolloin ohjelma osaa laskea kantavuudet oikeilla osavarmuuskertoimilla. Mikäli kuormat syötetään ominaisarvoina, on tulostusalueen ulkopuolella

erillinen kohta mihin eritellään pystykuormasta omat painot ja hyötykuorma murtorajatilaehdon ja liukumiskestävyyden tarkistamista varten. Ohjelma laskee samaan kohtaan automaattisesti anturan oman painon ja täytön painon annettujen tietojen perusteella.

Rakennetekninen mitoitus välilehdellä tehdään anturan rakenneteknisen mitoituksen laskelmat. Pystykuormat ja momentit syötetään niille osoitetuihin kohtiin kuormitusyhdistelmien arvoina. Taivutus- ja ankkurointimitoituksen kuormille on oma kohta ja lävistysmitoitukselle omansa. Kuormien syöttäminen tehdään tällä hetkellä manuaalisesti. Ohjelma laskee ja esittää kaikki mitoituksessa tarvittavat suureet välilehdelle syötettyjen kuormien ja etusivulle syötettyjen anturan mitta, ja materiaalitietojen perusteella ja syöttää etusivulle vaadittavan raudoitusmäärän sekä ankkurointia varten taivutuspuiteuden. Mikäli ankkurointipituus on riittävä ilman taivutusta ohjelma ilmoittaa että ankkurointi on riittävä. Lävistysmitoitus on eroteltu taivutus ja ankkurointimitoituksesta tässä vaiheessa, sillä niiden määräävä kuormitusyhdistelmä ei ole välttämättä sama. Näin saadaan etusivulle suoraan oikea tieto ilman useampaa tulostetta.

Lävistyskartio sivulla esitetään tarkemmin murtokartion kaltevuuden laskenta. European Concrete Platform ASBL (2008) on esittänyt käyrästöt murtokartion kaltevuuden ratkaisemista varten Eurokoodin tausta-aineistossa vain tietyille anturan sivumitan ja pilarin sivumitan sekä anturan sivumitan ja d-mitan suhteille. Tunnettujen käyrien kulmakertoimet on ratkaistu ohjelmassa kahden tunnetun pisteen avulla. Tunnettujen käyrien x-akselin leikkauskohdat on luettu käyrästöstä ja taulukoitu laskentaohjelmaan. Laskentaohjelma interpoloi väliin asetettujen käyrien kulmakertoimet ja x-akselien leikkauskohdat tunnettujen käyrien suhteen ja piirtää välikäyrän kuvaajaan. Tarkka kriittisen murtokartion kaltevuuden arvo a/d , eli käyrästön y-akselin arvo, lasketaan suoran yhtälön avulla. Murtokartion kaltevuus tarkistetaan sekä anturan y-suunnan että z-suunnan sivumitan perusteella, sillä lähteessä ei ole esitetty käyrästöjä suorakaidepilarianturalle. Lävistysmitoitus tehdään molemmilla murtokartion kaltevuuksilla ja tulostussivulla esitetään se tapaus, joka antaa lävistykselle suuremman käyttöasteen. Liitteessä 10 on esitetty pilarianturan laskentaohjelman murtokartion kaltevuussivu.

Aputaulukko välilehdellä on taulukoita laskukaavojen yksinkertaistamiseksi ja alavetovalikoita ja automatisointeja varten.

4.2 Vertailu kaupalliseen sovellukseen

4.2.1 Käytettävyys

Tässä luvussa laskentaohjelmia verrataan Eurocodeservicen kehittämään Eurocodetoolsiin. Se on edullinen lisensoitava selainpohjainen sovellus yksinkertaisten kestävyyslaskelmien tekemiseen Eurokoodien mukaisilla me-

netelmillä. Alun perin tarkoituksena oli tehdä vertailu useampaankin sovellukseen, mutta johtuen ajan puutteesta ja työn tekijän kokemattomuudesta muiden ohjelmien käytössä, siitä luovuttiin. Tässä työssä päädyttiin tekemään tarkempi vertailu vain Eurocodetoolsiin ja arvioimaan mihin muihin kaupallisiin sovelluksiin laskentaohjelmia voisi verrata niitä kehittäessä.

Eurocodetoolsin käyttöliittymä Betonipilarin mitoituksessa on suppea. Muuttuvia kuormia pystyy valitsemaan vain yhden eli esimerkiksi tuuli- ja lumikuormaa ei pysty laskemaan toisistaan riippumattomina. Myöskään pystykuormien epäkeskisyyksiä ei pysty määrittämään. Vaakakuormat voidaan määrittää vain yhdestä suunnasta ja vinoa taivutusta ei huomioida. Pilarin mitoituksessa käytetään nimellisen kaarevuuden menetelmää käyttöliittymästä tulkittuna. Kuormitukset täytyy laskea käsin ja esimerkiksi kehävaikutus pitää olla huomioituna annetuissa kuormissa. Vertailulaskelmia betonipilarista ei pystytty tekemään käyttöliittymän puutteista johtuen.

Pilarianturan mitoituksen käyttöliittymä on huomattavasti monipuolisempi kuin pilarin. Muuttuvia kuormituksia pystyy lisäämään useita ja vaikutus voi olla koordinaatiston minkä tahansa akselin tai useamman suhteen. Ainoa puute käyttöliittymässä on, että pilaria ei voi asettaa anturan suhteen epäkeskisesti. Geotekninen mitoitus voidaan tehdä vertailemalla kuormituksia annettuun pohjapaineen arvoon tai SFS-EN 1997 mukaisilla kantavuuskaavoilla annettujen maaparametrien mukaisesti. Käyttöliittymässä on alavetovalikko, josta voi valita tehdäänkö kantokestävyyden mitoitus menetelmällä DA2 vai DA2*. Ohjelma ei huomioi pohjaveden vaikutusta tai liukumismurtoa, mutta laskee kaatumisvarmuuden. Rakennetekninen mitoitus tehdään kattavalla määrällä kuormitusyhdistelmiä. Tarkastettavat murtorajatilat ovat taivutus molempien pääakselien suhteen, leikkaus ja lävistys. Ankkurointimitoitusta ei käyttöliittymän perusteella tehdä. Lävistysmitoitus tehdään RakMk/B4 mukaisesti. Käyttörajatiloista tarkistetaan halkeamaleveys.

4.2.2 Vertailulaskelmat

Eurocodetools antaa kehäpilarin geoteknisen kantokestävyyden mitoitusarvoksi R_d mitoittavalla kuormitusyhdistelmällä 2575,7 kN, joka on 66 % suurempi kuin laskentaohjelman antama 1553,5 kN. Eurocodetoolsin mukainen käyttöaste on 14 %, joka on hyvin lähellä laskentaohjelman antamaa 16,4 %. Mitoittava kuormitusyhdistelmä, kantokestävyyden arvo ja epäkeskisyydet eivät vastaa toisiaan. Eroavaisuudet eivät suoranaisesti selviä käyttöliittymästä. Taivutuskestävyyden suhteen määräävä kuormitusyhdistelmä suunnassa y on sama kuin tässä työssä käytetty (KY3) ja momentin sekä leikkausvoiman arvot noin 10 % tarkkuudella samat. Suuri ero on kuitenkin pohjapaineen aiheuttamassa momentissa. Eurocodetoolsin antama suurin mitoitusmomentti suunnassa y on 82,5 kNm yhdistelmällä E (KY3) kun taas laskentaohjelmassa se on 143,46 kNm (KY3), joka on lähes

74 % suurempi. Käyttöliittymästä ei selviä mistä eroavaisuus johtuu. Z-suunnassa momentin arvot ovat käytännössä samat, mutta määräävä kuormitusyhdistelmä eri. Eurocodetoolsilla 29,2 kNm yhdistelmällä B (KY1) ja laskentaohjelmalla 29,51 kNm (KY2). Lävistysmitoitus on tehty erilaisilla menetelmillä. Eurocodetoolsin laskema lävistyspiiri on 3,072 m, joka vastaa murtokartion kaltevuutta $a/d = 0,60$ eli 31° . Laskentaohjelmalla lävistyspiiri on 3,532 m suunnan y ja 2,709 m suunnan z mukaisella murtokartion kaltevuudella. Eurocodetoolsin lävistyskuorma on 141,2 kN, mikä on huomattavasti pienempi kuin laskentaohjelman lävistyskuormat 191,46 kN suunnan y ja 266,21 kN suunnan z mukaisesti. Lävistyskestävyyttä ei pystytä vertaamaan käytettyjen menetelmien erosta johtuen. Eurocodetools laskee anturan pistekuorma kapasiteetin ja laskentaohjelma lävistyspiirin leikkausjännityskapasiteetin. Eurocodetoolsin lävistyskestävyyden käyttöaste on 44 %, mikä vastaa laskentaohjelman käyttöastetta 45 % suunnan y-mukaisesti. Liitteessä 11 on esitetty kehäpilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla. Taulukkoon 54 on kerätty kehäpilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset.

Taulukko 54. Kehäpilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset

Kehäpilari	Laskentaohjelma	Eurocodetools	Erotus
Geotekninen kantavuus [kN]	1553,5	2575,7	66 %
Mitoitusmomentti suunta y [kNm]	143,46	82,5	74 %
Mitoitusmomentti suunta z	29,51	29,2	1 %
Lävistyksen käyttöaste	45 %	44 %	2 %

Eurocodetools antaa pääty pilarin geoteknisen kantokestävyyden mitoitusarvoksi R_d mitoittavalla kuormitusyhdistelmällä 1972,7 kN, joka on vain 6 % suurempi kuin laskentaohjelman antama 1857,5 kN. Eurocodetoolsin mukainen käyttöaste on 8 %, joka hyvin lähellä laskentaohjelman antamaa käyttöastetta 9,7 %. Mitoittava kuormitusyhdistelmä on sama kuin laskentaohjelmalla ja epäkeskisyys on noin 12 % suurempi, joka selittää pienen eron käyttöasteessa. Eroavaisuudet ovat pienet, joten voidaan sanoa että laskentamenetelmien välillä ei ole tässä tapauksessa suurta eroa. Taivutuskestävyyden suhteen määräävä kuormitusyhdistelmä on sama kuin tässä työssä käytetty (KY3). Leikkausvoiman mitoitusarvo on käytännössä sama kuin laskentaohjelmalla, mutta mitoitusmomentti on laskentaohjelmassa noin 14 % suurempi. Pohjapaineen aiheuttamassa momentissa y-suunnassa on pääty pilarilla suuri ero, kuten kehäpilarillakin. Eurocodetoolsin antama pohjapaineen aiheuttama mitoitusmomentti suunnassa y on 106,3 kNm (KY3) kun taas laskentaohjelmassa se on 283,66 kNm (KY3), joka on

peräti 167 % suurempi. Z-suunnassa momentin arvot ovat lähempänä toisiaan, mutta määräävä kuormitusyhdistelmä eri. Eurocodetoolsilla 12,7 kNm yhdistelmällä B (KY1), jota ei laskentaohjelmalla tarkistettu. Laskentaohjelmalla z-suunnan momentti on 8,59 kNm (KY2). Eurocodetoolsin laskema lävistyspiiri on 3,072 m, joka vastaa murtokartion kaltevuutta $a/d = 0,60$ eli 31° ja on täsmälleen sama kuin kehäpilarilla. Tästä voidaan päätellä että Eurocodetools käyttää kriittisen lävistyskartion laskentaan suuntaa z, koska se on kehäpilarilla ja pääty pilarilla samanmittainen. Laskentaohjelmalla lävistyspiiri on 2,709 m suunnan z mukaisella murtokartion kaltevuudella. Eurocodetoolsin lävistyskuorma on 120,8 kN, mikä on jopa 67 % suurempi kuin laskentaohjelman lävistyskuorma 38 kN. Lävistykestävyyttä ei pystytä vertaamaan käytettyjen menetelmien erosta johtuen. Eurocodetools laskee anturan pistekuorma kapasiteetin ja laskentaohjelma lävistyspiirin leikkausjännityskapasiteetin. Eurocodetoolsin lävistyskestävyyden käyttöaste on 48 %, mikä on yli kymmenkertainen laskentaohjelman mukaiseen 3 % käyttöasteeseen verrattuna. Tässä suuri erotus on se että laskentaohjelmalla ei tehty laskentaa ollenkaan yhdistelmällä $1,35 \times G_k$, mikä on ollut virhe. Lävistys ei kuitenkaan vähäisesti pystykuormitetulla pääty pilarilla ole merkittävä murtorajatila. Liitteessä 12 on esitetty pääty pilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla. Taulukkoon 55 on kerätty pääty pilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset.

Taulukko 55. Pääty pilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset

Pääty pilari	Laskentaohjelma	Eurocodetools	Erotus
Geotekninen kantavuus [kN]	1857,5	1972,7	6 %
Mitoitusmomentti suunta y [kNm]	283,66	106,3	167 %
Mitoitusmomentti suunta z	8,59	12,7	32 %
Lävistyksen käyttöaste	3 %	48 %	1500 %

Eurocodetools antaa nurkkapilarin geoteknisen kantokestävyyden mitoitusarvoksi R_d mitoittavalla kuormitusyhdistelmällä 1868,1 kN, joka on 32 % pienempi kuin laskentaohjelman 2464,8 kN. Eurocodetoolsin mukainen kantokestävyyden käyttöaste on 13 %, joka on 62 % suurempi kuin laskentaohjelman antama 8 %. Mitoittava kuormitusyhdistelmä ja epäkeskisyydet eivät myöskään vastaa toisiaan. Eroavaisuudet eivät suoraan selviä käyttöliittymästä. Taivutuskestävyyden suhteen määräävät kuormitusyhdistelmät ovat samat kuin tässä työssä käytetyt KY3 suunnassa y ja KY1 suunnassa z. Momentin sekä leikkausvoiman mitoitusarvot ovat alle 10 % tarkkuudella samat. Pohjapaineen aiheuttamat momentit ovat hyvin lähellä toisiaan. Eurocodetoolsin antama suurin mitoitusmomentti suunnassa y

on 61,1 kNm yhdistelmällä E (KY3) ja laskentaohjelmassa 63,28 kNm (KY3). Z-suunnassa mitoitusmomentit ovat Eurocodetoolsilla 42,3 kNm yhdistelmällä B (KY1) ja laskentaohjelmalla 42,65 kNm (KY1). Vaaditut raudoitusalat ovat näin ollen myös käytännössä samat. Eurocodetoolsin laskema lävistyspiiri on 3,078 m, joka vastaa murtokartion kaltevuutta $a/d = 0,60$ eli 31° . Laskentaohjelmalla lävistyspiiri on 3,532 m suunnan y ja 2,958 m suunnan z mukaisella murtokartion kaltevuudella. Eurocodetoolsin lävistyskuorma on 134,8 kN, mikä vastaa laskentaohjelman lävistyskuormaa 135,12 kN suunnan z mukaisesti. Lävistyskestävyyttä ei pystytä vertaamaan käytettyjen menetelmien erosta johtuen. Eurocodetools laskee anturan pistekuorma kapasiteetin ja laskentaohjelma lävistyspiirin leikkausjännityskapasiteetin. Eurocodetoolsin lävistyskestävyyden käyttöaste on 38 %, mikä on jopa 58 % suurempi kuin laskentaohjelman käyttöasteet 25 % suunnan y tai 24 % suunnan z mukaisesti. Liitteessä 12 on esitetty nurkkapilarin pilarianturan vertailulaskelmat Eurocodetoolsilla. Taulukkoon 56 on kerätty nurkkapilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset.

Taulukko 56. Nurkkapilarin pilarianturan vertailulaskelmien tulokset

Nurkkapilari	Laskentaohjelma	Eurocodetools	Erotus
Geotekninen kantavuus [kN]	2464,8	1868,1	32 %
Mitoitusmomentti suunta y [kNm]	63,28	61,1	3 %
Mitoitusmomentti suunta z	42,65	42,3	8 %
Lävistyksen käyttöaste	25 %	38 %	58 %

4.2.3 Yhteenveto

Eurocodetoolsia on laskentaohjelmaa yksinkertaisempi käyttää, johtuen graafisesta käyttöliittymästä ja siitä, että Eurocodetools laskee kuormitusyhdistelmät annettujen käyttörajatilan kuormien perusteella. Teräsbetonipilarin mitoitusta ei Eurocodetoolsilla pysty tekemään luotettavasti käyttöliittymän puutteista johtuen. Pilarianturaa mitoittaessa joutuu laskentaohjelmaan syöttämään jokaisen kuormitusyhdistelmän manuaalisesti työn tämän hetkessä vaiheessa. Laskentatulokset ovat pääosin samankaltaiset muutamaa kohtaa lukuun ottamatta. Lävistys lasketaan ohjelmilla eri menetelmillä, joten tulokset poikkeavat toisistaan tietyillä kuormituksilla ja anturan mitoilla. Myös pohjanpaineen aiheuttamassa momentissa oli suuria eroja ohjelmien välillä vaakakuorman suunnassa paitsi nurkkapilarilla, jolla vaakakuormaa tulee molemmista suunnista. Geoteknisessä mitoituksessa laskentaohjelma on Eurocodetoolsia kattavampi, sillä se ottaa huo-

mioon enemmän asioita kuten pohjaveden vaikutuksen ja liukumiskestävyiden. Eurocodetools ei tee ankkurointimitoitusta ollenkaan, kun taas laskentaohjelma tekee sen hyvin tarkasti huomioiden pystysuuntaisen sekä vinon leikkauksen ja mahdollisen vetoterästyksen taivutuksen vaikutuksen myös lävistyskestävyyteen. Eurocodetools on kuitenkin kuormien laskennassa tarkempi eikä jätä oleellisia kuormitusyhdistelmiä laskematta, kuten laskentaohjelman kanssa on käynyt kun kuormat on työn tässä vaiheessa laskettu käsin. Laskentaohjelman tulokset ovat pääosin varmalla puolella Eurocodetoolsiin verrattuna, niiltä osin kun on tarkasteltu oleelliset kuormitusyhdistelmät.

Jatkokehitystä tehtäessä voisi laskentaohjelman tuloksia verrata statiikkamoottorin sisältävään ohjelmaan kuten Autodeskin Robotiin tai Jigiin. Näitä ohjelmia ei tilaajayrityksellä ole kuitenkaan toistaiseksi käytössä ja niiden lisenssit ovat melko kalliit. Vertailu SKOL:in Eurokoodipohjiin olisi myös hyvä tehdä, sillä laskentaohjelmat ovat niiden kanssa hyvin samankaltaiset. SKOL:in Eurokoodipohjien lisenssit ovat kuitenkin hyvin kalliit eikä niitä ole tilaajayrityksellä käytössä. Robotin tai Jigin lisenssit antaisivat suuremman lisäarvon tilaajayritykselle, sillä ne ovat ohjelmina monikäyttöisemmät. Laskentaohjelmalla pystyy tekemään tarvittavat kestävyyslaskelmat helposti ja käytännössä ilmaiseksi, kun ohjelmat on jo luotu. Ohjelmien luominen on kuitenkin vaatinut työn tekijältä suuren panostuksen, mutta samalla opettanut rakenteiden mitoituksesta ja eri menetelmien eroista paljon.

5 YHTEENVETO

Rakennesuunnittelun perusteet on määritetty standardissa SFS-EN 1990 ja käytettävät kuormitukset standardissa SFS-EN 1991. Rakenteet mitoitaan rajatilamitoituksella. Rajatilamitoituksessa osoitetaan, että mikään rakenteen murtorajatila tai käyttörajatila ei ylity. Murtorajatilat liittyvät rakenteen kantavuuden tai stabiliteetin menetykseen ja käyttörajatilat esteettisiin tai käyttöön vaikuttaviin ominaisuuksiin. Rajatilamitoituksessa luotettavuus osoitetaan käyttämällä osavarmuusmenetelmää. Osavarmuusmenetelmässä käytetään kuormien ja materiaalien kestävyysmitoitussarvoja, jotka saadaan kertomalla kuormat tai materiaalien kestävyysarvot osavarmuuskertoimilla. Kuorman vaikutus voi olla rajatilaan nähden edullinen tai epäedullinen. Valittujen mitoitusilanteiden kuormat yhdistellään samaan aikaan vaikuttaviksi kuormitusyhdistelmiksi, joista etsitään rakenteelle määräävin tapaus. Määräävä kuormitusyhdistelmä ei välttämättä ole sama tarkasteltaessa saman rakenteen eri murtorajajaloja.

Rakennuksen rakenneosien omat painot luokitellaan pysyviksi kiinteiksi kuormiksi. Omat painot määritetään nimellismittojen ja tilavuuspainojen avulla. Rakennuksen hyötykuormat luokitellaan muuttuviksi liikkuviksi kuormiksi. Hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. SFS-EN 1991 on

määritelty eri käyttötarkoituksen mukaisia hyötykuormia. Mikäli rakennuksen tai tilan aiottua käyttötarkoitusta ei voida lukea mihinkään standardissa määriteltyyn luokkaan, sovitaan käytettävä kuormitus tilaajan kanssa todellisten kuormitusten perusteella. Rakennuksen lumikuorma luokitellaan muuttuvaksi kiinteäksi kuormaksi. Lumikuorma maassa määritetään rakennuspaikkakunnan maantieteellisen sijainnin mukaisesti. Katon kaltevuus otetaan huomioon muotokertoimen avulla. Lumikuorma voi myös kinostua korkeampia rakennusosia vasten. Rakennuksen tuulikuorma luokitellaan pääosin kiinteäksi muuttuvaksi kuormaksi. Tuulikuormat aiheuttavat rakenteen ulkopintoihin, ja välillisesti sisäpintoihin, painetta tai imua. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa rakennusta ympäröivän maaston pinnanmuodot ja esteet, jotka huomioidaan SFS-EN 1991 määriteltyjen maastoluokkien perusteella. Tuulikuormaan vaikuttavat myös rakennuksen korkeus ja sivumittojen suhteet.

Betonin materiaaliominaisuudet määritetään puristuslujuuteen perustuvien lujusluokkien avulla. Betoniteräksen tärkein ominaisuus on myötölujuus. Osavarmuusmenetelmän mukaisesti betonin ja betoniteräksen materiaaliominaisuudet jaetaan tai kerrotaan SFS-EN 1992 mukaisilla osavarmuuskertoimilla tarkistettaessa murtorajatiloja. Teräsbetonirakenteen säilyvyys yli suunnitellun käyttöiän varmistetaan käyttämällä betoniteräksille riittäviä suojabetonipeitteitä. Suojapeitteiden paksuus määräytyy SFS-EN 1992 määritettyjen ympäristöolosuhteisiin liittyvien rasitusluokkien perusteella.

Mastopilarin mitoitus aloitetaan rakenneanalyysillä. Oleellisia asioita pilarin rakenneanalyysissä ovat mittaepätarkkuuksien, nurjahtamisen ja toisen kertaluvun vaikutusten huomioiminen. Mittaepätarkkuudet huomioidaan SFS-EN 1992 mukaisesti lisäämällä pilarin kuormitukseen vinoudesta johtuva lisäepäkeskisyys tai sen ekvivalentti vaakavoima. Toisen kertaluvun vaikutukset eli siirtymätilasta aiheutuva voimasuureiden lisäys huomioidaan SFS-EN 1992 mukaisesti nimellisen jäykkyyden tai nimellisen kaarevuuden menetelmällä. Nimellisen jäykkyyden menetelmässä lasketaan betoni poikkileikkauksen ja betoniterästen yhteisvaikutuksesta pilarille nimellinen jäykkyydenarvo, jonka avulla korotetaan ensimmäisen kertaluvun momenttia puristavan voiman ja pilarin kriittisen nurjahduskuorman suhteessa. Nimellisen kaarevuuden menetelmässä lasketaan pilarille taipumasta johtuva kaarevuus e_2 , joka kerrottuna pilaria puristavalla voimalla antaa toisen kertaluvun momentin. Toisen kertaluvun momentti lisätään ensimmäisen kertaluvun momenttiin. RIL 202-2011 on esitetty myös yksinkertaistettu menetelmä e_2 laskentaan, joka ei vaadi iterointia. Pilarin rauditus valitaan valmiiksi luotujen mitoituskäyrästäjien avulla, sillä kuormituksista ja pilarin tehollisen korkeudesta riippuen voi rauditus olla veto- tai puristusrasitettu, myötää tai olla kimmoisessa tilassa. Mikäli pilarilla voi esiintyä taivutusta molempien pääakselien suhteen huomioidaan vino taivutus.

Pilarianturan mitoitus jaetaan kahteen vaiheeseen, joissa käytetään toisistaan poikkeavia kuormituksia ja osavarmuuskertoimia. Ensin ratkaistaan

anturan sivumitat geoteknisen mitoituksen avulla SFS-EN 1997 mukaisesti. Geotekninen kantokestävyys voidaan laskea Suomessa käyttämällä osavarmuuskertoimia vasta laskennan lopussa murtorajatilaehdon tarkistamiseen (menetelmä DA2*) tai käyttämällä osavarmuuskertoimia laskennan alusta lähtien (menetelmä DA2). Menetelmää DA2* käytettäessä pystykuorman resultantin epäkeskisyys ei saa ylittää $1/3$ anturan sivumitasta kuorman vaikutussuunnassa. Vaakakuormitetuilla anturoilla täytyy myös tarkistaa kestävyys liukumurtoa vastaan. Kun anturan sivumitat on ratkaistu, tehdään rakennetekninen mitoitus, jossa käytetään SFS-EN 1991 mukaisia kuormitusyhdistelmiä ja osavarmuuskertoimia. Rakennetekniiksessä mitoituksessa anturaa käsitellään laattana. Tarkistettavia murtorajatiloina ovat taivutus- ja lävistysmurto sekä raudoituksen ankkurointi. SFS-EN 1991 mukaisesti tulisi myös tarkistaa anturan halkeamaleveys, mutta sitä ei ole tässä työssä käsitelty.

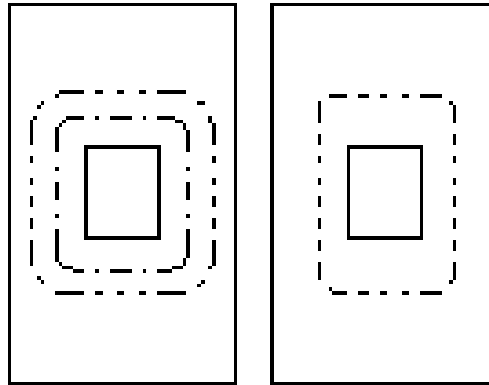
Teräsbetonirakenteisen hallin rakennesuunnittelu tehtävää suorittaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota kuormien jakautumiseen sekä oikeiden kuormitusyhdistelmien määrittämiseen pilarille ja pilarianturalle. Kestävyysskalkelmia tehdessä tulee aina ottaa huomioon epäedullisin mahdollinen kuormitusyhdistelmä kyseisen murtorajatilan suhteen.

Pilarilla epäedullisimman vaikutuksen antaa käytettävästä menetelmästä riippuen suurimman momentin ja suurimman samaan aikaan vaikuttavan pystykuorman tai suurimman pystykuorman ja samaan aikaan vaikuttavan momentin sisältävä yhdistelmä. Esimerkkihallin tapauksessa mitoittava kuormitusyhdistelmä oli jokaisella pilarilla sama, suurimman toisen kertaluvun momentin sisältävä yhdistelmä, käytetystä menetelmästä riippumatta. Erot menetelmien välillä määräävässä yhdistelmässä olivat niin pienet, että käytännön rauditusmäärä olisi ollut jokaisella pilarilla sama käytetystä menetelmästä riippumatta. Määrävällä kuormitusyhdistelmällä nimellisen jäykkyyden menetelmä antoi pienimmän teoreettisen rauditusmäärään jokaisella pilarilla, nimellisen kaarevuuden menetelmä toiseksi pienimmän ja RIL 201-2011 mukainen menetelmä suurimman. Joissain tarkistetuissa kuormitusyhdistelmissä erot kuitenkin kasvoivat merkittäviksi. Mikäli ensimmäisen kertaluvun momentti oli pieni, antoi nimellisen jäykkyyden menetelmä edullisimman tuloksen. Suuremmalla momentilla ja pienemmällä pystykuormalla nimellisen kaarevuuden ja RIL 201-2011 mukaiset menetelmät antoivat edullisempia tuloksia. Nurkkapilarilla huomioitaessa vino taivutus vaikutukset olivat samankaltaiset, mutta ero eri menetelmien välillä oli hieman suurempi. Yksinkertaistetuilla menetelmillä toisen kertaluvun vaikutukset kasvavat teräsbetonipilarilla todella suuriksi verrattuina ensimmäisen kertaluvun momentteihin ja muiden materiaalien toisen kertaluvun vaikutuksiin. Tutkimusta voisi jatkaa selvittämällä toisen kertaluvun vaikutukset käyttörajatilan kuormien aiheuttamalla taipumalla käyttämällä pilarin jäykkyytenä nimellisen jäykkyyden menetelmän mukaista jäykkyyttä EI. Siirtymätilat ovat käyttörajatiloja, joten niistä johtuvat voimasuureiden lisäykset tulisi huomioida käyttörajatilan arvoilla.

Esimerkkihallin tapauksessa pilarianturan geotekninen kantavuus mitoitettiin menetelmällä DA2*. Menetelmien välinen ero on suurin päätypillarilla kun pystykuormaa on suhteessa kaatavaan momenttiin todella vähän. Käytettäessä menetelmää DA2* tulee kevytrakenteisen yksikerroksisen hallin kuormilla käytännössä aina määrääväksi joko liukumiskestävyys tai kuorman epäkeskisyys. Maaperän kitkakulmalla ei ole kevytrakenteisella hallilla yhtä suurta merkitystä kuin pystykuorman ja kaatavan momentin suhteella, niin kauan kun kyseessä on kuitenkin kitkamaa. Perustamissyvyyden vaikutus anturan kantokestävyyteen on yllättävän suuri. Useissa tapauksissa perustamissyvyyden lisääminen vaikuttaa kantokestävyyteen jopa kitkakulman lisäämistä enemmän. Pohjaveden etäisyydellä anturan alapinnasta on pieni vaikutus niin kauan kun pohjavesi on perustustason alapuolella. Taloudellisessa mielessä voimakkaasti vaakakuormitetuilla anturoilla anturan vaakakuorman suuntaisen sivumitan kasvattamisella on huomattavasti suurempi vaikutus kuin lyhyemmän sivumitan kasvattamisella. Optimaalinen muoto on enemmän suorakaide kuin neliömäinen. Rakenne- nuksen nurkissa tai muissa kohdissa, missä vaakakuorma voi vaikuttaa kummastakin suunnasta voimakkaana, täytyy huomiota kiinnittää myös lyhyempään sivumittaan.

Geoteknisellä mitoituksella on suuri merkitys anturan raudoitukseen, sillä anturan sivumittojen mukaan määräytyy pohjapaine ja ulokkeen pituus, jota pohjapaine työntää ylöspäin. Anturan sivumittoja voi joutua kasvattamaan järkevä raudoituksen löytämiseksi varsinkin, jos on käytetty mitoitustapaa DA2*. Järkevillä sivumitoilla anturan lyhyemmän suunnan raudoitus määräytyy useimmiten minimiraudoituksen mukaiseksi. Vetoraudoituksen ankkurointi voidaan hoitaa taivuttamalla vetoteräksiä ylös tai jos vino leikkausmalli on määräävä lisäämällä vetoteräksiä, jolloin ankkuroitava voima yhtä raudoituspuikkoa kohden on pienempi. Paksuilla puikoilla ankkurointipituudet kasvavat suuriksi ja ankkuroinnin lisääminen taivuttamalla on hankalampaa. Ankkuroitavan pituuden voi myös määrätä lävistysmitoitus, sillä lävistysmitoituksessa huomioidaan vain murtokartion yli 1,5d verran ankkuroidut vetoteräkset. Lävistysmitoituksessa suurin yksittäinen vaikutus on anturan d-mitalla eli käytännössä korkeudella. Tehollinen raudoitussuhde vaikuttaa lävistyskestävyyteen merkittävästi. Lävistyskuorma pienenee mitä suurempi murtokartio on eli mitä loivempi on kriittisen murtokartion kaltevuus. Käytännön mitoitustehtävät ovat osoittaneet, että mikäli vetoteräksiä ei käännetä ylös, on kriittisen murtokartion kaltevuudella lävistyksen käyttöasteessa yllättävän pieni merkitys. Loivalla kriittisen murtokartion kaltevuudella lävistyskuorma on pienempi, mutta tehollinen raudoitusmäärä pienenee, jolloin anturan lävistyskapasiteettikin pienenee. Jyrkällä murtokartion kaltevuudella lävistyskuorma kasvaa, mutta anturan lävistyskapasiteettikin kasvaa, kun raudoituksesta suurempi määrä on tehollista. Käytettäessä y-suunnan mukaista kriittisen murtokartion kaltevuutta voi murtokartion sivumitta kasvaa niin suureksi, ettei se mahdu z-suunnassa anturan alalle tai tulee niin lähelle anturan reunaa, että vetoterästä pitäisi taivuttaa yli anturan yläreunan. Tutkimusta voisi jatkaa selvittämällä onko suorakaideanturan lävistyspiiri mahdollista

laskea y-suunnassa y-suunnan sivumitan ja pilarin y-suunnan sivumitan perusteella ja z-suunnassa anturan z-suunnan sivumitan ja pilarin z-suunnan sivumitan perusteella eikä molemmissa suunnissa toisen suunnan sivumittojen perusteella. Kuvassa 40 on esitetty suorakaidepilarianturan mahdolliset kriittisen lävistyskartion mitat.



Kuva 40. Suorakaidepilarianturan kriittisen lävistyskartion mitat

Käsinlaskentaohjelmalla on helppo tutkia mastopilarin ja pilarianturan voimasuureita ja raudoituksen sekä poikkileikkauksen koon vaikutusta niihin. Jos käsinlaskentaohjelma laaditaan ilman graafista käyttöliittymää, on haastavaa tutkia kaikkia teoreettisia kuormitusyhdistelmiä, sillä kuormitusmatriisi kasvaa jo muutamalla hyötykuormalla satojen yhdistelmien kokoiseksi. Käytännön tehtävässä kokenut suunnittelija osaa rajata 3-6 oikeasti tarvittavaa kuormitusyhdistelmää. Ohjelman luonnin kannalta olisi helpompaa, jos käyttäjä syöttäisi käytettävät rasitukset suoraan kuormitusyhdistelmien mukaisesti. Tämä vaatii kuitenkin käyttäjältä enemmän osaamista ja tarkkuutta. Ohjelman automatisoinnin lisääminen vaatii huomattavan määrän lisätyötä, mutta helpottaa tulevan käyttäjän työtä ja antaa enemmän virheitä anteeksi. Kaupallisia sovelluksia on markkinoilla paljon, joista kalliimmat ovat yleensä kattavampia ja edullisemmat vain yksinkertaiseen mitoitustehtävään sopivia. On kuitenkin vaikeaa löytää juuri omaan käyttöön optimaalinen ohjelma. Itse tekemällä ohjelmaan voi lisätä juuri ne ominaisuudet mitkä näkee tarpeelliseksi ja käyttö on ohjelman luomisen jälkeen käytännössä ilmaista. Ohjelman kehitystyö vaatii kuitenkin aina reilusti aikaa, eikä ohjelma ole ikinä täysin valmis.

LÄHTEET

CSi Italia (2018). *Comparison of the analysis methods for the evaluation of local second order effects in concrete structures – “Nominal stiffness” method and “Nominal curvature” method*. Haettu 24.2.2019 osoitteesta <http://www.vis-concretedesign.com/local-second-order-effects-in-concrete-structures-nominal-stiffness-method-vs-nominal-curvature/>

European Concrete Platform ASBL (2008). *Commentary Eurocode 2*. Haettu 23.3.2019 osoitteesta https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=na_eurocodes&doc=commentary-ec2-def080723.pdf&lang=en

Korkeamäki, T. (2018). *Rakennelaskelmia verkkoaineisto*, Moodle. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 9.3.2018 osoitteesta <https://moodle.hamk.fi>

Liikenne- ja viestintäministeriö (2015). *Kansallinen liite (LVM) standardiin SFS-EN 1997-1 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu Osa 1 - Yleiset säännöt: Soveltaminen infrarakenteisiin*. Haettu 22.8.2018 osoitteesta <http://www.eurocodes.fi/1997/1997-1/NA%20SFS-EN1997-1-LVM.pdf>

RTT/Betoni (2009). *Betonirakenteiden suunnittelu Eurokoodin mukaan. Osa 5 Pilarit*. Haettu 9.2.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/259820-Osa-5-pilarit-betoniteollisuus-1-17-betonirakenteiden-suunnittelu-eurokoodien-suunnittelu-eurokoodin-en-1992-mukaisesti.html>

SFS-EN 1990 (2006). *Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1991-1-1 (2002). *Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1991-1-3 (2015). *Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1991-1-4 (2011). *Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1992-1-1 (2015). *Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 1997-1 (2014). *Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt*. SFS Online. Haettu 11.08.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Suomen Betoniyhdistys ry (2013). *BY211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1*. 2. painos. Helsinki: BY – Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry (2014). *BY211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2*. 2. painos. Helsinki: BY – Koulutus Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (2009). *RIL 207-2009 Geotekninen suunnittelu eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (2011). *RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitteluohje Eurokoodit EN 1992-1-1 ja EN 1992-1-2*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (2017). *RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Tielaitos (1999). *Pohjanrakennusohjeet sillansuunnittelussa*. Haettu 23.5.2018 osoitteesta <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/prakos99.pdf>

Ympäristöministeriö (2017a). *Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Rakenteiden kuormat*. Haettu 22.8.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B55FAD698-91A7-4C01-8AD5-965B40B93993%7D/128782>

Ympäristöministeriö (2017b). *Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet*. Haettu 22.8.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B3F5DE241-F74B-4EA0-9F0E-18B81A7C0EC3%7D/125119>

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN GEOTEKNINEN MITOITUS

Anturan/pohjalaatan kantokestävyys

Perusmaan kitkakulma	40
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden yläpuolella	19
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden alapuolella	19
Pohjaveden pinnan etäisyys anturan alapinnasta	3
Täytön tilavuuspaino	19
Perusmaan tehokas tilavuuspaino	19
Perustamisvyvyys	1
Koheesio	0
Perustustason kaltevuuskulma	0
Anturan kantokestävyuden osavarmuuskerroin	1,55

Kuormitukset

Kaatava momentti anturan alapinnassa	0	91,08
Vaakuorma	26	
Vaakuorman vaikutussuunta (B/L)	Lant	Bant
Pystykuorma	181,7	
Epäkeskeisyys	0,00	0,501266

Anturan mitat

L	1,2
B	2
A	2,40
L'	1,20
B'	1,00
A'	1,20

Kantokestävyys

Nq	64,20
Ny	106,05
Nc	75,31
bq	1,00
by	1,00
bc	1,00
sq	1,53
sγ	0,75
sc	1,54
mb	1,55
ml	1,45
m	1,45
iq	0,80
iγ	0,68
ic	0,80
q'	19,00
R	2407,7
Rd	1553,3
Vd	254,6
Käyttöaste	16,39 %

Liukuma

Mitoituskitkakulma	26,67
Hd	39 kN
Rd	74,67 kN
Käyttöaste	52,23 %

PÄÄTYPILARIN PILARIANTURAN GEOTEKNINEN MITOITUS

Anturan/pohjalaatan kantokestävyys

Perusmaan kitkakulma	40
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden yläpuolella	19
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden alapuolella	19
Pohjaveden pinnan etäisyys anturan alapinnasta	3
Täytön tilavuuspaino	19
Perusmaan tehokas tilavuuspaino	19
Perustamisvyvyys	1
Koheesio	0
Perustustason kaltevuuskulma	0
Anturan kantokestävyuden osavarmuuskerroin	1,55

Kuormitukset

Kaatava momentti anturan alapinnassa	0	102,58
Vaakuorma	31,09	
Vaakuorman vaikutussuunta (B/L)	Lant	Bant
Pystykuorma	136,3	
Epäkeskeisyys	0,00	0,752715

Anturan mitat

L	1,2
B	2,8
A	3,36
L'	1,20
B'	1,29
A'	1,55

Kantokestävyys

Nq	64,20
Ny	106,05
Nc	75,31
bq	1,00
by	1,00
bc	1,00
sq	1,69
sγ	0,68
sc	1,70
mb	1,48
ml	1,52
m	1,52
iq	0,67
iγ	0,52
ic	0,67
q'	19,00
R	2879,1
Rd	1857,5
Vd	179,3
Käyttöaste	9,65%

Liukuma

Mitoituskitkakulma	26,67
Hd	46,635 kN
Rd	56,00 kN
Käyttöaste	83,28 %

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN GEOTEKNINEN MITOITUS

Anturan/pohjalaatan kantokestävyys

Perusmaan kitkakulma	40
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden yläpuolella	19
Perusmaan tilavuuspaino pohjaveden alapuolella	19
Pohjaveden pinnan etäisyys anturan alapinnasta	3
Täytön tilavuuspaino	19
Perusmaan tehokas tilavuuspaino	19
Perustamisvyvyys	1
Koheesio	0
Perustustason kaltevuuskulma	0
Anturan kantokestävyuden osavarmuuskerroin	1,55

Kuormitukset

Kaatava momentti anturan alapinnassa	51	15,3
Vaakuorma	17	
Vaakuorman vaikutussuunta (B/L)	Lant	Bant
Pystykuorma	151,9	
Epäkeskeisyys	0,34	0,10

Anturan mitat

L	1,4
B	2
A	2,80
L'	0,73
B'	1,80
A'	1,31

Kantokestävyys

Nq	64,20
Ny	106,05
Nc	75,31
bq	1,00
by	1,00
bc	1,00
sq	2,59
sγ	0,26
sc	2,61
mb	1,29
ml	1,71
m	1,71
iq	0,82
iγ	0,72
ic	0,81
q'	19,00
R	3821,0
Rd	2465,2
Vd	206,9
Käyttöaste	8,39 %

Liukuma

Mitoituskitkakulma	26,67
Hd	25,5 kN
Rd	62,42 kN
Käyttöaste	40,85 %

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN TAIVUTUS- JA ANKKUROINTIMITOITUS

Anturan rakennetekninen mitoitus**Taivutusmitoitus****Kuormitukset ja epäkeskeisyydet**

Ved	163,54 kN		0,16354 MN
Med	136,62 kNm	0	0,13662 MN
Kuormitus epäkeskeinen	Y ja	z	suunnassa
ey	0,835 m		
ez	0,000 m		

Anturan teholliset mitat

B1T	0,329 m
B2T	1,2 m
At	0,395 m ²

Pohjapaine

σgd	413,96 kN/m ²
-----	--------------------------

Ulokkeen pituus

Pilarin sivumitta suunta y	0,48 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta y	0 m
Pilarin sivumitta suunta z	0,38 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta z	0 m
a1	0,76 m
a2	0,41 m

Pohjanpaineen aiheuttama momentti

suunta y	143,46 kNm
suunta z	11,45 kNm

Raudoituksen mitoitus

suunta y	μ	0,0533 β	0,0548 Asl	0,000933551 m ²
suunta z	μ	0,0026 β	0,0026 Asl	7,25903E-05 m ²

Ankkuroinnin tarkistus

Tartuntalujuus fbd	3,04
--------------------	------

Pystysuuntainen leikkaus

Faudoituksen jännitys				Tarvittava taivutusmitta
suunta y	299,07 MPa	Lbrqd	295 mm	-495 mm
suunta z	420,83 MPa	Lbrqd	415 mm	-25 mm

Vino leikkaus

Ankkuroitava voima		Ankkurointi kestävyys	Tarvittava taivutusmitta
suunta y	222,36	233,89	0 mm
suunta z	30,59	194,91	0 mm

PÄÄTYPILARIN PILARIANTURAN TAIVUTUS- JA ANKKUROINTIMITOITUS

Anturan rakennetekninen mitoitus**Taivutusmitoitus****Kuormitukset ja epäkeskeisyydet**

Ved	122,65 kN		0,12265 MN
Med	153,87 kNm	0	0,15387 MNm
Kuormitus epäkeskeinen	Y ja	z	suunnassa
ey	1,255 m		
ez	0,000 m		

Anturan teholliset mitat

B1T	0,291 m
B2T	1,2 m
At	0,349 m ²

Pohjapaine

ogd	351,34 kN/m ²
-----	--------------------------

Ulokkeen pituus

Pilarin sivumitta suunta y	0,48 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta y	0 m
Pilarin sivumitta suunta z	0,38 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta z	0 m
a1	1,16 m
a2	0,41 m

Pohjanpaineen aiheuttama momentti

suunta y	283,66 kNm
suunta z	8,59 kNm

Raudoituksen mitoitus

suunta y	μ	0,1053 β	0,1115 Asl	0,001901316 m ²
suunta z	μ	0,0014 β	0,0014 Asl	5,44082E-05 m ²

Ankkuroinnin tarkistus

Tartuntalujuus fbd	3,04
--------------------	------

Pystysuuntainen leikkaus

Raudoituksen jännitys				Tarvittava taivutusmitta
suunta y	429,96 MPa	Lbrqd	424 mm	-766 mm
suunta z	420,83 MPa	Lbrqd	415 mm	-25 mm

Vino leikkaus

Ankkuroitava voima		Ankkurointi kestävyys		Tarvittava taivutusmitta
suunta y	291,85	331,35		0 mm
suunta z	22,94	272,88		0 mm

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN TAIVUTUS- JA ANKKUROINTIMITOITUS

Anturan rakennetekninen mitoitus**Taivutusmitoitus****Kuormitukset ja epäkeskeisyydet**

Ved	136,73 kN		0,13673
Med	76,50 kNm	22,95	0,0765
Kuormitus epäkeskeinen	y ja	z	suunnassa
ey	0,168 m		
ez	0,559 m		

Anturan teholliset mitat

B1T	1,664 m
B2T	0,281 m
At	0,468 m ²

Pohjapaine

ogd	292,36 kN/m ²
-----	--------------------------

Ulokkeen pituus

Pilarin sivumitta suunta y		0,48 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta y		0 m
Pilarin sivumitta suunta z		0,38 m
Pilarin sijaintipoikkeama suunta z		0 m
a1	0,76 m	
a2	0,51 m	

Pohjanpaineen aiheuttama momentti

suunta y	23,73 kNm
suunta z	63,28 kNm

Raudituksen mitoitus

suunta y	μ	0,0075 β	0,0076 Asl	0,000151 m ²
suunta z	μ	0,0141 β	0,0142 Asl	0,000403 m ²

Ankkuroinnin tarkistus

Tartuntalujuus fbd	3,04
--------------------	------

Pystysuuntainen leikkaus

Raudituksen jännitys				Tarvittava taivutusmitta
suunta y	424,20 MPa	Lbrqd	349 mm	-441 mm
suunta z	420,83 MPa	Lbrqd	415 mm	-125 mm

Vino leikkaus

Ankkuroitava voima		Ankkurointi kestävyys	Tarvittava taivutusmitta
suunta y	36,77	162,43	0 mm
suunta z	138,95	194,91	0 mm

PILARIN MITOITUS TULOSTUSSIVU

Pilarin mitoitus

Materiaaliominaisuudet

Betonin lujuusluokka	fck	fcd	fcm	fctm	fctk	fctd	Ecm	Ec	Ecd
C40/50	40	23	48	3,51	2,46	1,64	35220,46	36981,49	30817,90 MPa

Raudituksen myötölujuus	fyk	fyd	Es	eyd
500	500	434,78	200000	0,00217

Suunniteltu käyttöikä

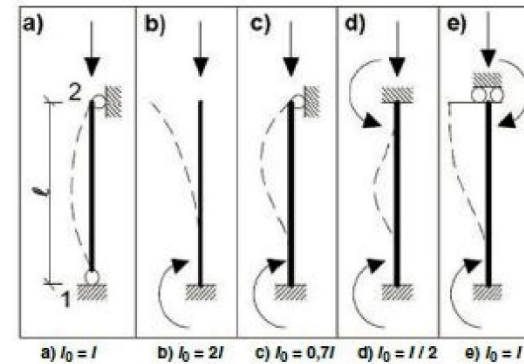
50

Rasitusluokka

XC1

Mittatarkkuus

Toleranssiluokka 1



Pilarin ja raudituksen dimensiot

Korkeus (h)	Leveys (b)	Pituus (L)	Nurjahdusm uoto	Tehollinen pituus (L0)	
0,48	0,38	5,6	b	12,208 m	
Rauditustankojen lukumäärä	Tankojen \varnothing [mm]				
4	25				
Lisärauditustankojen lukumäärä	Tankojen \varnothing [mm]	As,min	As,vaad (y)	As,vaad (z)	As,tot
0	0	365	0	979	1963 mm ²
Hakojen k-jako [mm]	Hakojen \varnothing [mm]	Tihennetty k-jako [mm]			
0	8	0			
Raudituksen suojaetäisyys [mm]	d' [mm]	dy [mm]	d'/h y	dz [mm]	d'/h z
27	50	0,43	0,10	0,33	0,13
Vinon taivutuksen käyttöaste	67,1 %				

PILARIN MITOITUS RAKENNEANALYYSI JA KUORMAT

Rakenneanalyysi ja kuormat

Pystykuormat										
Rakenteiden omat painot	Kuorman suuruus [kN]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin keskilinjasta (y) [m]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin keskilinjasta (z) [m]	$\gamma_{Gj\text{sup}}$	$\gamma_{Gj\text{inf}}$	$\gamma_{Gj\text{sup}2}$				
Pilarin oma paino	25,54	0	0		1,15	0,9	1,35			
Muu omapaino 1	63,96	-0,09	0,09		1,15	0,9	1,35			
Muu omapaino 2	27,00	-0,09	0,09		1,15	0,9	1,35			

Hyötykuormat									
Kuorman suuruus [kN]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin keskilinjasta (y) [m]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin keskilinjasta (z) [m]	Kuormaluokka	ψ_0	ψ_1	ψ_2	γ_{Qi}	γ_{Qi2}	
Lumi	140,71	-0,09	0,09 Lumikuorma		0,7	0,5	0,2	1,5	0
Hyötykuorma 2	51,02	0,26	-0,26 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0
Hyötykuorma 3	1,00	0,26	-0,26 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0

Vaakakuormat suunta y									
Kuorman suuruus [kN]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin alapäästä [m]	Kuormaluokka	ψ_0	ψ_1	ψ_2	γ_{Qi}	γ_{Qi2}		
Tuuli (seinä)	17,20	3,36 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (seinä imu)	-7,37	3,36 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (yp)	4,99	5,6 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (yp imu)	-4,10	5,6 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Vaakakuorma 2	4,84	5,35 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 2 (imu)	-4,84	5,35 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 3	1,00	1 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 3 (imu)	-1,00	1 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	

Vaakakuormat suunta z									
Kuorman suuruus [kN]	Kuorman resultantin etäisyys pilarin alapäästä [m]	Kuormaluokka	ψ_0	ψ_1	ψ_2	γ_{Qi}	γ_{Qi2}		
Tuuli (seinä)	1,00	3,36 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (seinä imu)	1,00	3,36 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (yp)	1,00	5,6 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Tuuli (yp imu)	1,00	6,3 Tuulikuorma		0,6	0,2	0	1,5	0	
Vaakakuorma 2	1,00	5,35 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 2 (imu)	1,00	5,35 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 3	1,00	1 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	
Vaakakuorma 3 (imu)	1,00	1 Luokka B: toimistotilat		0,7	0,5	0,3	1,5	0	

PILARIN MITOITUS RAKENNEANALYYSI JA KUORMAT

Mittaepätarkkuudet		
α_h	0,85	Vaikuttavien rakenneosien määrä
θ_0	0,005	2
α_m	0,87	
θ_i	0,004	
ei	0,022 ei (imu)	-0,022

Viruman vaikutus	
h_0	0,212
Pitkäaikaisten kuormien aiheuttama momentti (hyötykuormien kanssa)	
suunta y	5,67
suunta z	1,78
Kuormitusajankohta	
Virumaluku	2
Pitkäaikaisten kuormien aiheuttama momentti (ilman hyötykuormia)	
suunta y	5,67
suunta z	1,78
Kuormitusajankohta	
Virumaluku	1

PILARIANTURAN MITOITUS TULOSTUSSIVU

Pilarianturan mitoitus

Materiaaliominaisuudet

Betonin lujuusluokka	fck	fcd	fcm	fctm	fctk	fctd	Ecm	Ec	Ecd	
C30/37	30	17	38	2,90	2,03	1,35	32836,57	34478,40	28732,00	MPa

Raudituksen myötölujuus	fyk	fyd	Es	eyd
500	500	434,78	210000	0,00207

Suunniteltu käyttöikä

50

Rasitusluokka

XC2

Mittatarkkuus

Toleranssiluokka 1

Anturan ja raudituksen dimensiot

Leveys (y)	Pituus (z)	Korkeus (h)	
2	1,4	0,4	m

Tankojen lukumäärä suunta y	Tankojen σ [mm]	As,min	As,vaad	As,tot	Raudituksen ankkurointi [mm]	Lisätaivutus
10	10	766	151	785 mm ²	Ankkurointi riittävä	0

Tankojen lukumäärä suunta z	Tankojen σ [mm]	As,min	As,vaad	As,tot	Raudituksen ankkurointi [mm]	Lisätaivutus
10	12	1095	403	1131 mm ²	Ankkurointi riittävä	0

Raudituksen suojaetäisyys [mm]	d' [mm]	d [m]
30	37	0,36

Lävistys

Kapasiteetti	0,679 MPa
Mitoitusjännitys	0,231 MPa
Käyttöaste	34 %

Geotekninen kantokestävyys

Kapasiteetti	2465,18 kN
Kuormien vaikutus	206,91 kN
Käyttöaste	8 %

Liukuma

Kapasiteetti	62,42 kN
Kuormien vaikutus	25,50 kN
Käyttöaste	41 %

PILARIANTURAN MITOITUS LÄVISTYSKARTIO

Pisteet			L/c	kulmakerroin	leikkauspiste	
x3	1	0,5	Käyrä 3	3	0,364	0,02
y3	0,39	0,19	Käyrä 4	4	0,552	0,03
x4	1	0,5	Käyrä 5	5	0,716	0,02
y4	0,59	0,29	Käyrä 6	6	0,876	0,01
x5	1	0,5	Käyrä 7	7	1,072	-0,01
y5	0,74	0,37	Käyrä 10	10	1,404	-0,01
x6	1	0,5				
y6	0,89	0,44				
x7	1	0,5				
y7	1,06	0,53				
x10	1	0,5				
y10	1,39	0,7				

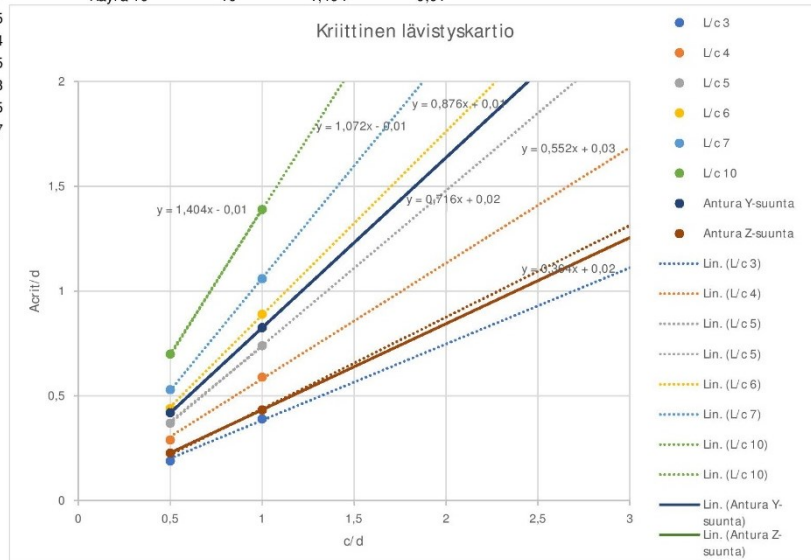
Anturan murtokartio

Y-suunta

c/d (x-akseli)	1,93
L/c (käyrä)	5,60
Kulmakerroin	0,812
Leikkauspiste	0,014
Acrit/d (y-akseli)	1,58

Z-suunta

c/d (x-akseli)	1,54
L/c (käyrä)	3,25
Kulmakerroin	0,411
Leikkauspiste	0,023
Acrit/d (y-akseli)	0,66



Interpolointi suunta y

Kulmakerroin			
x0	x1	x	
	5	6	5,600

Leikkauspiste			
y0	y1	y	
	0,716	0,876	0,812

Leikkauspiste			
x0	x1	x	
	5	6	5,600

Leikkauspiste			
y0	y1	y	
	0,020	0,010	0,014

Interpolointi suunta z

Kulmakerroin			
x0	x1	x	
	3	4	3,250

Leikkauspiste			
y0	y1	y	
	0,364	0,552	0,411

Leikkauspiste			
x0	x1	x	
	3	4	3,250

Leikkauspiste			
y0	y1	y	
	0,020	0,030	0,023

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 1/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 1/5
Katu: -	Rakennetyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 1	Suunnittelija: an

Rakenne			
Anturan leveys X (BX)	2000 mm		
Anturan leveys Y (BY)	1200 mm		
Anturan korkeus (H)	400 mm		
Peruspilarin leveys X (SX)	480 mm		
Peruspilarin leveys Y (SY)	380 mm		
Peruspilarin korkeus (HP)	0 mm		
Suojabetoni alapinnassa (C)	50 mm		
Yläpuolisen täytön paksuus (HT)	600 mm		
Rakenneluokka	Luokka 2		
Ympäristöluokka	XC2		
Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %		
Rakenteen kuormitusikä	28 vrk		
Materiaalit			
Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B
- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15
- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa
- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa
- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa
- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa		
- Sementin tyyppi	Tyyppi N		
Säilyvyys / suojapeite			
Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	20 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset	12 mm		

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 2/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Sivu: 2/5
Katu: -	Rakennustyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosite: --	Nimi: Antura 1	Suunnittelija: an

Kuormitukset

Nimi	Luokka ja yhdistelykertoimet	V kN	H _x kN	H _y kN	M _x kNm	M _y kNm
G0	Omapaino+täyttö	49,3	0	0	0	0
G1	Pysyvä kuorma	130,4	0	0	0	0
Q1	Muuttuva kuorma 1 Lumikuorma (sk < 2.75kN/m2), ψ ₀ =0,7, ψ ₂ =0,2	141,6	0	0	0	0
Q2	Muuttuva kuorma 2 Tuulikuorma, ψ ₀ =0,6, ψ ₂ =0,0	0	26	0	0	91,1

Kuormitusyhdistelmät ja voimasuureet perustustasossa

Yhdistelmä	Edustavat arvot (Σψ _i *F)					Mitoitusarvot				
	V _{rep} kN	H _{x,rep} kN	H _{y,rep} kN	M _{x,rep} kNm	M _{y,rep} kNm	V _d kN	H _{xd} kN	H _{yd} kN	M _{xd} kNm	M _{yd} kNm
A: 1,35*(G0+G1)	179,6	0	0	0	0	242,5	0	0	0	0
B: 1,15*(G0+G1) + 1,5*Q1 + 0,6*1,5*Q2	321,2	15,6	0	0	48,4	419	23,4	0	0	72,6
C: 1,15*(G0+G1) + 0,7*1,5*Q1 + 1,5*Q2	278,8	26	0	0	80,7	355,3	39	0	0	121
D: 0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1	321,2	0	0	0	0	374,1	0	0	0	0
E: 0,9*(G0+G1) + 1,5*Q2	179,6	26	0	0	80,7	161,7	39	0	0	121
Pitkäaikainen yhd.: G0+G1 + 0,2*Q1	208	0	0	0	0	208	0	0	0	0
Ominais yhd.: G0+G1 + Q1 + Q2	321,2	26	0	0	80,7	321,2	26	0	0	80,7

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 3/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 3/5																																																																																					
Katu: -	Rakennelaji: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019																																																																																					
Postiosioite: --	Nimi: Antura 1	Suunnittelija: an																																																																																					
<p>Murtorajatilatarkastelu (EQU)</p> <p>Kaatumisvarmuus</p> <table> <tr> <td>Osavarmuuskertoimet</td> <td>Pysyvä kuorma</td> <td>Muuttuva kuorma</td> </tr> <tr> <td>-Edullinen</td> <td>$\gamma_{G,inf} = 0,9$</td> <td>$\gamma_{Q1} = 0,0$</td> </tr> <tr> <td>-Epäedullinen</td> <td>$\gamma_{G,sup} = 1,1$</td> <td>$\gamma_{Q1} = 1,5$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X-akselin suhteen</td> <td>Y-akselin suhteen</td> </tr> <tr> <td>Mitoittava kuormayhdistelmä</td> <td>$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1$</td> <td>$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q2$</td> </tr> <tr> <td>Kaatava momentti $M_{Ed,dst}$</td> <td>0,0 kNm</td> <td>121,0 kNm</td> </tr> <tr> <td>Stabiloiva momentti $M_{Ed,stab}$</td> <td>224,4 kNm</td> <td>161,7 kNm</td> </tr> <tr> <td>Mitoitusehto $M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab}$</td> <td>0,0 / 224,4 = 0,00 ≤ 1,0 - OK</td> <td>121,0 / 161,7 = 0,75 ≤ 1,0 - OK</td> </tr> </table> <p>Murtorajatilatarkastelu (GEO)</p> <table> <tr> <td>Maaparametrit</td> <td></td> <td>Osavarmuuskertoimet</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yläpuolisen täytön tiheys</td> <td>19,0 kN/m³</td> <td>Leikkauskestävyysskulma, $\gamma_{\phi'}$</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Perusmaan tehollinen tiheys</td> <td>19,0 kN/m³</td> <td>Tehokas koheesio, γ_c</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Perusmaan leikkauskestävyysskulma</td> <td>40,0°</td> <td>Suljettu leikkauslujuus, γ_{cu}</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Perusmaan tehokas koheesio, c'</td> <td>0,0 kPa</td> <td>Tilavuuspaino, γ_v</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Perusmaan suljettu leikkauslujuus, c_u</td> <td>100,0 kPa</td> <td>Kantokestävyyss, $\gamma_{R,v}$</td> <td>1,55</td> </tr> </table> <p>Kantokestävyyss (GEO)</p> <p>Kantokestävyyss laskenta EN1997-1 Liite D kohdan D.4 "Avoimet olosuhteet" mukaan</p> <table> <tr> <td>Mitoitusmenetelmä</td> <td>Menetelmä DA2*</td> </tr> <tr> <td>Mitoittava kuormayhdistelmä</td> <td>$C: 1,15*(G0+G1) + 0,7*1,5*Q1 + 1,5*Q2$</td> </tr> <tr> <td>$V_d = 355,3$ kN</td> <td>$V_{k(rep)} = 278,8$ kN</td> </tr> <tr> <td>$H_{k(rep)} = 26,0$ kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pystykuorman (V) epäkeskisyydet</td> <td>$e_x = -289$ mm</td> <td>$e_y = 0$ mm</td> </tr> <tr> <td>Anturan teholliset mitat</td> <td>$B' = 1200$ mm</td> <td>$L' = 1421$ mm</td> </tr> <tr> <td>Anturan tehollinen ala</td> <td>$A' = 1,71$ m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kantavuuskertoimet</td> <td>$N_c = 75,31$</td> <td>$N_q = 64,20$</td> <td>$N_v = 106,05$</td> </tr> <tr> <td>Pohjan kaltevuuskertoimet</td> <td>$b_c = 1,00$</td> <td>$b_q = 1,00$</td> <td>$b_v = 1,00$</td> </tr> <tr> <td>Kertoimet perustuksen muodosta</td> <td>$s_c = 1,55$</td> <td>$s_q = 1,54$</td> <td>$s_v = 0,75$</td> </tr> <tr> <td>Kuormituksen kaltevuuskertoimet</td> <td>$m_{\phi} = 1,54$</td> <td>$m_c = 1,46$</td> <td>$m = 1,46$</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>$\theta = 0,0^\circ$</td> <td></td> </tr> </table>			Osavarmuuskertoimet	Pysyvä kuorma	Muuttuva kuorma	-Edullinen	$\gamma_{G,inf} = 0,9$	$\gamma_{Q1} = 0,0$	-Epäedullinen	$\gamma_{G,sup} = 1,1$	$\gamma_{Q1} = 1,5$		X-akselin suhteen	Y-akselin suhteen	Mitoittava kuormayhdistelmä	$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1$	$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q2$	Kaatava momentti $M_{Ed,dst}$	0,0 kNm	121,0 kNm	Stabiloiva momentti $M_{Ed,stab}$	224,4 kNm	161,7 kNm	Mitoitusehto $M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab}$	0,0 / 224,4 = 0,00 ≤ 1,0 - OK	121,0 / 161,7 = 0,75 ≤ 1,0 - OK	Maaparametrit		Osavarmuuskertoimet		Yläpuolisen täytön tiheys	19,0 kN/m ³	Leikkauskestävyysskulma, $\gamma_{\phi'}$	1,00	Perusmaan tehollinen tiheys	19,0 kN/m ³	Tehokas koheesio, γ_c	1,00	Perusmaan leikkauskestävyysskulma	40,0°	Suljettu leikkauslujuus, γ_{cu}	1,00	Perusmaan tehokas koheesio, c'	0,0 kPa	Tilavuuspaino, γ_v	1,00	Perusmaan suljettu leikkauslujuus, c_u	100,0 kPa	Kantokestävyyss, $\gamma_{R,v}$	1,55	Mitoitusmenetelmä	Menetelmä DA2*	Mitoittava kuormayhdistelmä	$C: 1,15*(G0+G1) + 0,7*1,5*Q1 + 1,5*Q2$	$V_d = 355,3$ kN	$V_{k(rep)} = 278,8$ kN	$H_{k(rep)} = 26,0$ kN		Pystykuorman (V) epäkeskisyydet	$e_x = -289$ mm	$e_y = 0$ mm	Anturan teholliset mitat	$B' = 1200$ mm	$L' = 1421$ mm	Anturan tehollinen ala	$A' = 1,71$ m ²		Kantavuuskertoimet	$N_c = 75,31$	$N_q = 64,20$	$N_v = 106,05$	Pohjan kaltevuuskertoimet	$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_v = 1,00$	Kertoimet perustuksen muodosta	$s_c = 1,55$	$s_q = 1,54$	$s_v = 0,75$	Kuormituksen kaltevuuskertoimet	$m_{\phi} = 1,54$	$m_c = 1,46$	$m = 1,46$			$\theta = 0,0^\circ$	
Osavarmuuskertoimet	Pysyvä kuorma	Muuttuva kuorma																																																																																					
-Edullinen	$\gamma_{G,inf} = 0,9$	$\gamma_{Q1} = 0,0$																																																																																					
-Epäedullinen	$\gamma_{G,sup} = 1,1$	$\gamma_{Q1} = 1,5$																																																																																					
	X-akselin suhteen	Y-akselin suhteen																																																																																					
Mitoittava kuormayhdistelmä	$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1$	$0,9*(G0+G1) + 1,5*Q2$																																																																																					
Kaatava momentti $M_{Ed,dst}$	0,0 kNm	121,0 kNm																																																																																					
Stabiloiva momentti $M_{Ed,stab}$	224,4 kNm	161,7 kNm																																																																																					
Mitoitusehto $M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab}$	0,0 / 224,4 = 0,00 ≤ 1,0 - OK	121,0 / 161,7 = 0,75 ≤ 1,0 - OK																																																																																					
Maaparametrit		Osavarmuuskertoimet																																																																																					
Yläpuolisen täytön tiheys	19,0 kN/m ³	Leikkauskestävyysskulma, $\gamma_{\phi'}$	1,00																																																																																				
Perusmaan tehollinen tiheys	19,0 kN/m ³	Tehokas koheesio, γ_c	1,00																																																																																				
Perusmaan leikkauskestävyysskulma	40,0°	Suljettu leikkauslujuus, γ_{cu}	1,00																																																																																				
Perusmaan tehokas koheesio, c'	0,0 kPa	Tilavuuspaino, γ_v	1,00																																																																																				
Perusmaan suljettu leikkauslujuus, c_u	100,0 kPa	Kantokestävyyss, $\gamma_{R,v}$	1,55																																																																																				
Mitoitusmenetelmä	Menetelmä DA2*																																																																																						
Mitoittava kuormayhdistelmä	$C: 1,15*(G0+G1) + 0,7*1,5*Q1 + 1,5*Q2$																																																																																						
$V_d = 355,3$ kN	$V_{k(rep)} = 278,8$ kN																																																																																						
$H_{k(rep)} = 26,0$ kN																																																																																							
Pystykuorman (V) epäkeskisyydet	$e_x = -289$ mm	$e_y = 0$ mm																																																																																					
Anturan teholliset mitat	$B' = 1200$ mm	$L' = 1421$ mm																																																																																					
Anturan tehollinen ala	$A' = 1,71$ m ²																																																																																						
Kantavuuskertoimet	$N_c = 75,31$	$N_q = 64,20$	$N_v = 106,05$																																																																																				
Pohjan kaltevuuskertoimet	$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_v = 1,00$																																																																																				
Kertoimet perustuksen muodosta	$s_c = 1,55$	$s_q = 1,54$	$s_v = 0,75$																																																																																				
Kuormituksen kaltevuuskertoimet	$m_{\phi} = 1,54$	$m_c = 1,46$	$m = 1,46$																																																																																				
		$\theta = 0,0^\circ$																																																																																					
<p>$i_c = 0,86$ kN/m² Järjestelmä: Rakenne-Center Oy Kavallinmäki 13 A 02710 ESPOO Y-tunnus: 2298628-8</p>																																																																																							
Kantokestävyyss	$R_d = 2575,7$ kN																																																																																						
Mitoitusehdon tarkistus	$V_d/R_d = 0,14 \leq 1,0 - OK$																																																																																						

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 4/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 4/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 1	Suunnittelija: an

Käyttörajatila (GEO)

Yhdistelmä	V kN	e _x mm	e _y mm	A _{eff} m ²	q _a (k.a.) kPa	q _a (max) kPa
Pitkäaikainen yhd.: G0+G1 + 0,2*Q1	208,0	0	0	2,40	86,6	86,6
Ominaisiyhd.: G0+G1 + Q1 + Q2	321,2	-251	0	2,40	133,8	234,7

Huomaus! - tämä mitoitus ei sisällä painuman laskentaa eikä tarkistusta

Murtorajatilamitoitus (STR)**Taivutuskestävyys**

	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II
Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E	Yhdistelmä B
Momentin mitoitusarvo M _{Ed}	82,2 kNm	29,3 kNm
Tehollinen korkeus, d	344 mm	332 mm
Tehollinen leveys, b	1200 mm	2000 mm
Suhteellinen momentti, μ	0,034	0,008
Sis. momenttivarsi, z	338 mm	331 mm
Vaadittava raudoitusalaa, A _{s,vaad.}	559 mm ²	204 mm ²
Minimiraudoitusala, A _{s,min}	622 mm ²	1000 mm ²
Valittu raudoitus	12xT12	10xT12
Todellinen raudoitusalaa, A _s	1357 mm ² > A _{s,min} - OK	1131 mm ² > A _{s,min} - OK
Betonipuristuma ε _c (max)	-1,18 ‰	-0,58 ‰
Teräsvenymä ε _s (max)	10,00 ‰	10,00 ‰
Momenttikestävyys, M _{Rd}	194,5 kNm	159,7 kNm
Käyttöaste M _{Ed} /M _{Rd}	0,42 ≤ 1,0 - OK	0,18 ≤ 1,0 - OK

Leikkauskestävyys (leikkausraudoittamaton rakenne)

	Yhdistelmä E	Yhdistelmä B
Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E	Yhdistelmä B
Leikkasuvoiman mitoitusarvo, V _{Ed}	133,7 kN	27,2 kN
Mitta, b	1200 mm	2000 mm
Mitta, d	344 mm	332 mm
Kerroin, C _{Rd,c}	0,120	0,120
Kerroin, k	1,762	1,776
Suhteellinen raud.ala, ρ _l	0,0033	0,0017
Leikkasuvoimakestävyys, V _{Rd,c}	187,2 kN	301,3 kN
Käyttöaste V _{Ed} /V _{Rd,c}	0,71 ≤ 1,0 - OK	0,09 ≤ 1,0 - OK

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

KEHÄPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 5/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 5/5																																																															
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019																																																															
Postiosote: --	Nimi: Antura 1	Suunnittelja: an																																																															
<p>Lävistyskestävyys (RakMk/B4)</p> <table> <tr> <td>Mitoittava kuormayhdistelmä</td> <td>Yhdistelmä E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoima (max), V_{Ed}</td> <td>161,7 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>749 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}</td> <td>22,0 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>749 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan piiri, u</td> <td>3072 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan pinta-ala, A_u</td> <td>0,59 m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Keskim. tehollinen korkeus, d</td> <td>338 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, k</td> <td>1,262</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, β</td> <td>0,162</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suhteellinen raud.ala, ρ_1</td> <td>0,0024</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistyskestävyys, V_c</td> <td>321,3 kN</td> <td>> Ved-ΔV_{Ed}(139,7 kN) - OK</td> </tr> </table> <p>Käyttörajatilamitoitus</p> <p>Halkeamatarkastelu, pitkäaikaisyhdistelmä</p> <table> <tr> <td>Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$</td> <td>2,26</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Leikkaus I-I</td> <td>Leikkaus II-II</td> </tr> <tr> <td>Momentin mitoitusarvo M</td> <td>30,0 kNm</td> <td>14,6 kNm</td> </tr> <tr> <td>Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$</td> <td>348 mm</td> <td>601 mm</td> </tr> <tr> <td>Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)</td> <td>0,215 ‰</td> <td>0,126 ‰</td> </tr> <tr> <td>Halkeaman leveys, w_k</td> <td>0,07 mm</td> <td>0,08 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>≤ 0,3 mm - OK</td> <td>≤ 0,3 mm - OK</td> </tr> </table>			Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E		Lävistysvoima (max), V_{Ed}	161,7 kN		Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	749 mm		Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm		Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	22,0 kN		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	749 mm		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm		Leikkausalan piiri, u	3072 mm		Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²		Keskim. tehollinen korkeus, d	338 mm		Kerroin, k	1,262		Kerroin, β	0,162		Suhteellinen raud.ala, ρ_1	0,0024		Lävistyskestävyys, V_c	321,3 kN	> Ved- ΔV_{Ed} (139,7 kN) - OK	Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26			Leikkaus I-I	Leikkaus II-II	Momentin mitoitusarvo M	30,0 kNm	14,6 kNm	Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	348 mm	601 mm	Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,215 ‰	0,126 ‰	Halkeaman leveys, w_k	0,07 mm	0,08 mm		≤ 0,3 mm - OK	≤ 0,3 mm - OK
Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E																																																																
Lävistysvoima (max), V_{Ed}	161,7 kN																																																																
Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	749 mm																																																																
Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm																																																																
Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	22,0 kN																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	749 mm																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm																																																																
Leikkausalan piiri, u	3072 mm																																																																
Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²																																																																
Keskim. tehollinen korkeus, d	338 mm																																																																
Kerroin, k	1,262																																																																
Kerroin, β	0,162																																																																
Suhteellinen raud.ala, ρ_1	0,0024																																																																
Lävistyskestävyys, V_c	321,3 kN	> Ved- ΔV_{Ed} (139,7 kN) - OK																																																															
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26																																																																
	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II																																																															
Momentin mitoitusarvo M	30,0 kNm	14,6 kNm																																																															
Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	348 mm	601 mm																																																															
Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,215 ‰	0,126 ‰																																																															
Halkeaman leveys, w_k	0,07 mm	0,08 mm																																																															
	≤ 0,3 mm - OK	≤ 0,3 mm - OK																																																															
Uudenmaan Rakennus-Center Oy Kavallinmäki 13 A 02710 ESPOO Y-tunnus: 2298628-8																																																																	

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

PÄÄTYPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 1/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 1/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 2	Suunnittelija: an

Rakenne			
Anturan leveys X (BX)	2800 mm		
Anturan leveys Y (BY)	1200 mm		
Anturan korkeus (H)	400 mm		
Peruspilarin leveys X (SX)	480 mm		
Peruspilarin leveys Y (SY)	380 mm		
Peruspilarin korkeus (HP)	0 mm		
Suojabetoni alapinnassa (C)	50 mm		
Yläpuolisen täytön paksuus (HT)	600 mm		
Rakenneluokka	Luokka 2		
Ympäristöluokka	XC2		
Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %		
Rakenteen kuormitusikä	28 vrk		
Materiaalit			
Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B
- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15
- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa
- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa
- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa
- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa		
- Sementin tyyppi	Tyyppi N		
Säilyvyys / suojapeite			
Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	20 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset	12 mm		

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

PÄÄTYPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 2/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 2/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 2	Suunnittelija: an

Kuormitukset

Nimi	Luokka ja yhdistelykertoimet	V kN	H _x kN	H _y kN	M _x kNm	M _y kNm
G0	Omapaino+täyttö	69,8	0	0	0	0
G1	Pysyvä kuorma	64,4	0	0	0	0
Q1	Muuttuva kuorma 1 Tuulikuorma, $\psi_0=0,6$, $\psi_2=0,0$	0	31,1	0	0	102,6

Kuormitusyhdistelmät ja voimasuureet perustustasossa

Yhdistelmä	Edustavat arvot ($\sum \psi_i \cdot F_i$)					Mitoitusarvot				
	V _{rep} kN	H _{x,rep} kN	H _{y,rep} kN	M _{x,rep} kNm	M _{y,rep} kNm	V _d kN	H _{x,d} kN	H _{y,d} kN	M _{x,d} kNm	M _{y,d} kNm
A: 1,35*(G0+G1)	134,2	0	0	0	0	181,2	0	0	0	0
B: 1,15*(G0+G1) + 1,5*Q1	134,2	31,1	0	0	90,2	154,3	46,6	0	0	135,2
C: 0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1	134,2	31,1	0	0	90,2	120,8	46,6	0	0	135,2
Pitkäaikainen yhd. : G0+G1	134,2	0	0	0	0	134,2	0	0	0	0
Ominais yhd. : G0+G1 + Q1	134,2	31,1	0	0	90,2	134,2	31,1	0	0	90,2

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

PÄÄTYPIILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 3/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 3/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosioite: --	Nimi: Antura 2	Suunnittelija: an

Murtorajatilatarkastelu (EQU)

Kaatumisvarmuus

Osavarmuuskertoimet	Pysyvä kuorma	Muuttuva kuorma
-Edullinen	$\gamma_{G,inf} = 0,9$	$\gamma_{Qi} = 0,0$
-Epäedullinen	$\gamma_{G,sup} = 1,1$	$\gamma_{Qi} = 1,5$

	X-akselin suhteen	Y-akselin suhteen
Mitoittava kuormayhdistelmä	$0,9*(G_0+G_1) + 1,5*Q_1$	$0,9*(G_0+G_1) + 1,5*Q_1$
Kaatava momentti $M_{Ed,dst}$	0,0 kNm	135,2 kNm
Stabiloiva momentti $M_{Ed,stab}$	72,5 kNm	169,1 kNm
Mitoitusehto $M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab}$	0,0 / 72,5 = 0,00 ≤ 1,0 - OK	135,2 / 169,1 = 0,80 ≤ 1,0 - OK

Murtorajatilatarkastelu (GEO)

Maaparametrit		Osavarmuuskertoimet	
Yläpuolisen täytön tiheys	19,0 kN/m ³	Leikkauskestävyysskulma, $\gamma_{\phi'}$	1,00
Perusmaan tehollinen tiheys	19,0 kN/m ³	Tehokas koheesio, γ_c	1,00
Perusmaan leikkauskestävyysskulma	40,0°	Suljettu leikkauslujuus, γ_{cu}	1,00
Perusmaan tehokas koheesio, c'	0,0 kPa	Tilavuuspaino, γ_v	1,00
Perusmaan suljettu leikkauslujuus, c_u	100,0 kPa	Kantokestävyys, $\gamma_{R,v}$	1,55

Kantokestävyys (GEO)

Kantokestävyyslaskenta EN1997-1 Liite D kohdan D.4 "Avoimet olosuhteet" mukaan

Mitoitusmenetelmä	Menetelmä DA2*	
Mitoittava kuormayhdistelmä	B: $1,15*(G_0+G_1) + 1,5*Q_1$	
	$V_d = 154,3$ kN	$V_{k(rep)} = H_{k(rep)} = 134,2$ kN
Mitoitusvoimasuureet	$154,3$ kN	$134,2$ kN
	$154,3$ kN	$134,2$ kN
Pystykuorman (V) epäkeskisyydet	$e_x = -672$ mm	$e_y = 0$ mm
Anturan teholliset mitat	$B' = 1200$ mm	$L' = 1456$ mm
Anturan tehollinen ala	$A' = 1,75$ m ²	
Kantavuuskertoimet	$N_c = 75,31$	$N_q = 64,20$
	$N_v = 106,05$	
Pohjan kaltevuuskertoimet	$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$
	$b_v = 1,00$	
Kertoimet perustuksen muodosta	$s_c = 1,54$	$s_q = 1,53$
	$s_v = 0,75$	
Kuormituksen kaltevuuskertoimet	$m_{qs} = 1,55$	$m_s = 1,45$
	$m_v = 1,45$	$\theta = 0,0^\circ$

i_c = 0,68 kN/m² | Laskenta- ja suunnitteluohjelma Eurocode-Tools | Rakennus-Center Oy | Kavallinnmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Kantokestävyys $R_d = 1972,7$ kN
Mitoitusehdon tarkistus $V_d/R_d = 0,08 \leq 1,0 - OK$

PÄÄTYPIILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 4/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 4/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 2	Suunnittelja: an

Käyttörajatila (GEO)

Yhdistelmä	V kN	e _x mm	e _y mm	A _{eff} m ²	q _d (k.a.) kPa	q _d (max) kPa
Pitkäaikainen yhd.: G0+G1	134,2	0	0	3,36	39,9	39,9
Ominais yhd.: G0+G1 + Q1	134,2	-672	0	2,62	51,2	102,4

Huomaus! - tämä mitoitus ei sisällä painuman laskentaa eikä tarkistusta

Murtoarajilamitoitus (STR)

Taivutuskestävyys	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II
Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä C	Yhdistelmä A
Momentin mitoitusarvo M _{Ed}	106,3 kNm	12,7 kNm
Tehollinen korkeus, d	344 mm	332 mm
Tehollinen leveys, b	1200 mm	2800 mm
Suhteellinen momentti, μ	0,044	0,002
Sis. momenttivarsi, z	336 mm	332 mm
Vaadittava rauditusala, A _{s,vaad.}	727 mm ²	88 mm ²
Minimiraudoitusala, A _{s,min}	622 mm ²	1400 mm ²
Valittu rauditus	17xT12	14xT12
Todellinen rauditusala, A _s	1923 mm ² > A _{s,min} - OK	1583 mm ² > A _{s,min} - OK
Betonipuristuma ε _c (max)	-1,75 ‰	-0,58 ‰
Teräsvenymä ε _s (max)	10,00 ‰	10,00 ‰
Momenttikestävyys, M _{Rd}	270,4 kNm	223,5 kNm
Käyttöaste M _{Ed} /M _{Rd}	0,39 ≤ 1.0 - OK	0,06 ≤ 1.0 - OK

Leikkauskestävyys (leikkausraudoittamaton rakenne)

Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä C	Yhdistelmä A
Leikkasuvoiman mitoitusarvo, V _{Ed}	120,8 kN	11,8 kN
Mitta, b	1200 mm	2800 mm
Mitta, d	344 mm	332 mm
Kerroin, C _{Rd,c}	0,120	0,120
Kerroin, k	1,762	1,776
Suhteellinen raud.ala, ρ _l	0,0047	0,0017
Leikkasuvoimakestävyys, V _{Rd,c}	210,3 kN	421,8 kN
Käyttöaste V _{Ed} /V _{Rd,c}	0,57 ≤ 1.0 - OK	0,03 ≤ 1.0 - OK

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

PÄÄTYPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 5/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 5/5																																																															
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019																																																															
Postiosote: - -	Nimi: Antura 2	Suunnittelja: an																																																															
<p>Lävistyskestävyys (RakMk/B4)</p> <table> <tr> <td>Mitoittava kuormayhdistelmä</td> <td>Yhdistelmä C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoima (max), V_{Ed}</td> <td>120,8 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>1120 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}</td> <td>0,0 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>1120 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>0 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan piiri, u</td> <td>3072 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan pinta-ala, A_u</td> <td>0,59 m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Keskim. tehollinen korkeus, d</td> <td>338 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, k</td> <td>1,262</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, β</td> <td>0,125</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suhteellinen raud.ala, ρ_l</td> <td>0,0028</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistyskestävyys, V_c</td> <td>253,2 kN</td> <td>> Ved-ΔV_{Ed}(120,8 kN) - OK</td> </tr> </table> <p>Käyttörajoitilamitoitus</p> <p>Halkeamatarkastelu, pitkäaikaisyhdistelmä</p> <table> <tr> <td>Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$</td> <td>2,26</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Leikkaus I-I</td> <td>Leikkaus II-II</td> </tr> <tr> <td>Momentin mitoitusarvo M</td> <td>32,2 kNm</td> <td>9,4 kNm</td> </tr> <tr> <td>Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$</td> <td>289 mm</td> <td>601 mm</td> </tr> <tr> <td>Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)</td> <td>0,165 ‰</td> <td>0,058 ‰</td> </tr> <tr> <td>Halkeaman leveys, w_k</td> <td>0,05 mm</td> <td>0,03 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>≤ 0,3 mm - OK</td> <td>≤ 0,3 mm - OK</td> </tr> </table>			Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä C		Lävistysvoima (max), V_{Ed}	120,8 kN		Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	1120 mm		Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm		Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	0,0 kN		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	1120 mm		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm		Leikkausalan piiri, u	3072 mm		Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²		Keskim. tehollinen korkeus, d	338 mm		Kerroin, k	1,262		Kerroin, β	0,125		Suhteellinen raud.ala, ρ_l	0,0028		Lävistyskestävyys, V_c	253,2 kN	> Ved- ΔV_{Ed} (120,8 kN) - OK	Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26			Leikkaus I-I	Leikkaus II-II	Momentin mitoitusarvo M	32,2 kNm	9,4 kNm	Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	289 mm	601 mm	Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,165 ‰	0,058 ‰	Halkeaman leveys, w_k	0,05 mm	0,03 mm		≤ 0,3 mm - OK	≤ 0,3 mm - OK
Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä C																																																																
Lävistysvoima (max), V_{Ed}	120,8 kN																																																																
Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	1120 mm																																																																
Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm																																																																
Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	0,0 kN																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	1120 mm																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	0 mm																																																																
Leikkausalan piiri, u	3072 mm																																																																
Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²																																																																
Keskim. tehollinen korkeus, d	338 mm																																																																
Kerroin, k	1,262																																																																
Kerroin, β	0,125																																																																
Suhteellinen raud.ala, ρ_l	0,0028																																																																
Lävistyskestävyys, V_c	253,2 kN	> Ved- ΔV_{Ed} (120,8 kN) - OK																																																															
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26																																																																
	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II																																																															
Momentin mitoitusarvo M	32,2 kNm	9,4 kNm																																																															
Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	289 mm	601 mm																																																															
Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,165 ‰	0,058 ‰																																																															
Halkeaman leveys, w_k	0,05 mm	0,03 mm																																																															
	≤ 0,3 mm - OK	≤ 0,3 mm - OK																																																															
Uudenmaan Rakennus-Center Oy Kavallinmäki 13 A 02710 ESPOO Y-tunnus: 2298628-8																																																																	

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 1/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 1/5																																																									
Katu: -	Rakennetyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019																																																									
Postiosote: - -	Nimi: Antura 3	Suunnittelija: an																																																									
<p>Rakenne</p> <table> <tr> <td>Anturan leveys X (BX)</td> <td>2000 mm</td> <td rowspan="10"> </td> </tr> <tr> <td>Anturan leveys Y (BY)</td> <td>1400 mm</td> </tr> <tr> <td>Anturan korkeus (H)</td> <td>400 mm</td> </tr> <tr> <td>Peruspilarin leveys X (SX)</td> <td>480 mm</td> </tr> <tr> <td>Peruspilarin leveys Y (SY)</td> <td>380 mm</td> </tr> <tr> <td>Peruspilarin korkeus (HP)</td> <td>0 mm</td> </tr> <tr> <td>Suojabetoni alapinnassa (C)</td> <td>50 mm</td> </tr> <tr> <td>Yläpuolisen täytön paksuus (HT)</td> <td>600 mm</td> </tr> <tr> <td>Rakenneluokka</td> <td>Luokka 2</td> </tr> <tr> <td>Ympäristöluokka</td> <td>XC2</td> </tr> <tr> <td>Ympäristön suhteellinen kosteus RH</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>Rakenteen kuormitusikä</td> <td>28 vrk</td> </tr> </table> <p>Materiaalit</p> <table> <tr> <td>Betonin lujuusluokka</td> <td>C30/37</td> <td>Betoniteräs</td> <td>B500B</td> </tr> <tr> <td>- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c</td> <td>1,5</td> <td>- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s</td> <td>1,15</td> </tr> <tr> <td>- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}</td> <td>30,0 MPa</td> <td>- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}</td> <td>500,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}</td> <td>2,90 MPa</td> <td>- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}</td> <td>434,8 MPa</td> </tr> <tr> <td>- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}</td> <td>17,0 MPa</td> <td>- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s</td> <td>200000 MPa</td> </tr> <tr> <td>- Sekanttimoduli E_{cm}</td> <td>32837 MPa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>- Sementin tyyppi</td> <td>Tyyppi N</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Säilyvyys / suojapeite</p> <table> <tr> <td>Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite</td> <td>20 mm</td> </tr> <tr> <td>Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset</td> <td>12 mm</td> </tr> </table>			Anturan leveys X (BX)	2000 mm		Anturan leveys Y (BY)	1400 mm	Anturan korkeus (H)	400 mm	Peruspilarin leveys X (SX)	480 mm	Peruspilarin leveys Y (SY)	380 mm	Peruspilarin korkeus (HP)	0 mm	Suojabetoni alapinnassa (C)	50 mm	Yläpuolisen täytön paksuus (HT)	600 mm	Rakenneluokka	Luokka 2	Ympäristöluokka	XC2	Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %	Rakenteen kuormitusikä	28 vrk	Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15	- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa	- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa	- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa	- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa			- Sementin tyyppi	Tyyppi N			Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	20 mm	Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset	12 mm
Anturan leveys X (BX)	2000 mm																																																										
Anturan leveys Y (BY)	1400 mm																																																										
Anturan korkeus (H)	400 mm																																																										
Peruspilarin leveys X (SX)	480 mm																																																										
Peruspilarin leveys Y (SY)	380 mm																																																										
Peruspilarin korkeus (HP)	0 mm																																																										
Suojabetoni alapinnassa (C)	50 mm																																																										
Yläpuolisen täytön paksuus (HT)	600 mm																																																										
Rakenneluokka	Luokka 2																																																										
Ympäristöluokka	XC2																																																										
Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %																																																										
Rakenteen kuormitusikä	28 vrk																																																										
Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B																																																								
- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15																																																								
- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa																																																								
- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa																																																								
- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa																																																								
- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa																																																										
- Sementin tyyppi	Tyyppi N																																																										
Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	20 mm																																																										
Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset	12 mm																																																										
Uudenmaan Rakennus-Center Oy Kavallinmäki 13 A 02710 ESPOO Y-tunnus: 2298628-8																																																											

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 2/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 2/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 3	Suunnittelija: an

Kuormitukset

Nimi	Luokka ja yhdistelykertoimet	V kN	H _x kN	H _y kN	M _x kNm	M _y kNm
G0	Omapaino+täyttö	57,8	0	0	0	0
G1	Pysyvä kuorma	92	0	0	0	0
Q1	Muuttuva kuorma 1 Lumikuorma (sk < 2.75kN/m2), ψ ₀ =0,7, ψ ₂ =0,2	70,8	0	0	0	0
Q2	Muuttuva kuorma 2 Tuulikuorma, ψ ₀ =0,6, ψ ₂ =0,0	0	0	17	51	15,3

Kuormitusyhdistelmät ja voimasuuret perustustasossa

Yhdistelmä	Edustavat arvot (Σψ _i *F _i)					Mitoitusarvot				
	V _{rep} kN	H _{x,rep} kN	H _{y,rep} kN	M _{x,rep} kNm	M _{y,rep} kNm	V _d kN	H _{xd} kN	H _{yd} kN	M _{xd} kNm	M _{yd} kNm
A: 1,35*(G0+G1)	149,8	0	0	0	0	202,3	0	0	0	0
B: 1,15*(G0+G1) + 1,5*Q1 + 0,6*1,5*Q2	220,6	0	10,2	34,7	9,2	278,5	0	15,3	52	13,8
C: 1,15*(G0+G1) + 0,7*1,5*Q1 + 1,5*Q2	199,4	0	17	57,8	15,3	246,6	0	25,5	86,7	23
D: 0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1	220,6	0	0	0	0	241	0	0	0	0
E: 0,9*(G0+G1) + 1,5*Q2	149,8	0	17	57,8	15,3	134,8	0	25,5	86,7	23
Pitkäaikainen yhd.: G0+G1 + 0,2*Q1	164	0	0	0	0	164	0	0	0	0
Ominais yhd.: G0+G1 + Q1 + Q2	220,6	0	17	57,8	15,3	220,6	0	17	57,8	15,3

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 3/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 3/5
Katu: -	Rakenneltyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosioite: --	Nimi: Antura 3	Suunnittelija: an

Murtorajatilatarkastelu (EQU)

Kaatumisvarmuus

Osavarmuuskerroimet	Pysyvä kuorma	Muuttuva kuorma
-Edullinen	$\gamma_{G,inf} = 0,9$	$\gamma_{Qi} = 0,0$
-Epäedullinen	$\gamma_{G,sup} = 1,1$	$\gamma_{Qi} = 1,5$

	X-akselin suhteen	Y-akselin suhteen
Mitoittava kuormayhdistelmä	$0,9*(G_0+G_1) + 1,5*Q_2$	$0,9*(G_0+G_1) + 1,5*Q_2$
Kaatava momentti $M_{Ed,dst}$	86,7 kNm	23,0 kNm
Stabiiloiva momentti $M_{Ed,stab}$	94,4 kNm	134,8 kNm
Mitoitusehto $M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab}$	86,7 / 94,4 = 0,92 ≤ 1,0 - OK	23,0 / 134,8 = 0,17 ≤ 1,0 - OK

Murtorajatilatarkastelu (GEO)

Maaparametrit		Osavarmuuskerroimet	
Yläpuolisen täytön tiheys	19,0 kN/m ³	Leikkauskestävyysskulma, $\gamma_{\phi'}$	1,00
Perusmaan tehollinen tiheys	30,0 kN/m ³	Tehokas koheesio, γ_c	1,00
Perusmaan leikkauskestävyysskulma	40,0°	Suljettu leikkauslujuus, γ_{cu}	1,00
Perusmaan tehokas koheesio, c'	0,0 kPa	Tilavuuspaino, γ_f	1,00
Perusmaan suljettu leikkauslujuus, c_u	100,0 kPa	Kantokestävyys, $\gamma_{R,v}$	1,55

Kantokestävyys (GEO)

Kantokestävyyslaskenta EN1997-1 Liite D kohdan D.4 "Avoimet olosuhteet" mukaan

Mitoitusmenetelmä	Menetelmä DA2*
Mitoittava kuormayhdistelmä	$C: 1,15*(G_0+G_1) + 0,7*1,5*Q_1 + 1,5*Q_2$
Mitoitusvoimasuureet	$V_d = 246,6$ kN, $V_{k(rep)} = 199,4$ kN, $H_{k(rep)} = 17,0$ kN
Pystykuorman (V) epäkeskisyydet	$e_x = -77$ mm, $e_y = 290$ mm
Anturan teholliset mitat	$B' = 820$ mm, $L' = 1847$ mm
Anturan tehollinen ala	$A' = 1,51$ m ²
Kantavuuskertoimet	$N_c = 75,31$, $N_q = 64,20$, $N_v = 106,05$
Pohjan kalveuskerroimet	$b_c = 1,00$, $b_q = 1,00$, $b_v = 1,00$
Kertoimet perustuksen muodosta	$s_c = 1,29$, $s_q = 1,29$, $s_v = 0,87$
Kuormituksen kalveuskerroimet	$m_B = 1,69$, $m_L = 1,31$, $\theta = 90,0^\circ$ m, $\theta = 1,69$

$i_c = 0,86$ kN/m²

Kantokestävyys
Mitoitusehdon tarkistus

Tulostettu 15.5.2019 20:54:00 | Eurocode-Tools - Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

 $R_d = 2186,9$ kN
 $R_k = 3380,7$ kN
 $R_d/R_k = 0,64$
 $V_d/R_d = 0,11 \leq 1,0 - OK$

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 4/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 4/5
Katu: -	Rakennelyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019
Postiosote: --	Nimi: Antura 3	Suunnittelija: an

Käyttörajatila (GEO)

Yhdistelmä	V kN	e _x mm	e _y mm	A _{eff} m ²	q _a (k.a.) kPa	q _a (max) kPa
Pitkäaikainen yhd.: G0+G1 + 0,2*Q1	164,0	0	0	2,80	58,6	58,6
Ominaisiyhd.: G0+G1 + Q1 + Q2	220,6	-69	262	2,60	84,7	186,1

Huomaus! - tämä mitoitus ei sisällä painuman laskentaa eikä tarkistusta

Murtorajilamitoitus (STR)**Taivutuskestävyys**

	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II
Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä B	Yhdistelmä E
Momentin mitoitusarvo M _{Ed}	42,3 kNm	61,1 kNm
Tehollinen korkeus, d	345 mm	334 mm
Tehollinen leveys, b	1400 mm	2000 mm
Suhteellinen momentti, μ	0,015	0,016
Sis. momenttivarasi, z	342 mm	331 mm
Vaadittava raudoitusalaa, A _{s,vaad.}	284 mm ²	424 mm ²
Minimiraudoitusala, A _{s,min}	727 mm ²	1006 mm ²
Valittu raudoitus	10xT10	10xT12
Todellinen raudoitusalaa, A _s	785 mm ² > A _{s,min} - OK	1131 mm ² > A _{s,min} - OK
Betonipuristuma ε _c (max)	-0,55 ‰	-0,57 ‰
Teräsvenymä ε _s (max)	10,00 ‰	10,00 ‰
Momenttikestävyys, M _{Rd}	115,4 kNm	160,8 kNm
Käyttöaste M _{Ed} /M _{Rd}	0,37 ≤ 1,0 - OK	0,38 ≤ 1,0 - OK

Leikkauskestävyys (leikkausraudoittamaton rakenne)

	Yhdistelmä B	Yhdistelmä E
Mitoitettava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä B	Yhdistelmä E
Leikkasuvoiman mitoitusarvo, V _{Ed}	60,8 kN	134,8 kN
Mitta, b	1400 mm	2000 mm
Mitta, d	345 mm	334 mm
Kerroin, C _{Rd,c}	0,120	0,120
Kerroin, k	1,761	1,774
Suhteellinen raud.ala, ρ _l	0,0016	0,0017
Leikkasuvoimakestävyys, V _{Rd,c}	216,5 kN	302,5 kN
Käyttöaste V _{Ed} /V _{Rd,c}	0,28 ≤ 1,0 - OK	0,45 ≤ 1,0 - OK

Uudenmaan Rakennus-Center Oy | Kavallinmäki 13 A | 02710 ESPOO | Y-tunnus: 2298628-8

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

NURKKAPILARIN PILARIANTURAN VERTAILULASKELMAT EUROCODETOOLSILLA

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Sivu 5/5

Kohde: -	Projekti nro: Östman	Siv: 5/5																																																															
Katu: -	Rakennelystyyppi: Maanvarainen pilariantura	Pvm: 15.5.2019																																																															
Postiosoitte: - -	Nimi: Antura 3	Suunnittelija: an																																																															
<p>Lävistyskestävyys (RakMk/B4)</p> <table> <tr> <td>Mitoittava kuormayhdistelmä</td> <td>Yhdistelmä E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoima (max), V_{Ed}</td> <td>134,8 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>170 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>643 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}</td> <td>0,0 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$</td> <td>170 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$</td> <td>643 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan piiri, u</td> <td>3078 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leikkausalan pinta-ala, A_u</td> <td>0,59 m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Keskim. tehollinen korkeus, d</td> <td>339 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, k</td> <td>1,261</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kerroin, β</td> <td>0,174</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suhteellinen raud.ala, ρ_l</td> <td>0,0017</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lävistyskestävyys, V_c</td> <td>335,4 kN</td> <td>> Ved-$\Delta V_{Ed}(134,8 \text{ kN})$ - OK</td> </tr> </table> <p>Käyttörajatilamitoitus</p> <p>Halkeamatarkastelu, pitkäaikaisyhdistelmä</p> <table> <tr> <td>Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$</td> <td>2,26</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Leikkaus I-I</td> <td>Leikkaus II-II</td> </tr> <tr> <td>Momentin mitoitusarvo M</td> <td>23,7 kNm</td> <td>15,2 kNm</td> </tr> <tr> <td>Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$</td> <td>496 mm</td> <td>593 mm</td> </tr> <tr> <td>Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)</td> <td>0,283 ‰</td> <td>0,131 ‰</td> </tr> <tr> <td>Halkeaman leveys, w_k</td> <td>0,14 mm</td> <td>0,08 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK</td> <td>$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK</td> </tr> </table>			Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E		Lävistysvoima (max), V_{Ed}	134,8 kN		Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	170 mm		Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	643 mm		Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	0,0 kN		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	170 mm		Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	643 mm		Leikkausalan piiri, u	3078 mm		Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²		Keskim. tehollinen korkeus, d	339 mm		Kerroin, k	1,261		Kerroin, β	0,174		Suhteellinen raud.ala, ρ_l	0,0017		Lävistyskestävyys, V_c	335,4 kN	> Ved- $\Delta V_{Ed}(134,8 \text{ kN})$ - OK	Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26			Leikkaus I-I	Leikkaus II-II	Momentin mitoitusarvo M	23,7 kNm	15,2 kNm	Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	496 mm	593 mm	Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,283 ‰	0,131 ‰	Halkeaman leveys, w_k	0,14 mm	0,08 mm		$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK	$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK
Mitoittava kuormayhdistelmä	Yhdistelmä E																																																																
Lävistysvoima (max), V_{Ed}	134,8 kN																																																																
Epäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	170 mm																																																																
Epäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	643 mm																																																																
Lävistysvoiman vähennys, ΔV_{Ed}	0,0 kN																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_x (V_{Ed})$	170 mm																																																																
Mitoitusepäkeskisyyys, $e_y (V_{Ed})$	643 mm																																																																
Leikkausalan piiri, u	3078 mm																																																																
Leikkausalan pinta-ala, A_u	0,59 m ²																																																																
Keskim. tehollinen korkeus, d	339 mm																																																																
Kerroin, k	1,261																																																																
Kerroin, β	0,174																																																																
Suhteellinen raud.ala, ρ_l	0,0017																																																																
Lävistyskestävyys, V_c	335,4 kN	> Ved- $\Delta V_{Ed}(134,8 \text{ kN})$ - OK																																																															
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,26																																																																
	Leikkaus I-I	Leikkaus II-II																																																															
Momentin mitoitusarvo M	23,7 kNm	15,2 kNm																																																															
Suurin halkeamaväli, $s_{r,max}$	496 mm	593 mm																																																															
Venymäerotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,283 ‰	0,131 ‰																																																															
Halkeaman leveys, w_k	0,14 mm	0,08 mm																																																															
	$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK	$\leq 0,3 \text{ mm}$ - OK																																																															
Uudenmaan Rakennus-Center Oy Kavallinmäki 13 A 02710 ESPOO Y-tunnus: 2298628-8																																																																	

Tulostettu 15.5.2019 20:37 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi