

Asuinkerrostalon maanvaraisten perustusten mitoitus eurokoodin mukaan

Eveliina Potkonen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Potkonen, Eveliina	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 30.5.2016
	Sivumäärä 59	Julkaisun kieli Suomi
	Osittain salainen	Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Asuinkerrostalon maanvaraisten perustusten mitoitus eurokoodin mukaan		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hannu Haapamaa		
Toimeksiantaja(t) Wise Group Finland Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Maanvaraisten perustusten suunnitteluprosessi muuttui Eurokoodien korvattua vanhat suunnitteluohjeet. Eurokoodien mukaisen perustusten suunnitteluprosessin osapuolien vastuut ja suunnitteluprosessin eteneminen sisälsivät vielä epäselvyyksiä. Eurokoodien käytön tueksi laaditut ohjeet hajauttivat tiedon useaan eri teokseen.</p> <p>Maanvaraisista perustuksista käsitellään pilari- ja seinäanturaperustukset kitkamaalla, ja pohjavedenpinnan tason oletettiin olevan anturan alapinnassa tai alempana. Teoriaosuudessa esitetyt laskelmat ovat eurokoodien mukaiset ja ne perustuvat tavanomaiseen rakennesuunnittelukohteeseen, asuinkerrostaloon.</p> <p>Teoriaosuuden alussa käydään läpi suunnittelun eteneminen ja mitoitusperusteet. Eurokoodien mukaisista mitoitusperusteista esitellään rajatilojen, osavarmuuslukujen ja kertomien käyttö mitoituksessa. Loppuosassa esitellään maanvaraisen anturan geoteknisen ja rakenneteknisen mitoituksen perusteet. Geoteknisen mitoituksen yhteydessä tarkastettiin anturan kantokestävyys ja painuma. Rakennetekniseen mitoitukseen kuului lävistys-, taivutus-, leikkauskestävyys sekä raudituksen ankkurointi ja halkeamaleveyden tarkistus.</p> <p>Tavoitteena oli tuottaa perustusten suunnitteluun eurokoodin mukainen maanvaraisten anturoiden mitoituksen etenemismalli Wise Group Finland Oy:lle. Siirtymävaihetta eurokoodimitoitukseen ajatellen mallilaskelmat toteutettiin myös vaihtoehtoisilla lähtötiedoilla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) eurokoodi, mitoitus, perustukset, murtorajatila, käyttörajatila, geotekninen		
Muut tiedot		

Author(s) Potkonen, Eveliina	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 59	Permission for web publication: X
Title of publication Design of ground supported foundations for multi-storey apartment building by Eurocode		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Haapamaa, Hannu		
Assigned by Wise Group Finland Oy		
Abstract <p>Design process of ground supported foundations changed when Eurocodes replaced the old design practice recommendations. Following Eurocode design process includes ambiguity concerning the responsibilities of different designers and the progress of design process. The guidelines created as support for the use of Eurocodes have decentralized the information to multiple sources.</p> <p>The design solutions are applicable only to column footings and wall footings on non-cohesive soil. The assumption is that groundwater level is situated on the bottom level of the foundation base or lower. The calculations are based on a conventional multi-storey apartment building.</p> <p>At the beginning of the theoretical part the progress of the design process and dimensioning criteria are introduced. The Eurocode design criteria include instructions considering the application of serviceability limit state, ultimate limit state, partial factor method and combination factors. Subsequently the basics of geotechnical and structural dimensioning are introduced.</p> <p>Geotechnical design includes calculations of ground bearing resistance and settlement of the footing. Structural design consists of calculations on punching shear stress, bending strength, shear stability, anchoring bars and limit state of crack width.</p> <p>The outcome of the thesis is a Eurocode based model for ground supported foundations design for Wise Group Finland Oy. Considering the transitional period to Eurocode guidelines the thesis also includes model solutions with alternative source information.</p>		
Keywords/tags (subjects) Eurocode, dimensioning, foundations, ultimate limit state, serviceability limit state, geotechnical		
Miscellaneous		

Sisältö

Merkinnät	5
Käsitteet	7
1 Lähtökohdat	8
1.1 Tavoitteet ja aiheen rajausta	8
1.2 Laskentakohteen tiedot.....	8
1.3 Wise Group Finland Oy.....	9
1.4 Eurokoodit	10
2 Suunnittelun eteneminen	10
2.1 Pohjatutkimukset	10
2.2 Geotekninen suunnittelu.....	10
2.3 Rakennetekninen suunnittelu	15
3 Mitoitusperusteet	16
3.1 Rajatilat.....	16
3.2 Mitoitustavat	17
3.3 Osavarmuusluvut.....	18
3.4 Kuormitusyhdistelmät	19
3.5 Maaperän ominaisuudet	20
4 Geotekninen mitoitus.....	21
4.1 Geotekninen kantokestävyys	21
4.2 Painuma	24
5 Rakennetekninen mitoitus	28
5.1 Yleistä	28
5.2 Raudoittamaton antura.....	28
5.3 Raudoitettu antura	29
6 Pohdinta	35
Lähteet.....	37
Liitteet	39

Liite 1.	Pohjatutkimusraportista saatavat lähtötiedot	39
Liite 2.	Kantokestävyyden mitoitusarvon laskenta maaparametreilla	40
Liite 3.	Painuman käsinlaskenta	42
Liite 4.	Anturan koon määrittäminen geoteknisen kantokestävyyden mitoitustarvella	44
Liite 5.	Anturan koon määrittäminen geoteknisellä kantavuudella.....	45
Liite 6.	Pilarianturan raudoituksen laskuesimerkki.....	46
Liite 7.	Kuormien osavarmuusluvut	51
Liite 8.	Maaparametrien osavarmuusluvut.....	52
Liite 9.	Kestävyyksien osavarmuusluvut.....	53
Liite 10.	Kuormien yhdistelykertoimet	54
Liite 11.	Seuraamusluokka ja K_{FI} -kerroin	55
Liite 12.	Betonin valinta ja betonipeitteen vähimmäisarvo	56
Liite 13.	Ankkurointipituuden kertoimet.....	59

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkkirakennus	9
Kuvio 2. Geoteknisen suunnitteluprosessin eteneminen kaaviona (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 30).....	11
Kuvio 3. Geoteknisen luokituksen lohkoakaavio (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 32).	12
Kuvio 4. Suunnitteluprosessin eteneminen eri lähtötiedoilla.....	15
Kuvio 5. Perustuksen pohjan kaltevuus. (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 106)	22
Kuvio 6. Vaakakuorman aiheuttama kuorman kaltevuus.....	23
Kuvio 7. Vaakakuorman aiheuttaman kuorman epäkeskisyyys (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 106).....	24
Kuvio 8. Boussinesqin teorian jännityslisäysobaarit. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 2008, 213)	26
Kuvio 9. 2:1 menetelmän periaate.....	27
Kuvio 10. Raudoittamattoman anturan dimensiot (SFS-EN1992 2005, 193).	29
Kuvio 11. Epäkeskeisesti kuormitetun pilarianturan pohjapaineen jakautuminen murtorajatilassa	30
Kuvio 12. Pilarianturan lävistys	32
Kuvio 13. Vinohalkeamien mukainen vetovoimamalli (SFS-EN1997 2005, 163).	33

Taulukot

Taulukko 1. Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) EQU (SFS-EN 1997-1 2005, 117).....	51
Taulukko 2. Kuormien (γ_F) ja kuormien vaikutusten (γ_E) osavarmuusluvut STR/GEO (SFS-EN 1997-1 2005, 119).	51
Taulukko 3. Osavarmuusluvut maaparametreille (γ_M) EQU (SFS-EN 1997-1 2005, 119).....	52

Taulukko 4. Osavarmuusluvut maaparametreille (γM) STR/GEO (SFS-EN 1997-1 2005, 119).....	52
Taulukko 5. Antura ja laattaperustusten kestävyys osavarmuusluvut STR/GEO (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 52).....	53
Taulukko 6. Osavarmuusluvut betonille ja betoniteräkselle murtorajatilassa (SFS-EN 1992-1-1 2005, 26).	53
Taulukko 7. Kuormien yhdistelykertoimet (Ympäristöministeriön asetus Eurocode-standardien soveltamisesta talonrakennuksessa 2007, 2).	54
Taulukko 8. Seuraamusluokkien määrittely (SFS-EN 1990 2006, 137).	55
Taulukko 9. K_{FI} -kertoimen määrittely (SFS-EN 1990 2006, 137).	55
Taulukko 10. Betonipeitteen vähimmäisarvon $c_{min,b}$ tartuntavaatimukset (SFS-EN 1992-1-1 2005, 50)	56
Taulukko 11. Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (SFS-EN 1992-1-1 2005, 51)	56
Taulukko 12. Rasitusluokat (SFS-EN 1992-1-1 2005, 48)	57
Taulukko 13. Betonin valinta rasitusluokan mukaan (SFS-EN 1992-1-1 2005, 203). ...	57
Taulukko 14. Betonipeitteen mittapoikkeama Δc_{dev} epätasaisella alustalla (SFS-EN 1992-1-1 2005, 52).	58
Taulukko 15. Ankkurointipituuden pienennyskertoimien arvot (SFS-EN 1992-1-1 2005, 135).....	59

Merkinnät

a_1, a_2	peruspilarin sivumitta suunnassa x ja y
A'	pilarianturan pohjan tehollinen pinta-ala
A_u	on tuen reunasta etäisyydellä 0,5 d olevan leikkauksen pinta-ala (lävis- tyksen yhteydessä)
b_c, b_q, b_y	kertoimet perustuksen pohjan kaltevuudelle
B'	pilarianturan tehollinen leveys
D	perustamissyvyys
d_x, d_y	raudoituksen tehollinen korkeus suunnassa x ja y
e	kuormitusresultantin epäkeskisyys
$G_{kj,inf}$	edullinen (vakauttava) pysyvä kuorma
G_{kj}	pysyvän kuorman ominaisarvo
$G_{kj,sup}$	epäedullinen (kaatava) pysyvä kuorma
h	anturan korkeus
H_d	perustamistason suuntainen mitoitusvaakuorma
K_{FI}	kuormakerroin
i_c, i_q, i_y	kuormitusresultantin vaikutuskertoimet
L'	pilarianturan tehollinen pituus
m	eksponentti kaltevuuskertoimen i kaavassa (kantokestävyys)
m	moduuliluku painumalaskelman yhteydessä
N_d	normaalivoiman laskenta-arvo
N_c, N_q, N_γ	kantavuuskertoimet
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,j}$	muuttuvan kuorman ominaisarvo

ρ_d	pohjapaineen mitoitusarvo
R	kantokestävyyden ominaisarvo murtorajatilassa
R_d	kantokestävyyden mitoitusarvo murtorajatilassa
u	on tuen reunasta etäisyydellä $0,5 d$ olevan leikkauksen piiri (lävistyksen yhteydessä)
w	maan kosteus prosentteina

Kreikkalaiset kirjaimet

α	perustuksen pohjankaltevuus asteina
γ	maan luonnollinen tilavuuspaino
γ_2'	maan tehokas tilavuuspaino vedenpinnan alapuolella
γ_d	maan kuivatilavuuspaino
γ_{sat}	maan kyllästetty tilavuuspaino
γ_c	betonin osavarmuusluku
γ_s	teräksen osavarmuusluku
$\gamma_{R,v}$	antura- ja laattaperustuksen kantokestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{\varphi'}$	leikkauskestävyysskulman osavarmuusluku
φ	leikkauskestävyysskulma

Käsitteet

Geotekninen kantokestävyys

Geoteknisen kantokestävyuden ominaisarvolla tarkoitetaan sitä pohjapainetta, jolla maaperän varmuus murtumista vastaan on 1. Geoteknisen kantokestävyuden mitoitusarvo on pohjapaine, jolla maaperän varmuus murtumista vastaan on riittävä.

Kvalitatiivinen

Laadullinen tutkimus, jonka pohjana käytetään kokemusperäistä tietoa ja oletuksia.

Kvantitatiivinen

Tutkimus, jossa käytetään laskennallisia menetelmiä.

Käyttörajatila

Käyttörajatilassa rakenteen tai rakenneosan toiminnan häiriintyminen heikentävät rakenteen ulkonäköä, säilyvyyttä ja ihmisten mukavuutta, mutta eivät aiheuta välitöntä turvallisuusriskiä rakenteelle.

Murtorajatila

Murtorajatilassa rakenteen sortuminen tai sortumista edeltävä tila aiheuttaa vaaratilanteen ihmisen turvallisuudelle tai omaisuudelle.

1 Lähtökohdat

1.1 Tavoitteet ja aiheen rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää Eurokoodien mukainen etenemismalli maanvaraisten anturoiden mitoitukseen sekä laskentaa helpottavat mitoitus esimerkit Wise Group Finland Oy:n käyttöön.

Tietolähteinä on käytetty eurokoodeja numero 0,2 ja 7 sekä eurokoodien tueksi kehitettyjä suunnitteluohjeita ja oppikirjoja. Geotekniseen suunnittelun perehtyessä on tutustuttu useaan pohjatutkimusraporttiin ja vertailtu niistä saatavia lähtötietoja suunnittelun prosessin kannalta. Kirjallisuuslähteiden lisäksi opinnäytetyötä varten on konsultoitu geoteknisen- ja rakennesuunnittelun ammattilaisia ja selvitetty heidän näkemyksiään maanvaraisten anturoiden mitoitus prosessin kulusta.

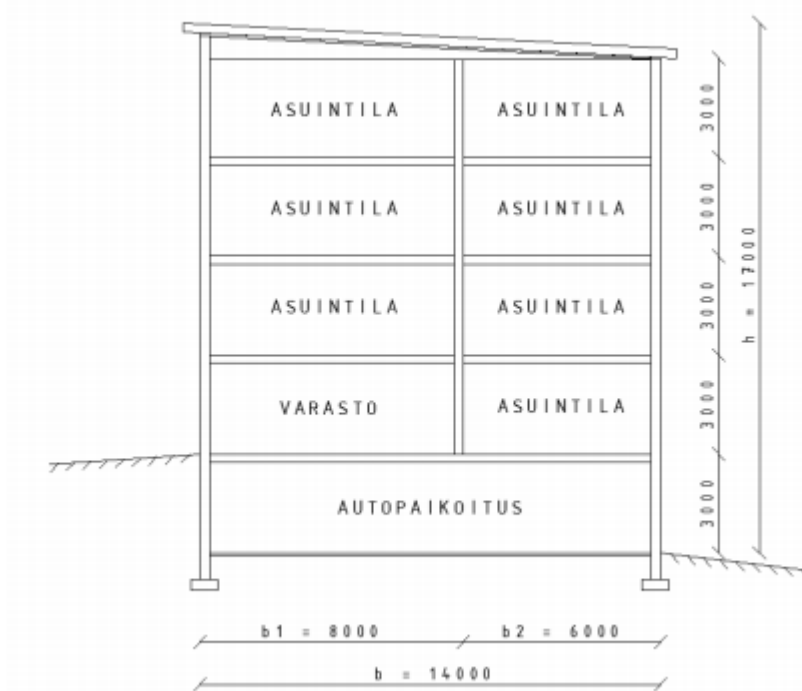
Opinnäytetyössä käsitellään maanvaraisten anturoiden mitoitusta, johon sisältyvät seinä- ja pilarianturat. Työssä tutustutaan maanvaraisten anturoiden geotekniseen ja rakennetekniseen mitoitukseen.

Laskuesimerkeissä sekä teoriaosuudessa käytetyt kaavat ja menetelmät ovat soveltuvia kitkamaalle eli avoimiin olosuhteisiin.

Geoteknisessä mitoituksessa eli maan kantokestävyyden ja painuman laskennan yhteydessä pohjavedenpinnantason oletetaan olevan perustamistasossa tai sen alapuolella.

1.2 Laskentakohteen tiedot

Opinnäytetyön mallilaskelmien esimerkkinä käytetään maanvaraisesti perustettua betonielementtirakenteista kerrostaloa, jossa kantavina rakenteina toimivat ontelolaattakentät, teräsbetoniseinät sekä sandwichelementtiulkoseinät. Kellarikerroksen kantavina rakenteina toimivat pilarit ja palkit sekä toisella pitkällä sivulla kantava maanpainesinä. Rakennuksessa on kellarikerroksen lisäksi neljä maanpäällistä kerrosta ja kerroskorkeus on 3 metriä. Rakennus sijoitetaan oletuksena Keski-Suomeen, jolloin tuulikuormien osalta rakennus kuuluu maastoluokkaan III.



Kuvio 1. Esimerkkirakennus

Liitteessä 1 on esitetty kuvitteelliselta pohjarakennesuunnittelijalta tai pohjatutkijalta saadut lähtöarvot laskuesimerkkeihin.

1.3 Wise Group Finland Oy

Wise Group Finland Oy on vuonna 2010 perustettu rakennusalan suunnittelu-, rakennuttamis-, ja konsultointi palveluita tarjoava yritys. Yritys tarjoaa palveluita uudis- sekä korjauskohteisiin Suomessa, Venäjällä sekä Baltian maissa. Liikevaihto vuonna 2015 oli noin 30 miljoonaa euroa ja yritys työllistää noin 420 talonrakennusalan ammattilaista. (Wise Group Finland n.d.)

Wise Groupin aluetoimistot sijaitsevat Espoossa, Helsingissä, Jyväskylässä, Kouvolassa, Kotkassa, Mikkelissä, Savonlinnassa, Riikassa ja Pietarissa. Jyväskylän aluetoimisto tarjoaa rakennusalan suunnittelu-, rakennuttamis-, ja konsultointipalveluita uudis- ja korjauskohteisiin. Aluetoimisto sijaitsee osoitteessa Kypärätie 4, 40630 Jyväskylä. (Wise Group Finland n.d.)

Jyväskylän aluetoimiston juuret ulottuvat vuoteen 1978 jolloin yritys aloitti toimintansa nimellä Insinööritoimisto Mikko Rajaniemi Oy. Myöhemmin yrityksen nimi vaihtui Insinööritoimisto Controlteam Oy:ksi ja osakekanta siirtyi Wise Group Finland

Oy:n omistukseen huhtikuun lopulla 2014. Vuoden 2015 alussa Insinööritoimisto Controlteam Oy fuusioitui Wise Group Finland Oy:öön.

1.4 Eurokoodit

Opinnäytetyössä käytettävät eurokoodit ovat eurooppalaisia standardeja, jotka koskevat kantavien rakenteiden suunnittelua. Standardien soveltamiseen vaaditaan kyseistä standardia kohti vahvistettu kansallinen liite. Suomessa kansalliset liitteet laatii ympäristöministeriö. (Tietoa eurokoodeista 2014.)

Ympäristöministeriön laatimat asetukset pohjarakenteista ja kantavista rakenteista astuivat voimaan 1.9.2014. Uusien asetusten voimaantulon seurauksena rakentamismääräyskokoelman B-osat kumottiin. (Tietoa eurokoodeista 2014.)

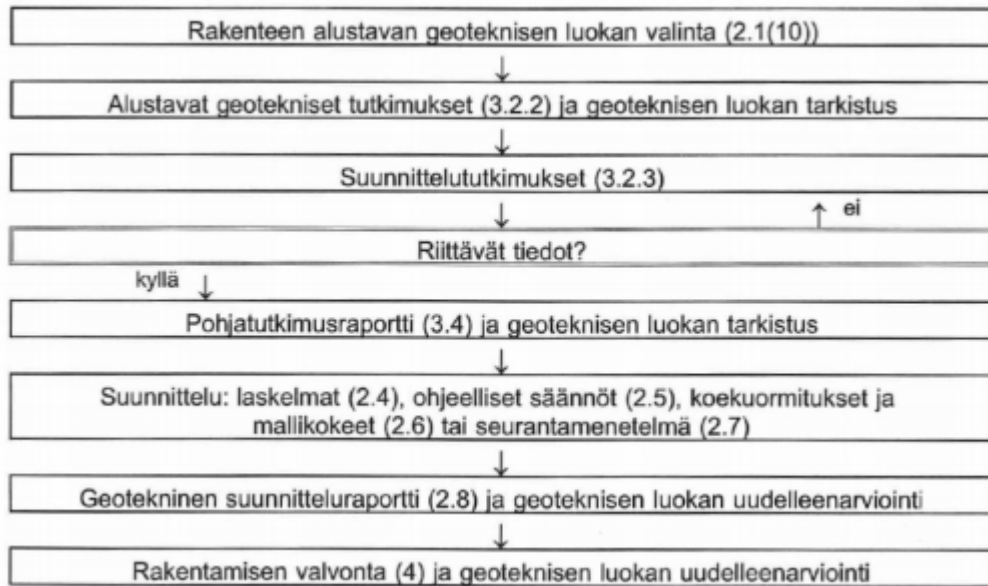
2 Suunnittelun eteneminen

2.1 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimusraportissa ilmoitetaan rakennuspaikkaan liittyen tieto pohjavedestä, rakennuspaikan historia ja geologia, mittaustiedot, tiedot alueen seismisyydestä, kauraustiedot, radonin esiintymismahdollisuus, maalajien routivuus ja geotekniset tiedot maalajikerroksista. (SFS-EN1997-1 2005, 43.)

2.2 Geotekninen suunnittelu

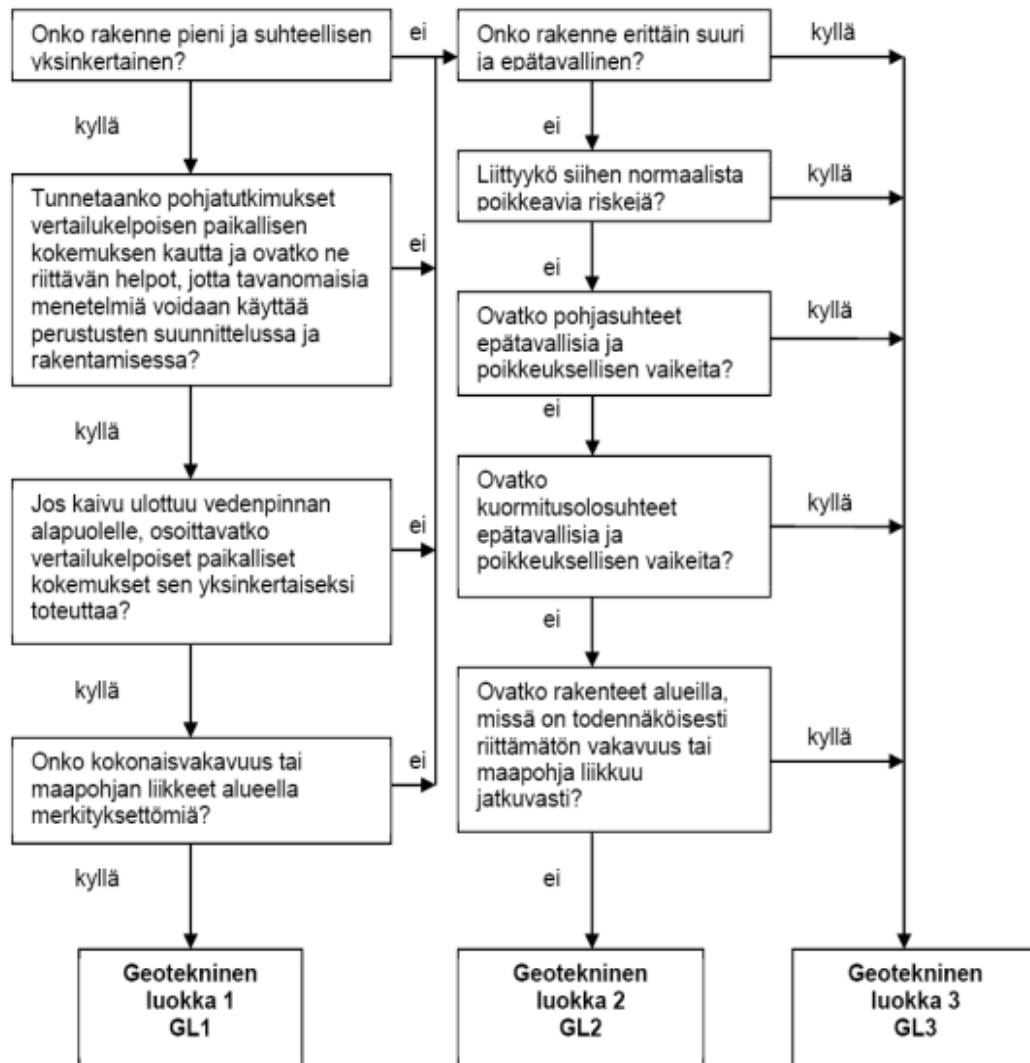
Geoteknisen suunnittelun osalta opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään eurokoodin mukainen suunnittelun etenemismalli ja vertailukohteenä käytetään geoteknisen tehtäväluettelon määrittelemiä suunnittelutehtäviä sekä osa-alueita.



Kuvio 2. Geoteknisen suunnitteluprosessin eteneminen kaaviona (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 30).

Geotekninen luokka

Rakenteen geotekninen luokka valitaan rakenteiden vaativuuden, maapohjan ominaisuuksien, kuormitusten ja riskitason mukaan. Geotekniset suunnittelutehtävät jaetaan vaativuustason mukaan kolmeen luokkaan: GL1 helpot kohteet, GL2 vaativat kohteet ja GL3 erittäin vaativat kohteet. Geoteknisiä luokkia voidaan verrata RakMK:n osan A2 vastaaviin vaativuusluokkiin B, A ja AA, joista AA on vaativin. (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 30-32.)



Kuvio 3. Geoteknisen luokituksen lohkokaavio (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 32).

Geotekniseen luokkaan 1 kuuluvat yksinkertaiset sekä pienet rakenteet, joissa merkittävän riskin mahdollisuus on poissuljettu. Luokan 1 rakenteissa voidaan suunnittelussa käyttää vastaavien kohteiden kokemukseräistä tietoa, kvalitatiivisia tutkimuksia ja rutiinimenetelmiä. (SFS-EN 1997-1 2005, 18.)

Geotekniseen luokkaan 2 kuuluvat tavanomaiset perustus- sekä rakennetyypit, joihin kuuluu muun muassa antura- ja laattaperustukset, paaluperustukset sekä yhtenäiset laattaperustukset. Luokan 2 rakenteiden suunnittelussa tulee käyttää kvantitatiivisia geoteknisiä lähtötietoja sekä analyysejä. (Mts. 18.)

Geotekniseen luokkaan 3 kuuluvat hyvin suuret tai tavanomaisesta poikkeavat rakenteet, seismisesti aktiivisella alueella sijaitsevat rakenteet tai muuten poikkeuksellisten pohjaolosuhteiden alueelle sijoittuvat rakenteet. Luokan 3 rakenteet suunnitellaan pääasiassa geotekninen suunnittelija. (Mts. 19.)

Geotekninen suunnitteluraportti

Geoteknisen suunnittelun perustana on pohjatutkimusraportti, jonka tulee sisältää mitoituksen etenemisen kannalta riittävät lähtötiedot. Geotekninen suunnitteluraportti sisältää rakennuspaikan kuvauksen, pohjaolosuhteet, ehdotetun rakenteen, mitoitusarvot maan ja kallion ominaisuuksille perusteluineen, sovelletut lait ja standardit, selvitykset rakennuspaikan soveltuvuudesta ehdotetulle rakenteelle, hyväksyttävän riskitason, mitoituslaskelmat ja tarvittavat piirustukset sekä suunnittelusuo-ritukset perustuksille. Geoteknisessä suunnitteluraportissa tulee myös esittää perustusten mitoitusarvojen valinta ja rakenteen geotekninen luokka. Pohjatutkimusraportti toimii osana geoteknistä suunnitteluraporttia. (Mts. 33.)

Geoteknisen suunnitteluraportin sisältö sekä laajuus voi vaihdella riippuen suunniteltavasta (Mts. 33).

Eurokoodin mukainen suunnittelu

Rajatilat voidaan eurokoodin mukaan tarkastaa yhdellä tai seuraavien menetelmien yhdistelmällä (ks. kuvio 2):

- Laskelmiin perustuva mitoitus
- Ohjeellisten sääntöjen mukainen suunnittelu
- Kokeelliset mallit ja kuormituskokeet
- Seurantamenetelmät

(SFS-EN1997-1 2005, 17.)

Laskelmiin perustuvassa geoteknisessä mitoituksessa otetaan huomioon kuormat, materiaalien ominaisuudet, mittatiedot, raja-arvot muodonmuutoksille ja laskentamallit. Laskentamallina voidaan käyttää analyyttistä, puolikokeellista tai numeerista mallia. (Mts. 20-32.) Laskelmiin perustuva mitoitus on edellä esitellyistä menetelmistä luotettavimman tuloksen antava ja sitä käytetään opinnäytetyössä mitoitusperusteiden määrittelyn ja geoteknisen mitoituksen yhteydessä.

Ohjeellisten sääntöjen mukaista mitoitusta voidaan käyttää mitoitustilanteessa, jossa laskentamallia ei ole käytettävissä tai se on tilanteessa tarpeeton. Mitoituslaskelmien sijaan käytetään vertailukelpoista kokemusta. Ohjeellisten sääntöjen mukaista menetelmää käytetään rakenteen säilyvyyden ja roudan vaikutusten tarkastelussa, jolloin mitoitustilanteet eivät ole tarpeellisia. (Mts. 32.)

Kokeellisten mallien ja kuormituskokeiden käytössä tulee ottaa huomioon pohjaolosuhteiden eroavaisuudet kokeellisen tuloksen ja todellisen rakenteen välillä, kokeen kestoajan suhde todelliseen kuormituksen kestoajaan ja mittakaavan vaikutus, jos koekuormitus tehdään todellista rakennetta pienemmälle mallirakenteelle. (Mts. 32.)

Seurantamenetelmää voidaan käyttää tapauksissa, joissa rakenteen geoteknisen käyttäytymisen ennustaminen on haastavaa. Seurantamenetelmässä suunnittelu tarkastetaan toistamiseen rakennusaikana. Ennen rakentamisen aloitusta seuraavien vaatimusten tulee täytyä: rajat rakenteen sallitulle käyttäytymiselle on määritetty, käyttäytymisen vaihtelualue on arvioitu ja osoitettu, että käyttäytyminen tapahtuu hyväksytyissä rajoissa. Menetelmän tueksi laaditaan seurantasuunnitelma, jonka avulla voidaan osoittaa rakenteen käyttäytymisen pysyvän sallituissa rajoissa. Rajojen ylitystä varten on laadittava suunnitelma korjaaville toimenpiteille. (Mts. 32-33.)

Geoteknisen suunnittelun tehtäväluettelo (GEO 12)

Geotekninen tehtäväluettelo avulla voidaan määrittää geoteknisen suunnittelun tehtävien sisältö ja laajuus. Tehtäväluettelo toimii osana suunnittelusopimusta ja selkeyttää suunnittelun vastuurajoja. (RT 10-11127 2013, 1.)

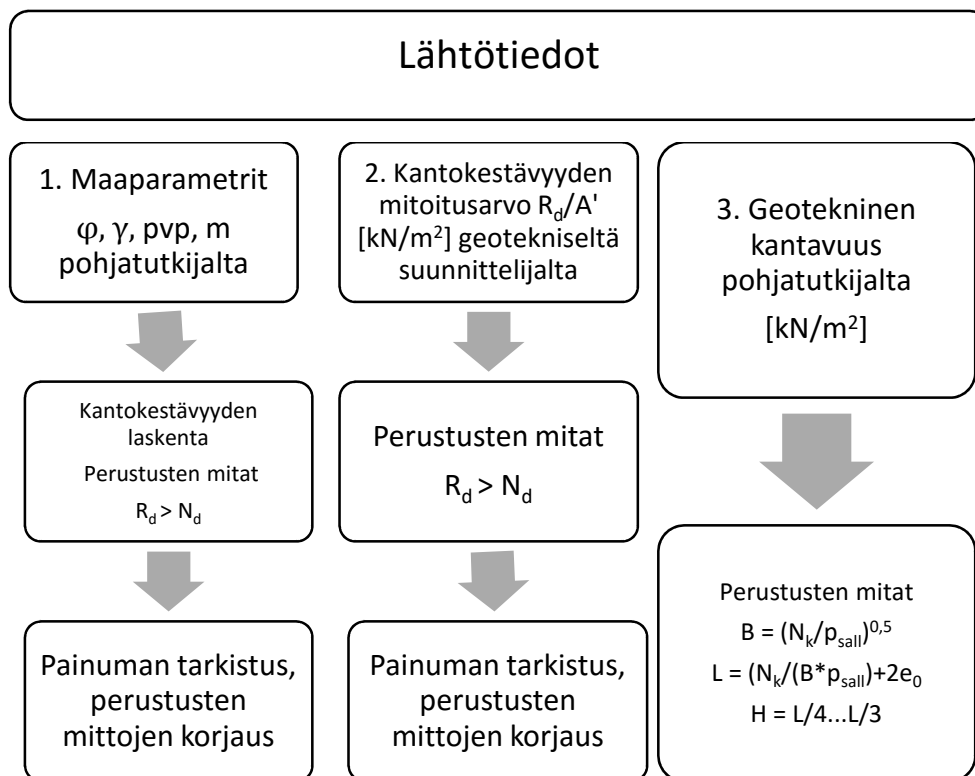
Geoteknisen suunnittelun tehtäväluettelon mukaan geoteknisen suunnittelijan vastuulle kuuluu suunnittelutehtävän vaativuusluokan määrittely, suunnittelijan kelpoisuuden määrittely suunnittelutehtävään, riittävien pohjatutkimusten suorittaminen ja analysointi. Geoteknisen suunnittelijan tulee tehtäväluettelon mukaan ilmoittaa perustamistapa- tai pohjatutkimuslausunnon yhteydessä muun muassa perustamistapa ja alapohjan maarakenteet, maapohjan vahvistaminen, putkijohtojen perustaminen, rakennuspohjan kuivatus ja hulevedet sekä kaivuun liittyvät suunnitelmat. (RT 10-11127 2013, 3,8.)

Geoteknisen suunnittelun tehtäväluettelo on yhdenmukainen eurokoodin kanssa lu-
kuun ottamatta perustusten mitoitusarvon valintaa, jota ei ole suoraan tehtäväluet-
telossa mainittu.

2.3 Rakennetekninen suunnittelu

Rakennetekniseen mitoitukseen kuuluu lävistys-, taivutus-, leikkauskestävyys sekä
raudoituksen ankkurointi ja halkeamaleveyden tarkistus.

Eurokoodien myötä geoteknisen ja rakenneteknisen suunnittelun tehtäväjako on
käynyt epäselväksi muuttuneiden lähtötietojen ja laskentamenetelmien johdosta.
Lähtötiedot on listattu suunnittelun etenemiskaavioon (ks. kuvio 4) eurokoodimyön-
teisimmän lähtötiedon mukaan.



Kuvio 4. Suunnitteluprosessin eteneminen eri lähtötiedoilla

Opinnäytetyön teoriaosuudessa esitellään suunnittelun eteneminen maaparametrien
ollessa lähtötietona. Liite-osiossa esitellään perusteellisemmat esimerkkilaskelmat
kaikilla lähtötietovaihtoehdoilla.

Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo (RAK12)

Rakennesuunnittelun tehtäväluettelossa määritellään rakennesuunnitteluun kuuluvat tehtävät, niiden sisältö ja suunnittelutehtävien laajuus. (RT 10-11128 2013, 1.)

Maanvaraisten perustusten suunnitteluun liittyen tehtäväluettelossa määritellään rakennesuunnitteluun seuraavat suunnittelutehtävät: anturoiden geometria, materiaalit ja raudoitusperiaatteet. (Mts. 13). Tehtäväluettelon mukaan anturan geometrian määrittäminen kuuluu siis rakennesuunnitteluun ja tästä seuraten kantokestävyyssuunnittelun sekä painuman tarkastuksen suorittaa rakennesuunnittelija.

3 Mitoitusperusteet

3.1 Rajatilat

Eurokoodien mukainen mitoitus perustuu rajatilamenetelmään, jossa käytetään osavarmuuslukumenettelyä. Rajatilamitoituksessa varmistetaan, ettei rakenne joudu rajatilaan missään mitoitusilanteessa. Rajatilamitoitus voidaan jakaa käyttö- ja murto-rajatilojen tarkistukseen. Mitoitusilanteet maanvaraisen anturan mitoituksen yhteydessä käsitellään normaalisti vallitsevina ja tilapäisinä. (SFS-EN 1990 2006, 184.)

Käyttörajatila

Geoteknisessä mitoituksessa staattisen tasapainon osoittaminen rajoittuu pääasiassa jäykkiin perustuksiin kallion päällä. Rakenneteknisessä mitoituksessa tarkasteltavia käyttörajatiloja ovat halkeamaleveysrajatila ja taipumarajatila. (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013, 20; Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 47.)

Murtorajatila

Maanvaraisen anturan geoteknisessä mitoituksessa tarkastetaan, etteivät seuraavat rajatilat ylity

EQU Rakenteen tai maapohjan tasapainotilan menetys, kun rakennetta tarkastellaan jäykän kappaleen muodossa. Rakennemateriaalien ja maapohjan lujuudet ovat merkityksettömiä kestävyysaikaansaamisessa.

- STR Rakenteen tai rakenteellisten osien sisäinen murtuminen tai liiallinen muodonmuutos, esimerkiksi perustoilla, paaluilla ja kellarinseinillä. Rakennemateriaalien lujuus vaikuttaa merkittävästi kestävyden aikaansaantiin.
- GEO Rakennuspohjan murtuminen tai liiallinen muodonmuutos. Merkittävänä tekijänä kestävyden aikaansaamisessa on maan tai kallion lujuus
- Maanvaraisen anturan rakenneteknisessä mitoituksessa tarkasteltavia murtorajatiiloja ovat taivutusmurto, leikkausmurto ja lävistysmurto. (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. 2013, 20; Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunniteluohje 2009, 45.)

3.2 Mitoitustavat

Eurokoodissa esitetään kolme mitoitustapaa, joista Suomalaisen kansallisen liitteen mukaan mitoitustapaa 1 ei käytetä Suomessa (Jääskeläinen 2009, 346).

Mitoitustavassa 2 osavarmuusluvut kohdistuvat kuormiin tai kuormien vaikutuksiin sekä maan kestävyteen. Mitoitustavassa 2 voidaan käyttää kahta vaihtoehtoista menetelmää: DA2 tai DA2*. (SFS-EN 1997-1 2005, 127)

Mitoitustavassa DA2 kuormien ominaisarvot muutetaan mitoitusarvoiksi heti laskennan alussa kertomalla ne osavarmuusluvuilla. Mitoitustapaa DA2 on suositeltavaa käyttää erityisesti sellaisten maanvaraisten anturoiden mitoituksessa, joissa vaikuttaa suuri vaakakuorma. (Mts.127.)

Mitoitustavan DA2* mukaan kaikki pysyvät kuormat otetaan epäedullisina ja laskelma suoritetaan murtorajatilaehtoon asti ominaisarvoilla. Osavarmuusluvut otetaan mitoitustavassa DA2* mukaan laskelman lopussa kestävyden eli murtorajatilaehdon tarkistuksessa. (Mts. 128.)

Mitoitustavassa DA2* epäkeskisyydelle on annettu seuraavat raja-arvot

$$\begin{cases} e_B < \frac{B}{3} \\ e_L < \frac{L}{3} \end{cases}$$

Geotekninen suunnittelija saa valita kumpaa mitoitusastapaa (*DA2 vai DA2**) kohteen laskennassa käyttää, mitoitusastapojen välisiä vertailulaskelmia ei tarvitse tuottaa. (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 53.)

Mitoitusastavan 2 yhdistelmä

A1 "+" M1 "+" R2

jossa

A1 osavarmuusluvut kuormille (ks. taulukko 2)

M1 osavarmuusluvut maaparametreille (ks. taulukko 4)

R2 osavarmuusluvut kestävyyksille (ks. taulukko 5)

"+" osavarmuuskertoimien yhdistämiselle käytetty merkintä

Mitoitusastapaa 3 voidaan käyttää luiskien ja kokonaisvakavuuden mitoitukseen. (Mts. 53.) Mitoitusastapaa 3 ei käytetä tässä opinnäytetyössä.

3.3 Osavarmuusluvut

Osavarmuuslukuja käytetään rajatilamenetelmän yhteydessä, kun osoitetaan ettei rajatilan mukaisia kuormia ylitetä missään mitoitusastanteessa. Mitoituksessa käytetään kuormien tai kuormien vaikutusten sekä kestävyyksien mitoitusarvoja. Kuormien mitoitusarvot saadaan kertomalla ominaisarvot osavarmuusluvulla ja kestävyyksien mitoitusarvot saadaan osavarmuusluvuilla jakamalla. (SFS-EN 1997-1 2005, 117-121).

Osavarmuuslukuja käytetään eurokoodin mukaisesti kuormiin tai kuormien vaikutuksiin (*A*), maaparametreihin (*M*) ja kestävyysiin (*R*) (Mts. 117-121).

Staattinen tasapainorajatila (EQU)

Staattisessa tasapainorajatilassa kuormille käytetään osavarmuuslukuja riippuen kuorman edullisuudesta tai epäedullisuudesta rakenteelle. Edulliset eli vakauttavat kuormat otetaan ominaisarvoa pienempinä kuormina. Epäedulliset eli kaatavat kuormat otetaan ominaisarvoa suurempina kuormina, jossa huomioidaan luotettavuusluokan K_{FI} -kertoimen vaikutus. Vakauttavat kuormat ovat usein rakenteiden omasta

painosta aiheutuvia, rakenteelle edullisia kuormia. Rakenteen hyötykuormia ja luonnonkuormia ei oteta huomioon, mikäli ne ovat rakenteelle edullisia. (Mts. 117-118.)

Rakenteellinen rajatila (STR) ja geotekninen rajatila (GEO)

Rakenteellisessa ja geoteknisessä rajatilassa käytetään liitteiden 7, 8 ja 9 mukaisia osavarmuuslukuja. Rajatiloissa pysyvät edulliset kuormat otetaan ominaisarvoa pienempinä kuormina ja pysyvät epäedulliset kuormat ominaisarvoa suurempina kuormina ottaen huomioon K_{FI} -kertoimen vaikutus. Muuttuvat kuormat otetaan huomioon vain epäedullisina kuormina. (Mts. 118-119.)

Kuormien yhdistelykertoimet

Kuormien yhdistelykertoimilla otetaan huomioon muuttuvien kuormien samanaikaisen esiintymisen epätodennäköisyys pienentämällä kuormien vaikutusta. Kuormien yhdistelykertoimet on esitetty liitteessä 10.

K_{FI} -kerroin

Kuormakerroin K_{FI} vaikuttaa osavarmuuslukuihin epäedullisten kuormien laskennassa murtorajatilassa. K_{FI} -kerroin valitaan seuraamusluokkaa vastaavaan luotettavuusluokan (RC) mukaan liitteen 11 mukaisesti.

3.4 Kuormitusyhdistelmät

Käyttörajatila

Anturamitoituksessa tarkasteltavia käyttörajatiloja ovat halkeamaleveysrajatila ja taipumarajatila. (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013, 20.)

Käyttörajatilan ominaisyhdistelmää voidaan käyttää palautumattomille muodonmuutoksille, tavallista yhdistelmää palautuville rajatiloille ja pitkäaikaisyhdistelyä käytetään pidempiaikaisille vaikutuksille, jotka vaikuttavat rakenteen tai rakennuksen ulkonäköön. (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2008, 35.)

Käyttörajatilan ominaisyhdistely

$$G_{kj,sup} + G_{kj,inf} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (1)$$

Käyttörajatilan tavallinen yhdistely

$$G_{kj,sup} + G_{kj,inf} + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (2)$$

Käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistely

$$G_{kj,sup} + G_{kj,inf} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \times Q_{k,i} \quad (3)$$

Murtorajatila

Rakennneosien kestävyiden sekä geoteknisen kantavuuden rajatiloissa käytetään opinnäytetyössä mitoitustavan DA2 mukaisia osavarmuuslukuja ja kuormitusyhdistelyjä, koska mitoitustavan käytössä ei ole rajoituksia epäkeskisyydelle.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä, kaava 6.10a

$$1,35K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} \quad (4)$$

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä, kaava 6.10b

$$1,15K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (5)$$

3.5 Maaperän ominaisuudet

Tilavuuspaino

Geoteknisen kantokestävyyden ja painuman laskennassa anturan alapinnan yläpuolella käytetään maan luonnollista tilavuuspainoa (γ) ja pohjavedenpinnan alapuolella käytetään maan tehokasta tilavuuspainoa (γ'), joka laskuesimerkeissä vastaa myös anturan alapinnan tasoa.

Tehokas tilavuuspaino eli tilavuuspaino veden alla

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (6)$$

Kyllästetty tilavuuspaino

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + n\gamma_w \quad (7)$$

Maan kuivatilavuuspaino

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} \quad (8)$$

Leikkauskestävyysskulma

Leikkauskestävyysskulman suuruus vaikuttaa geoteknisen kantokestävyyden laskennassa kantavuuskertoimien (N_B , N_C , N_D) arvoihin. Leikkauskestävyysskulman tarkkuuden ilmaisu vaikuttaa huomattavimmin kantavuuskertoimien arvoihin kitkakulman ollessa yli 35 astetta. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 2008, 177.)

Leikkauskestävyysskulman arvona tulisi pohjavedenpinnan alapuolella käyttää noin 2 astetta pienempää arvoa (Helenelund 1967, 73).

4 Geotekninen mitoitus

4.1 Geotekninen kantokestävyys

Geoteknisen kantokestävyyden yhteydessä käytetään lähteestä riippuen eri termistöä. Kantokestävyys on määritelty eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohjeessa kantavuudeksi joko käyttö- tai murtorajatilassa. Suunnitteluohjeessa kantokestävyyden mitoituservona esitellään kantokestävyyden ominaisarvo ($\frac{R}{A'}$) ja murtotilan kantokestävyydestä (R_d) käytetään termiä kestävyyden mitoituservo. (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 24, 196-197).

Jääskeläinen (2011, 355) käyttää geoteknisestä kantokestävyydestä termiä laskennallinen kantokestävyys ($\frac{R_d}{A'}$). Jääskeläisen (2011, 226) mukaan kantokestävyys on mitoituservo, jossa on varmuus vain murtumista vastaan. Kestävydestä käytetään myös termiä kantokyky.

Geoteknistä kantokestävyyttä ei tule sekoittaa termiin geotekninen kantavuus, joka ottaa huomioon maapohjan murtumisen lisäksi myös painumat. Geoteknisestä kantavuudesta käytetään suunnittelijoiden kesken myös termiä sallittu pohjapaine.

Kantokestävyyden laskentaan tarvitaan lähtötiedoiksi leikkauskestävyysskulma, perustamissyvyys, anturan muoto ja mitat, pohjavedenpinnantasot, tilavuuspainot ja kuormat.

Mitoitusehto kantokestävyydelle

$$N_d \leq R_d \tag{9}$$

Kantokestävyyden laskenta-arvossa ominaisarvo on jaettu kantokestävyyden osavarmuusluvulla

$$\frac{R_d}{A'} = \frac{R}{\gamma_R} \quad (10)$$

Kantokestävyyden ominaisarvo perustuksen tehokasta pinta-alayksikköä kohden

$$\frac{R}{A'} = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma'_2 B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (11)$$

Jos perustuksen pohja on vaakatasossa ja rakennus perustetaan kitkamaalle, kantokestävyyden ominaisarvo sievenee muotoon

$$\frac{R}{A'} = q'N_q s_q i_q + 0,5\gamma'_2 B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (12)$$

Perustamistason yläpuolisten maakerrosten aiheuttamaan jännitykseen vaikuttaa perustamissyvyys sekä maan tehokastilavuuspaino anturan alapuolella.

$$q' = \gamma'_2 D \quad (13)$$

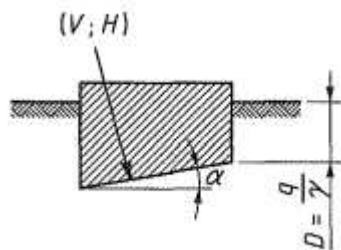
Kertoimet kantokestävyydelle lasketaan leikkauskestävyysskulman avulla

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (14)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (15)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi \quad (16)$$

Perustuksen pohjan kaltevuuksille on asetettu eurokoodissa kertoimet. Tavallisissa tapauksissa perustuksen pohja on vaakatasossa ($\alpha=0$), joten kertoimet pohjankaltevuuksille saavat arvon 1 eivätkä vaikuta kantokestävyyden laskenta-arvoon (ks. kuvio 5).



Kuvio 5. Perustuksen pohjan kaltevuus. (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 106)

Kertoimet perustuksen muodolle, kun muotona suorakaide

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \varphi \quad (17)$$

$$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad (18)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B'}{L'} \quad (19)$$

Jatkuvalla seinänturalla $\frac{B'}{L'}$ on likimain 0, joten perustuksen muodon kertoimille käytetään arvoa 1 (Jääskeläinen 2011, 355).

Pilarianturan muotokertoimien laskennassa kertoimet vaihtelevat riippuen siitä, onko antura suorakaide vai neliö tai ympyrä. Neliölle tai ympyrällä kaavat ovat muuten samat, mutta $\frac{B'}{L'}$ arvon voi korvata arvolla 1

Tekijän m-arvoa käytetään kuorman kaltevuuden laskennassa.

Kun vaakakuorma vaikuttaa suunnassa B'

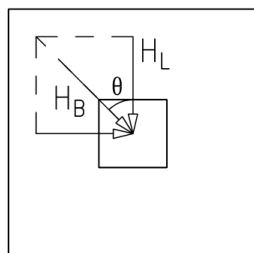
$$m_B = \frac{(2 + \frac{B'}{L'})}{(1 + \frac{B'}{L'})} \quad (20)$$

Kun vaakakuorma vaikuttaa suunnassa L'

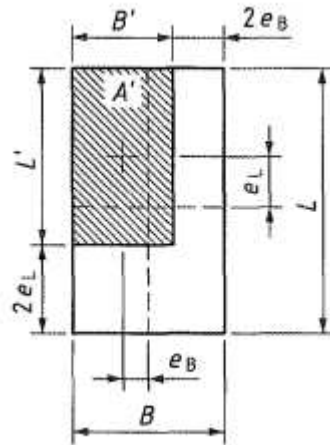
$$m_L = \frac{(2 + \frac{L'}{B'})}{(1 + \frac{L'}{B'})} \quad (21)$$

Jos vaakakuormien vaikutus ei kohdistu kohtisuoraan kumpaakaan anturan sivua vastaan saadaan m-arvo kaavasta 22 (ks. kuvio 6)

$$m = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \quad (22)$$



Kuvio 6. Vaakakuorman aiheuttama kuorman kaltevuus



Kuvio 7. Vaakakuorman aiheuttaman kuorman epäkeskisyys (Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 106).

Kertoimet vaakakuorman aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle

$$i_q = 1 - \left(\frac{H_k}{V_{kA'} c \cot \varphi} \right)^m \quad (23)$$

$$i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_c \tan \varphi} \quad (24)$$

$$i_\gamma = 1 - \left(\frac{H_k}{V_{kA'} c \cot \varphi} \right)^{m+1} \quad (25)$$

4.2 Painuma

Maanvaraisten anturoiden painuma koostuu neljästä eri painumalajista seuraavan kaavan mukaan

$$s = s_i + s_k + s_T + s_s \quad (26)$$

jossa

s_i = alkupainuma

s_k = konsolidaatiopainuma

s_T = sivusiirtymien aiheuttama painuma

s_s = jälkipainuma

Sivusiirtymistä aiheutuvia painumia ei juuri esiinny. Sivusiirtymien aiheuttavassa painumassa maan jännitystila on lähellä murtotilaa, eikä käytännön varmuudet mahdollista tällaisen tilan syntymistä. Kyseiselle painumalajille ei myöskään löydy luotettavaa laskentamenetelmää. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 1979, 207.)

Jälkipainumat syntyvät vasta konsolidaatiopainumien loppuvaiheilla, mikä tarkoittaa käytännön tasolla useita vuosia tai vuosikymmeniä. Jälkipainuma on tästä johtuen vähäinen, eikä sitä usein huomioida laskennassa. (Mts. 207.)

Alkupainuma on kimmoisa painuma, joka aiheutuu leikkausmuodonmuutoksista maapohjan kuormituksessa. Alkupainumalla ei usein ole merkitystä painuman laskennan kannalta, sillä alkupainumat tapahtuvat yleensä jo rakennusaikana. (Mts. 207.)

Konsolidaatiopainuma aiheutuu rakennuspohjan tiivistymisen seurauksena, jolloin maan vesipitoisuus ja huokostilavuus pienenevät. Kokonaiskonsolidaatiopainuma lasketaan jännityslisäyksen synnyttämän kokoonpuristuvuuden ja maakerroksen paksuuden avulla kerroksellisissa maissa seuraavalla tavalla. (Mts. 209-211.)

$$s_k = \sum_{i=1}^n \epsilon_i H_i \quad (27)$$

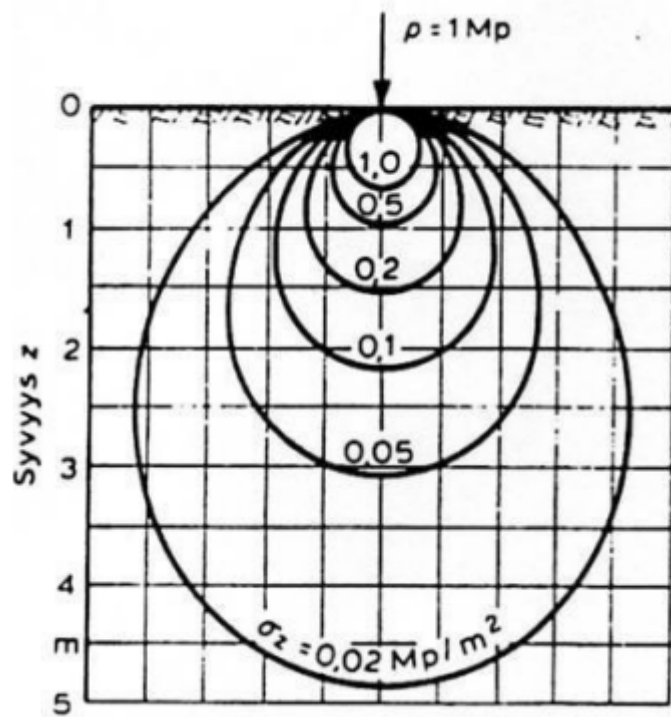
jossa

ϵ_i = jännityslisäyksen synnyttämä kokoonpuristuma

H_i = maakerroksen paksuus

Jännityslisäyksen synnyttämän kokoonpuristuman laskemista varten tulee selvittää pystysuoran jännitystilän muutos ja maan käyttäytyminen edellä mainitun jännitystilän muutosalueella. Laskentaa varten on kehitetty useita menetelmiä kuten tangenttimoduulimenetelmä, kokoonpuristuvuusindeksimenetelmä ja sekanttimoduulimenetelmä. (Mts. 212.)

Jännityksen jakautuminen voidaan laskea Boussinesqin kimmoteoriaan perustuvan menetelmän avulla. Boussinesqin menetelmässä maaperä oletetaan äärettömäksi, tasalaatuiseksi puoliavaruudeksi, eli maa oletetaan homogeeniseksi materiaksi, joka käyttäytyy nesteen tavoin. Boussinesqin kaavalla lasketaan pystyjännityksen suuruus syvyydellä z . (Jääskeläinen 2009, 151.)



Kuvio 8. Boussinesqin teorian jännityslisäysoabaarit. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 2008, 213)

Boussinesqin kaava, pystysuora jännitys syvyydellä z

$$\Delta\delta_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \cos\beta^5 \quad (28)$$

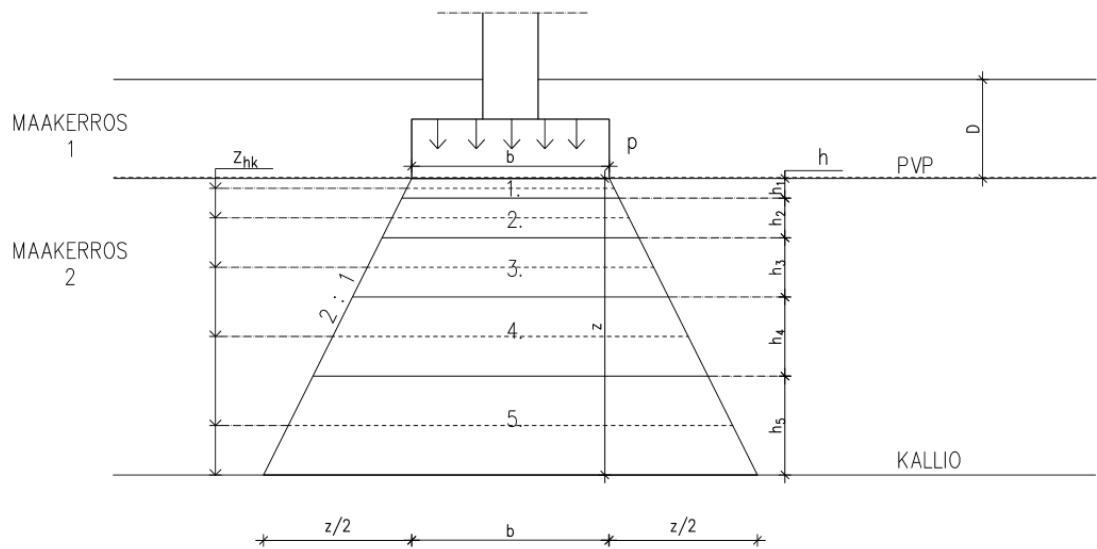
jossa

P = pistejännitys

β = kulma pystysuoraan linjaan nähden

z = tarkastelussa olevan pisteen syvyys

2:1 menetelmä



Kuvio 9. 2:1 menetelmän periaate

Painuman laskennassa voidaan käyttää käsilaskentamenetelmänä 2:1 menetelmää, jossa jännityksen oletetaan jakautuvan maahan kaltevuudessa 2:1 (Jääskeläinen 2011, 148.) Jääskeläisen (2011, 148) mukaan menetelmä on yksinkertainen, mutta antaa siitä huolimatta yllättävän hyviä tuloksia jännityksen jakautumiselle.

Kun paine on maan pinnassa, kuormitusalan toimii suorakaide ja laskettava antura on jäykkä, voidaan jännitys laskea seuraavalla kaavalla

$$\sigma_z = \frac{pab}{(a+z)(b+z)} \quad (29)$$

Likiarvomenetelmää ei ole suositeltava käyttää taipuville laatoille. Likiarvomenetelmän mukainen laskenta antaa jonkin verran suuremmat anturakoot neliölaatalle ja pitkänomaiselle laatalle, mutta taipuisalla laatalle päinvastoin huomattavasti pienemmän painuman sekä anturakoot. (Mts. 149.)

5 Rakennetekninen mitoitus

5.1 Yleistä

Vähimmäisvaatimuksia anturaperustukselle on

- Minimiperustussyvyys 0,5 metriä
- Minimileveys 0,3 metriä seinäanturalle
- Minimikoko 0,4 x 0,4 neliometriä pilarianturalle

(Geotekninen suunnittelu: eurokoodin EN1997-1 suunnitteluohje 2009, 99).

Ensimmäisenä tulee tarkastaa, voidaanko antura toteuttaa raudoittamattomana.

Raudoittamattoman anturan korkeuden tulee tarpeeksi suuri, jotta betoni kestää taiputus- ja lävistysleikkausrasituksen.

5.2 Raudoittamaton antura

Anturan korkeus

Antura voidaan eurokoodin mukaan suunnitella raudoittamattomana, jos sen korkeus täyttää kaavan (30) mukaisen ehdon

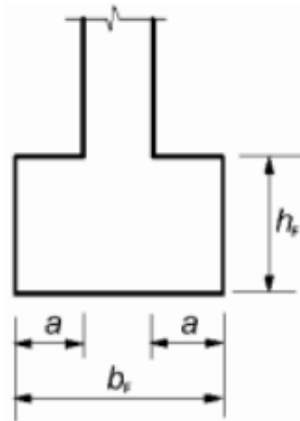
$$\frac{0,85h_f}{a} = \sqrt{\frac{3p_d}{f_{ctd,pl}}} \quad (30)$$

Vaaditun korkeuden laskentaan on mahdollista käyttää myös yksinkertaistettua ehtoa kaavan (31) mukaan

$$h_f \geq 2a \quad (31)$$

Vaaditun korkeuden tulee täyttää myös seuraavat ehdot

$$h_f = \begin{cases} \geq 1,2a & \text{karkearakeinen maa} \\ \geq 1,7a & \text{hienorakeinen maa} \end{cases} \quad (32)$$



Kuvio 10. Raudoittamattoman anturan dimensiot (SFS-EN1992 2005, 193).

5.3 Raudoitettu antura

Anturan korkeus

Geoteknisen kantokestävyyden yhteydessä ja painuman tarkastuksen yhteydessä on saatu pilarianturan pohjan mitat tai seinäanturan leveys. Raudoitettun anturan korkeus voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$h = \frac{b}{3..4} \quad (33)$$

jossa b on sivumitta taivutuksen suuntaan

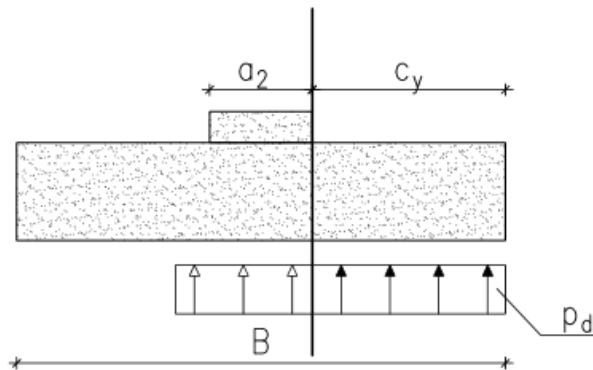
Taivutus

Pilarianturan taivutusmitoituksessa raudoitus voidaan laskea tarkastelemalla anturaa palkkina tai laattana. Raudoitus mitoitetaan taivuttavan suunnan mukaan. Taivutus tulee tarkastella molempiin suuntiin, jos pilarianturan muoto ei ole neliö tai pilarianturaan kohdistuu kahden eri akselin suhteen epäkeskinen normaalivoima. Epäkeskinen normaalivoiman tapauksessa käytetään yhdistettyjä rasituksia. (RIL 125 Teräsbetonirakenteet 1986, 395.)

Taivutusraudoituksen laskentaa varten momentti voidaan laskea ulokeperiaatteella ja kuormana käytetään mitoittavaa pohjapainetta anturan alapuolella, jonka oletetaan tasan jakautuneeksi.

Pilarianturan mitoittava taivutusmomentti

$$m_{Ed} = p_d \frac{(c_y)^2}{2} \quad (34)$$



Kuvio 11. Epäkeskeisesti kuormitetun pilarianturan pohjapaineen jakautuminen murtorajatilassa

Seinäanturan mitoittava taivutusmomentin laskenta riippuu yläpuolella olevan rakenteen liitoksesta anturaan. Jäykkänä liitoksena voidaan pitää paikallavaletun muurin, peruspultein kiinnitetyn tai paikallavaletun pilarin liitoksia. Tiiliseinien ja sokkelielementtien liitoksia ei voida pitää jäykinä. (Leskelä 2008, 447.)

Seinäanturan taivutusmomentin laskenta on riippuvainen anturaan liittyvästä yläpuolisesta rakenteesta. Kaavan merkintöjen arvoina käytetään kuvion 10 mukaisia dimensioita

$$m_{Ed} = \begin{cases} \frac{p_d a^2}{2}, & \text{kun liitos on jäykkä} \\ \frac{p_d b f^2}{8}, & \text{kun liitos ei ole jäykkä} \end{cases} \quad (35)$$

Vaadittu teräsala saadaan kaavasta (36)

$$A_{s,vaad} = \omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b d \quad (36)$$

Pääraudoituksen vähimmäisala saadaan kaavasta (37)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * B * c_y \\ 0,0013 * B * c_y \end{array} \right. \quad (37)$$

Toteutuva raudoitusala on suuremman raudoitusalan antava vaaditun ja minimi-raudoituksen välillä saadaan kaavasta (38)

$$A_{s,tot} = \max \begin{cases} A_{s,vaad} \\ A_{s,min} \end{cases} \quad (38)$$

Pitkittäisterästen lasketaan kaavalla (38) tai (39). Kaavaa (39) voidaan käyttää suhteellisen hyvin kantavalla kitkamaalla. Pehmeällä maapohjalla pitkittäinen minimi-raudoitus kaavan (38) mukaan. Pitkittäisterästen tankojen jakovälinä voidaan käyttää enintään 450 mm.

$$A_{st} = 0,2A_{s,tot} \quad (39)$$

Lävistys

Eurokoodi 2:n kansallinen liite ohjeistaa lävistysmitoituksen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 ohjeen mukaan. Lävistysmitoitusta ei toistaiseksi tehdä standardin EN 1992-1-1 mukaan, koska standardin mukaan murtokartion (ks. kuvio 13) kaltevuudeksi oletetaan $26,7^\circ$ mikä johtaa pilarianturoilla todellista pienempiin kuormiin. Lävistyskuorma muodostuu murtokartion ulkopuolella vaikuttavasta maanpaineesta ja lävistyspiiri muodostuu murtokartion keskelle. (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014, 194.)

Lävistyksen laskenta-arvoa laskettaessa voidaan pohjapaineesta vähentää suoraan peruspilarin alapuolelta ja etäisyydellä d olevilta alueilta, ks. kuvio 12.

Mitoitusehto lävistykselle

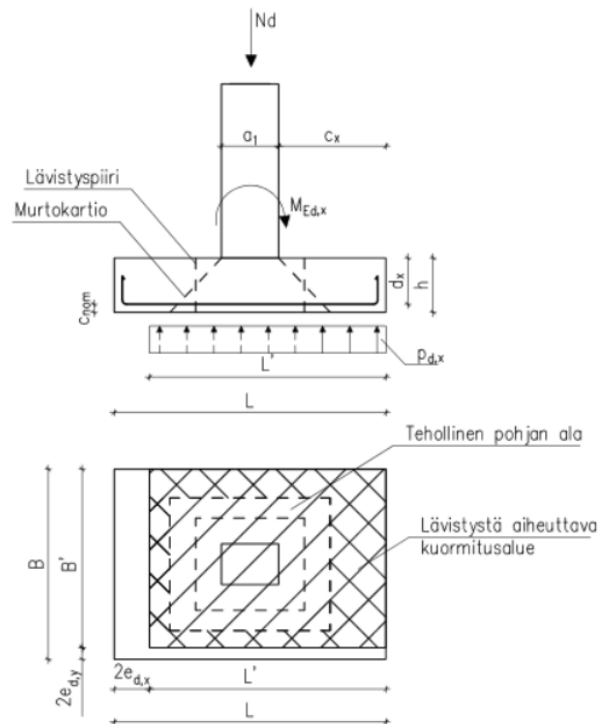
$$V_{d,läv} < V_c \quad (40)$$

Lävistyskuorman mitoitusarvo on anturan alapinnan tehokkaalla alalla vaikuttavan pohjapaineen arvo

$$V_{d,läv} = p_d A' \quad (41)$$

Lävistyskestävyys

$$V_c = k\beta(1 + 50\rho)udf_{cta} \quad (42)$$



Kuvio 12. Pilarianturan lävistys

Leikkaus

Pilarianturat mitoitetaan yleisesti lävistykselle leikkauksen sijaan, joten leikkausta ei tarkasteta pilarianturan mitoituksen yhteydessä.

Seinänturan leikkauskestävyyttä laskettaessa voidaan soveltaa leikkausraudoittamattoman laatan mitoituskaavoja.

Leikkauksen mitoitusehto

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} \quad (43)$$

Leikkausvoima

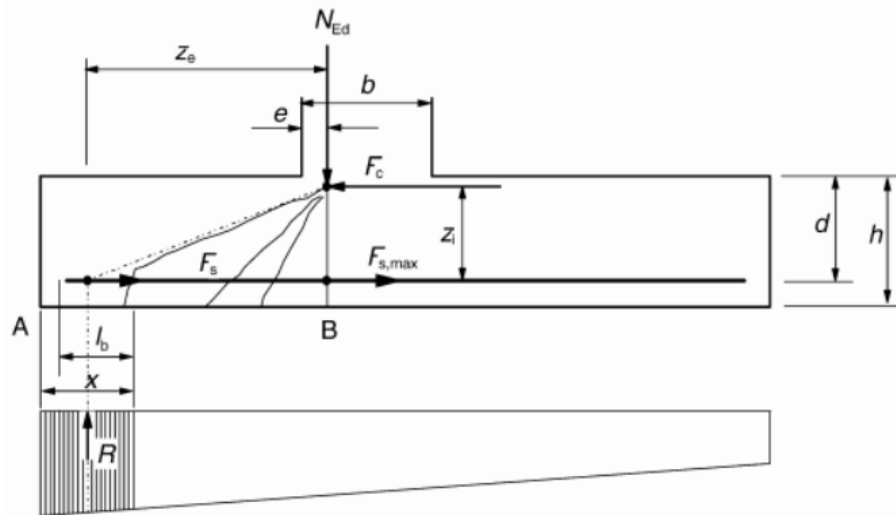
$$V_{Ed} = p_d \left(c - \frac{d}{2} \right) \quad (44)$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$V_{Rd,c} = \max \begin{cases} V_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} dk \left(100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} MPa \\ V_{Rd,cmin} = 0,035 dk^{\frac{3}{2}} \left(\frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{2}} MPa \end{cases} \quad (45)$$

Ankkurointi

Raudoitustangot tai hitsatut verkot tulee ankkuroida niin, että betoniin siirtyvät tartuntavoimat eivät pääse aiheuttamaan tankojen suuntaista lohkeilua tai halkeilua (SFS-EN 1992-1-1 2005, 131.)



Kuvio 13. Vinohalkeamien mukainen vetovoimamalli (SFS-EN1997 2005, 163).

Ankkuroitava vetovoima

$$F_s = R \frac{z_e}{z_i} \quad (46)$$

Laskentaan voidaan käyttää eurokoodin mukaan seuraavia yksinkertaistuksia

$$z_i = 0,9d \quad (47)$$

$$z_e = \frac{B}{2} - \frac{h}{4} - 0,35b \quad (48)$$

$$R = p_d \frac{h}{2} \quad (49)$$

Ankkurointikestävyys

$$F_{bd} = \left(\frac{h}{2} - c_{nom} \right) f_{bd} u_s < F_s \quad (50)$$

Ankkurointipituuden perusarvo

$$l_{b,rqd} \geq \frac{\phi \sigma_{sd}}{4f_{bd}} \quad (51)$$

Ankkurointipituuden perusarvon pienennys

$$l_{bd} \geq \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \quad (52)$$

Ankkurointipituuden pienennyskertoimien arvot (α) löytyvät liitteestä 13 taulukosta 15.

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo vetoraudoitukselle

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,3l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (53)$$

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo puristusraudoitukselle

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,6l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (54)$$

Jos mitoitusehto ei toteudu tulee ankkurointipituutta pienentää lisäämällä leikkausraudoitusta tai lisäämällä tuelle tuotavaa suoraa raudoitusta. Mikäli raudoituksen muutokset eivät riitä mitoitus ehdon toteutumiseen, voidaan ankkurointia parantaa koukku- tai lenkipäisellä lisäraudoituksella tai pääraudoitukseen hitsattavilla suorilla poikittaistangoilla. (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013, 159.)

Halkeilu

Halkeiluun vaikuttavat teräsjännitys, betonin vetolujuus, betonipeitteen paksuus, raudoitusjärjestely, rakenteen korkeus ja kuormitushistoria (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013, 210).

Maanvaraisissa anturoissa halkeilun vaikutus ulkonäköön ei ole merkityksellinen, mutta säilyvyyteen vaikuttavat halkeamat tulee rajoittaa rakenteelle sopivaan arvoon (Mts. 211).

Taipuma

Eurokoodissa ei ole esitetty taipumarajaa pilari- tai seinäanturoille, sillä taipumat ovat pääosin pieniä eivätkä vaikuta merkittävästi mitoitukseen (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014, 196).

6 Pohdinta

Tavoitteena oli selvittää maanvaraisen anturan mitoitusprosessin kulku eurokoodin mukaan pohjatutkimuksista saatavilla lähtötiedoilla. Haasteena oli vaihtelevia lähtötietoja sisältävät pohjatutkimusraportit, jolloin mitoitusprosessin kulku ja osapuolien vastuut saattavat muuttua. Lähtötietovaihtoehtoina esitettiin maaparametrit, geoteknisen kantokestävyyden mitoitusarvo ja geotekninen kantavuus.

Teoriaosiossa esiteltiin suunnittelun eteneminen maaparametrien olleessa lähtötietona. Maaparametrit ovat lähtötietona selvästikin lähimpänä eurokoodien henkeä. Toteutuksen kannalta paras vaihtoehto olisi, että perustusten kokonaisvaltainen suunnittelu siirtyisi yhdelle suunnittelijalle. Tällöin tiedonkulun kautta siirtyvä virheen ja väärän tulkinnan mahdollisuus pienentyisi. Vastuun siirtäminen yhdelle suunnittelijalle pitää kuitenkin sisällään riskejä liittyen suunnittelijan geotekniseen osaamiseen ja pohjatutkimusraporttien oikeaoppiseen tulkintaan. Perustusten kokonaisvaltaiselta suunnittelijalta vaaditaan kokemusta ja ymmärrystä sekä geoteknisestä suunnittelusta että rakennesuunnittelusta.

Suunnittelijoiden pätevyyksistä annetun asetuksen perusteella perustusten suunnittelijana voi toimia rakennesuunnittelija vain vaativuusluokan 2 kohteissa. Vaativimmissa kohteissa tulee käyttää geoteknistä asiantuntijaa.

Geoteknisen kantokestävyyden ollessa lähtötietona, tulee geoteknisen suunnittelijan ensin antaa alustavat anturakoot. Tämä tieto edellyttää sitä, että rakennesuunnittelija on antanut alustavat kuormitustiedot geoteknistä suunnittelua varten.

Vanhojen ohjeiden mukaan lähtötietoina toimi geotekninen kantavuus, josta käytettiin myös termiä sallittu pohjapaine. Laskuesimerkeistä käy ilmi, että geotekninen kantokestävyys antaa pienemmät anturakoot verrattuna geoteknisellä kantavuudella laskettuihin anturoihin. Geoteknisellä kantavuudella lasketussa anturassa on huomioitu, että painuma pysyy sallituissa rajoissa. Kantokestävyyden mitoitusarvo ilmoittaa vain varmuuden murtoa vastaan muttei ota huomioon painumaa vaan painuma tarkastetaan erikseen ja anturan kokoa muutetaan tarvittaessa. Termit kantavuus ja kantokestävyys ovat kirjoitusasultaan hyvin samankaltaisia sekä yksikkö $[kN/m^2]$ on

sama. Termien sekoittumisen välttämiseksi tulisi käyttää ainoastaan eurokoodin mukaista geoteknistä kantokestävyyttä perustusten mitoituksessa.

Perustusten mitoituksen suunnitteluprosessi ei opinnäytetyönprosessin aikana ole löytänyt yhtä ja oikeaa etenemistapaa. Suunnitteluprosessin kehittämistä ja tutkimista jatketaan opinnäytetyön valmistumisen jälkeen ja laskuesimerkkejä kehitetään excel-pohjaiseen muotoon. Pohjatutkimusraporttien sisällön kehitys eurokoodimyynteisempään muotoon ja perustusten geotekniseen mitoitukseen suunnattujen laskentaohjelmien soveltuvuuden tutkiminen mitoituksen apuvälineinä toimisivat hyvin jatkotutkimuksina tälle opinnäytetyölle.

Lähteet

Eurokoodi help desk N.d. Ohjeita Eurokoodien käyttöönottoon. Viitattu 10.2.2016.
<http://www.eurocodes.fi/>

Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osa 6: Perustukset.
 Betoniteollisuus. Viitattu 10.2.2016.
http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_6_Perustukset.pdf.

Betoniteollisuus. N.d. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osa 8:
 Taipuma. Viitattu 10.2.2016.
http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_8_Taipuma.pdf.

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. 2013. Osa 1. BY211. Suomen
 Betoniyhdistys r.y. Tampere: Tammerprint.

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. 2014. Osa 2. BY211. Suomen
 Betoniyhdistys r.y. Tampere: Tammerprint.

Helenelund, K. V. 1967. Maarakennusmekaniikka, 137. Espoo: Otakustantamo.

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3 .p. Tampere: Tammertekniikka /
 Amk-Kustannus Oy.

Leskelä, M., 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus, BY 210. Jyväskylä:
 Gummerus Kirjapaino Oy.

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tamminne, M. 1979. Geotekniikka. 21. p.
 Helsinki: Otatieto.

RIL 125 Teräsbetonirakenteet. 1986. Vaasa: Vaasan kirjapaino Oy

RIL 201-1-2008 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Eurokoodit EN
 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4 2008. 2008. Helsinki: Hansa-print Oy

RIL 207-2009. 2009. Geotekninen suunnittelu, eurokoodin EN 1997-1
 suunnitteluohje. Helsinki: Hansaprint.

RT 10-11127. 2013. Geoteknisen suunnittelun tehtäväluettelo. RT-ohjekortti.
 Rakennustieto. Viitattu 19.5.2016. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

RT 10-11128. 2013. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo. RT-ohjekortti.
 Rakennustieto. Viitattu 19.5.2016. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

SFS-EN 1990 + A1 +AC. 2006. Eurocode: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki:
 Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-1 + AC. 2002. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset
 kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen
 Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1992-1-1 + AC. 2005. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

Tietoa eurokoodeista. 2014. Ympäristöministeriö. Viitattu 10.2.2016.

<http://www.ym.fi/fi->

[FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Tietoa_eurokoodeista](http://www.ym.fi/fi-Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Tietoa_eurokoodeista)

Ympäristöministerion asetus Eurocode-standardien soveltamisesta

talonrakentamisessa 2007. Viitattu 16.5.2016. <http://www.ym.fi/fi->

[fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma](http://www.ym.fi/fi-maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma)

Wise Group Finland. N.d. Tietoa Wise Group Finlandin nettisivustolla. Viitattu:

10.2.2016. <http://www.wisegroup.fi/>