SAVONIA

RAPORTIN TYYPPI - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ANTURAPERUSTUKSEN GEO- JA RAKENNETEKNINEN MITOITUS

TEKIJÄ/T: Jussi Saarela

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jussi Saarela	
Työn nimi Anturaperustuksen Geo- ja Rakennetekninen Mitoitus	
Päiväys 30.5.2020	Sivumäärä/Liitteet 33
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Karmikon Oy	

Työn aiheen antanut yritys on kuopiolainen insinööritoimisto Karmikon Oy joka tarjoaa pohjatutkimuspalveluita yrityksille, sekä yksityisille asiakkaille. Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutustua perustusten suunnittelutehtäviin tilaajayrityksen tarjoaman esimerkkikohteen kautta ja esimerkkikohteeksi valittiin omakotitalokohde, joka sijaitsee Kuopiossa. Aihe valikoitui tilaajayrityksen ehdotuksesta tutkia Eurocoden mukaista geoteknisen kantokyvyn sekä teräsbetonianturan mitoitusta. Lisäksi tavoitteena oli toteuttaa helppokäyttöiset taulukkolaskentapohjat suunnittelun tueksi.

Suunnittelutehtävä alkoi pohjatutkimussuunnitelman laatimisesta edeten pohjatutkimuksiin ja näiden tulosten analysointiin. Pohjatutkimustulosten perusteella määritettiin laskentaparametrit geoteknistä suunnittelua, sekä laskelmia varten. Geoteknisen mitoituksen, sekä alustavan anturan mitoituksen valmistuttua laadittiin pohjatutkimusraportti, johon kirjattiin tarvittavat lähtötiedot perustussuunnittelua varten. Esimerkkikohteeseen tehtiin perustussuunnittelu osana tätä insinöörityötä ja käsiteltävä osuus rajattiin koskemaan betonianturan rakenneteknistä mitoitusta. Taulukkolaskentapohjat laadittiin kantokyvyn mitoituksesta, sekä seinäanturan mitoituksesta taivutukselle ja leikkaukselle.
Tärkeimmät lähdeaineistot olivat Eurokoodi-normistoja sekä niihin pohjautuvia Betoniyhdistyksen suunnitteluohjeita sekä oppikirjoja. Suunnittelusssa käytettiin apuna 3d-WIN –ohjelmistoa, joka on kotimainen maastomittaustiedon käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, sekä Draftsight CAD –ohjelmistoa piirrustusten tuottamiseen. Taulukkolaskentapohjat laadittiin Excel- ohjelmistolle.

Suunnitteluprosessi on muuttunut Eurokoodien korvattua vanhat suunnitteluohjeet ja insinöörityössä koottiin yhteen tarvittavat sovellusohjeet, sekä kaavat perustussuunnittelutehtävän vaatimassa laajuudessa. Insinöörityö perehdytti tekijänsä laaja-alaisesti käytännön suunnittelutehtäviin sekä sen taustalla olevaan teoriaan. Lopputuotteena saatiin toimeksiannon mukaisesti perustamistapalausunto, kohteen geotekninen mitoitus sekä perustussuunnitelmat. Lisäksi aikaansaatiin toimivat suunnittelutyökalut nopeuttamaan suunnittelua sekä vähentämään virheiden mahdollisuutta.

Avainsanat
Geotekniikka, betonirakenne, perustussuunnittelu, seinäantura, kantokestävyys

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Jussi Saarela	
Title of Thesis Structural and Geotechnical Dimensioning of the Concrete Footing	
Date 30 May 2021	Pages/Appendices 33
Client Organisation /Partners Karmikon Oy	

Abstract

The purpose of this final project was to study the foundation design and apply this information in a real life design task. The project was commissioned by engineering office Karmikon Oy which provides soil research services to companies, as well as to private clients. The given design task was a house construction project located in Kuopio. The main purpose was to study the geotechnical load-bearing capacity and dimensioning reinforced concrete footing according to Eurocode. In addition, the purpose was to create practical Excel -spreadsheet templates to support the design.

First the planning and soil research were made, followed by the analysis of the results. Based on the results the calculation parameters for geotechnical design were determined. When geotechnical dimensioning and preliminary dimensioning of the footing were made a report was drafted. The necessary data for the foundation design was written down in this report. Foundation design was done for this client as part of this engineering work. Spreadsheet templates were developed for geotechnical dimensioning and for structural dimensioning of the cocrete footing. The most important source materials were the Eurocode standards and the planning instructions provided by Suomen Betoniyhdistys. Computer programs used in the work were 3d-WIN software, which is domestic software for processing terrain measurement data, and Draftsight CAD software. Spreadsheet templates were prepared for Excel -software.

The design process has changed since the Eurocodes replaced the old design instructions. All the necessary instructions were compiled, as well as all the formulas required by the design task. This thesis introduced the author extensively to practical design tasks and the theory in the backround. The results of this engineering work were a soil investigation report, geotechnical calculations and structural dimensioning of the foundation. In addition, functional spreadsheet design tools were developed to speed up designing process and reduce the potential for error.

Keywords
geotechnics, concrete structure, foundation design, footing, load-bearing capacity

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 5

2 SUUNNITTELUPERUSTEET 5

2.1 Kuormat ja kuormitusyhdistelyt 5

2.2 Rajatilat 6

3 GEOTEKNINEN SUUNNITTELU 8

3.1 Pohjatutkimukset 8

3.2 Esimerkkikohde 9

3.3 Kantokyky ja geotekninen kantavuus 10

4 BETONIANTURAN RAKENNESUUNNITTELU 12

4.1 Anturarakenne 12

4.2 Seinäanturan mitoitus 12

4.3 Raudoittamaton seinäantura 12

4.4 Raudoitettu seinäantura 13

5 ESIMERKKILASKELMAT 15

5.1 Geotekninen kantokestävyys 15

5.2 Vertailulaskelmat Excelillä 19

5.3 Anturan mitoitus taivutukselle ja leikkaukselle 20

5.4 Vertailulaskelma perusraudoitetulle valmisanturamuotille 28

5.5 Raudoittamaton seinäantura 30

6 POHDINTA 32

7 KAAVAT 32

8 LÄHTEET 33

KUVALUETTELO

No table of figures entries found.

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli perehtyä esimerkkityön kautta anturaperustuksen geo- ja rakenneteknisen suunnitteluun sekä tarkastella erilaisia mitoitustapoja. Lisäksi tavoitteena oli tuottaa mitoituslaskentapohjat tilaajayrityksen tarpeiden mukaan. Mitoitustyökalut laadittiin anturaperustuksen kantokykylaskelmille kitka, koheesio- sekä sekamuotomaalajeissa sekä anturan mitoituksesta taivutukselle ja leikkaukselle. Perustussuunnittelu on haastava kokonaisuus, koska suunnittelijan täytyy tuntea laaja-alaisesti geotekniikkaa sekä rakenteiden mekaniikkaa. Päätietolähteinä ovat olleet EN1997-1: Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu, EN1992-1-1: EUROKOODI 2: Betonirakenteiden suunnittelu sekä Suomen Betoniyhdistys ry:n kirjallisuutta. Tämän kokonaisuuden tutkiminen esimerkkikohteen suunnittelutehtävän edellyttämässä laajuudessa, sekä luotettavien suunnittelutyökalujen valinta ovat tämän insinöörityön pääaiheet. Opinnäytetyössä ei käsitellä painumaa tai liukumista vaan aihe on rajattu kantokestävyyden mitoitusarvon laskemiseen maaparametrien perusteella sekä betonianturan rakenteelliseen mitoitukseen.

2 SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Kuormat ja kuormitusyhdistelyt

Kuormitusyhdistelyssä yhdistetään pysyvät sekä muuttuvat kuormat yhdeksi kuormaksi minkä vaikutusta tarkastellaan käyttö- tai murtorajatilassa. Tässä työssä käytetyt kuormat sekä erilaiset kuormitusyhdistelmät perustuvat SFS-EN 1990 ja 1991 standardissa esitettyihin periaatteisiin ja vaatimuksiin. Standardista EN 1991 löytyvät määrittelyt tuuli- ja lumikuormille sekä yleisille kuormille. Näitä ominaisarvoja käytetään käyttörajatilatarkasteluissa. Kun lasketaan murtorajatilan mitoitusarvoa, tulee käyttää kuormakerrointa K_{FI}, joka määräytyy rakenteen luotettavuusluokan mukaan. Tässä työssä esitelty kohde on tavanomainen, jonka luotettavauusluokaksi on määritetty RC2. Anturaperustusta mitoitettaessa käytetään kuormien yhdistelyssä lausekkeita 6.10b ja 6.10a.

	Luotettavuusluokka		
	RC 1	RC 2	RC 3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Taulukko 1. Kuormakerroin K_{FI} luotettavuusluokan mukaan [eurokoodi s. 94]

Seuraa-mus-luokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	**Suuret** seuraamukset ihmishenkien menetysten *tai* **hyvin suurten** taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko[1)] jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten – yli 8-kerroksiset[2)] asuin-, konttori- ja liikerakennukset – konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot – raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä.
CC2	**Keskisuuret** seuraamukset ihmishenkien menetysten *tai* **merkittävien** taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	**Vähäiset** seuraamukset ihmishenkien menetysten *tai* **pienten** tai **merkityksettömien** taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten – matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana – standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet. – standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille [3)].

Taulukko 2. seuraamusluokkien määrittely [SFS-EN 1990]

2.2 Rajatilat

Murtorajatila

Eurokoodin mukaisessa mitoituksessa tarkistetaan rakenteen murtorajatila sekä käyttörajatila. Murtorajatilatarkastelussa tulevia kuormia kohotetaan kuormien osavarmuusluvuilla ja materiaalin kestävyyttä lasketaan materiaalin osavarmuusluvuilla. Mitoitusmenettelyssä tarkoitus on varmistaa, että mitoituskuorman aiheuttama jännitys on pienempi kuin rakenteen mitoituslujuus, eikä rakenne joudu tarkasteltavaan rajatilaan.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä, kaava 6.10a

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

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä, kaava 6.10b

$1{,}15\ K_{FI}\ G_{kj,sup} + 0{,}9\ G_{kj,inf} + 1{,}5\ K_{FI}\ Q_{k,1}$

Näistä kahdesta määrääväksi muodustuu se kaava joka antaa epäedullisimman arvon.

Käyttörajatila

Käyttörajatilatarkastelussa tutkitaan kuormien aiheuttamaa muodonmuutosta rakenteessa ja laskenta suoritetaan ominaisarvoilla. Suunnittelun on tarkoitus rajoittaa rakenteen muodonmuutos niin pieneksi, ettei se haittaa ulkonäköä käyttöä tai aiheuta vahinkoa pintamateriaaleille.

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-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	0,3
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, 30kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)*) kun			
$s_k < 2{,}75$ kN/m^2	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2{,}75$ kN/m^2	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma **)	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

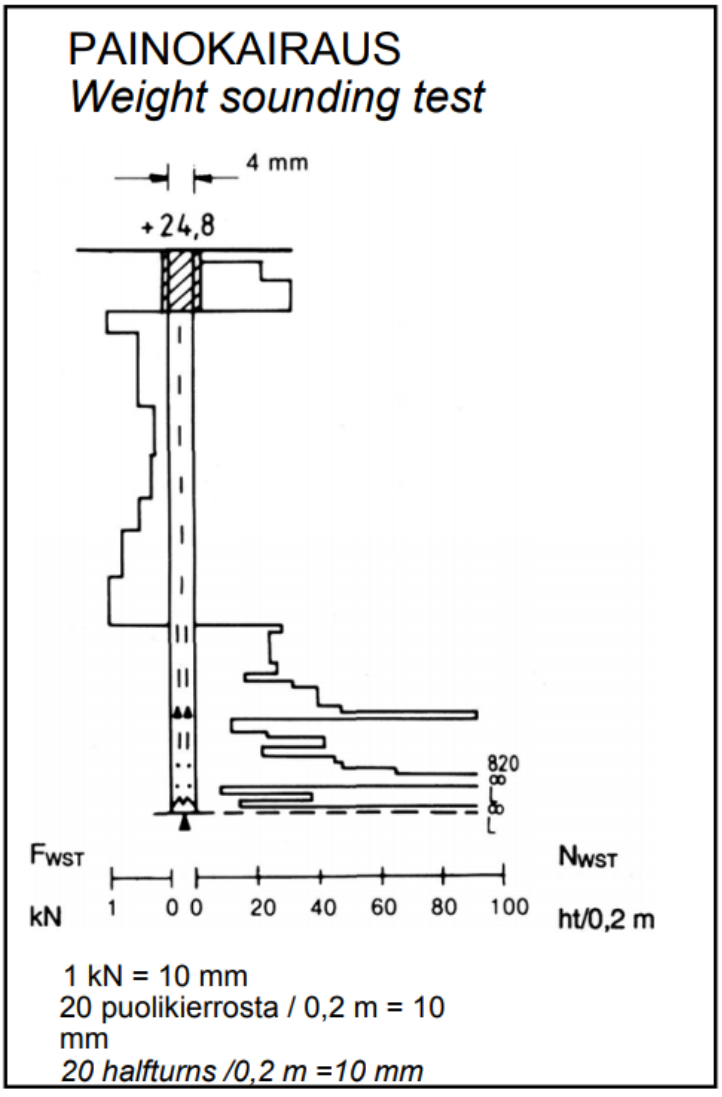
*) Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä.
Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ-arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen.
**) Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.

Taulukko 3, Suomessa käytettävät hyötykuormien yhdistelykertoimet [SFS-EN 1990]

3 GEOTEKNINEN SUUNNITTELU

3.1 Pohjatutkimukset

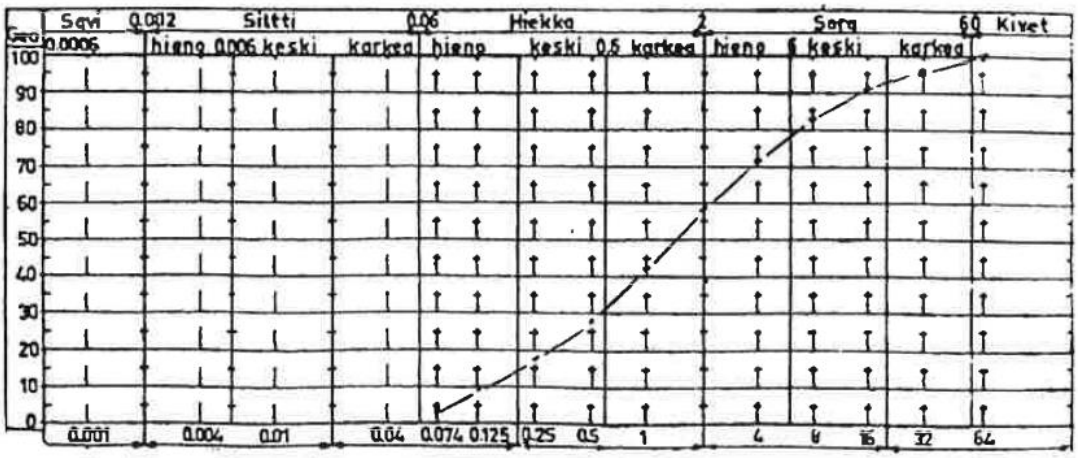
Pohjatutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennuspaikan maaperäolosuhteet niin, että rakennuksen perustaminen ja tarvittavat pohjarakennustyöt voikaan luotettavasti suunnitella ja turvallisesti toteuttaa (Jääskeläinen, 2011). Kohteessa käydään tekemässä kenttätutkimuksia pohjatutkimusohjelman mukaisesti. Näihin maapohjan tutkimuksiin sisältyy kairauksia, joilla saadaan tietoa maalajikerroksista sekä niiden tiiveydestä. Maanäytteet analysoidaan laboratoriossa ja näiden sekä kairaustulosten perusteella arvioidaan maaparametrit laskentaa varten. Tietojen perusteella voidaan laskea pohjan kantavuus sekä mahdollinen painumariski niin että voidaan kohteeseen sopiva perustamistapa.



KUVA 1. Kairausvastusdiagrammi (SGY 201 pohjatutkimusmerkinnät)

3.2 Esimerkkikohde

Mallilaskelmien esimerkkikohteena käytetään maanvaraisten anturoiden varaan perustettua puurakenteista pientaloa, jonka pääasialliset runkorakenteet ovat kantavat rankaseinät, nivelpäiset liimapuupilarit sekä liimapuupalkit ja NR-ristikot. Tontilla on suoritettu kartoitus sekä maaperätutkimus painokairaamalla tela-alustaisella monitoimikairalla yhteensä neljä (4) tutkimuspistettä ja otettu kolme häiriintynyttä maaperänäytettä. Tutkimuspisteet, tontti sekä kadun reuna-alue kartoitettiin RTK GNSS –mittauksella. Tuleva rakennuspaikka sijoittuu asemakaavoitetulle metsämaatontille rajoittuen tiealueeseen. Nykyinen maanpinta viettää tieltä poispäin kohti itää vaihdellen rakennuksen läheisyydessä välillä n. +126.10 … +125.30 (N2000). Kadun korkeusasema tontin kohdalla on tasovälillä n. +126.90 … +126.50. Rakennettu katualue on selkeästi tontin pintaa korkeammalla. Luonnontilainen maapohja tontilla on suoritettujen tutkimusten perusteella ohuen humuspitoisen pintamaakerroksen alapuolella geotekniseltä maalajiluokitukseltaan hiekkamoreenia (HkMr), tiiveysasteeltaan kairausvastuksen perusteella pääasiassa keskitiivistä tai tiivistä. Kairaukset päättyivät 0.5-1.4 metrin syvyyteen maanpinnasta todennäköisesti kallioon tai kiviin. Pohjavesi- tai orsivesipintaa ei kairauksen yhteydessä pystytty tarkasti havainnoimaan, pohjaveden havaintoputkea ei asennettu. Lattian tasoiksi on määritetty asuinrakennuksen osuudessa taso +127.3 ja autokatoksen osuudessa +127.1. Perusmaan olosuhteet eivät tämän tutkimuksen perusteella rajoita korkeusasemien valintaa vaan määrääväksi tekijäksi muodostui kadun korkeusasema.



Kuva 1. Rakeisuuskäyräpohja

Kuva 1/4 Rakeisuuskäyräpohja (seulontalomake) ja esimerkkirakeisuuskäyrä

KUVA 2 Rakeisuuskäyräpohja (JÄÄSKELÄINEN, Geotekniikan perusteet)

3.3 Kantokyky ja geotekninen kantavuus

Kantokyvyllä tarkoitetaan mitoitusarvoa, joka on saatu laskemalla varmuus maapohjan murtumista vastaan. Geoteknisellä kantavuudella taas tarkoitetaan mitoitusarvoa, joka huomioi murtumisen lisäksi myös sallitut painumat. Painumatarkastelu tehdään käyttörajatilassa, kun taas murtumista laskettaessa käytetään osavarmuuskertoimia. Anturan leveyden määrittää käytännössä näistä kahdesta se, joka on määräävä.

Laskelmiin perustuva geoteknisen laskentamallin tulee kuvata maapohjan oletettua käyttäytymistä tarkasteltavassa rajatilassa ja mallin tulee olla joko tarkka tai varmalla puolella. (RIL-207 s.34-35) Maapohjan ominaisuuksien arvot määritellään geoteknisinä parametreinä ja tämä voidaan tehdä koetulosten, teorian tai käytännön kokemuksen perusteella. (RIL-207 s.38) Kuormien määritelmät tehdään EN 1990:2002 mukaan.

Maalaji			Tilavuuspaino (kN/m^3) pohjavedenpinnan yläpuol.	Tilavuuspaino (kN/m^3) pohjavedenpinnan alapuol.	Kitka-kulma φ (ast.)	Moduuli- luku m	Moduuli- eksp. ß	Kairausvastukset 1) painok. pk/0,2 m	Kairausvastukset 1) heijarik. L/0,2 m
Hienohiekka $d_{10} \leq 0,06$	hHk	L	15...17	9...	30	50... 150	0.5	20... 50	5... 15
		K			33	100... 200	0.5	50...100	15... 30
		T	16...18	11	36	150... 300	0.5	100...	30...
Hiekka $d_{10} > 0,06$	Hk	L	16...18	10...	32	150... 300	0.5	10... 30	5... 12
		K			35	200... 400	0.5	30... 60	12... 25
		T	17...19	12	38	300... 600	0.5	60...	25...
Sora	Sr	L	17...19	10...	34	300... 600	0.5	10... 25	5... 10
		K			37	400... 800	0.5	25... 50	10... 20
		T	18...20	12	40	600...1200	0.5	50...	20...
Moreeni	Mr	HL	16...19	10...12	...34	300... 600	0.5	... 40	... 20
		L	17...20	10...12	...36	600...	0.5	40...100	20... 60
		K	18...21	11...13	...38	800...	0.5	100...	60...140
		T	19...23	11...14	...40	1200...	0.5	lyömällä	140...
2)Tiivistetty täyte perustusten alla	Louhe		15...18	9...11	45	1200	0.5		
	Murske		19...22	11...13	42	1200	0.5		
	Sora		18...21	11...13	40	1200	0.5		

KUVA 3 Pohjanrakennusohjeet sillansuunnittelussa (Tielaitos. Helsinki: Tiehallinto. 1999.)

Eurokoodissa on kolme mitoitustapaa, joista suomalaisen kansallisen liitteen mukaan mitoitustapaa 1 ei käytetä Suomessa. Mitoitustavan 2 mukaisessa menettelyssä osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin tai kuormien vaikutuksiin sekä maan kestävyyteen. Mitoitustavassa 2 voidaan käyttää kahta menetelmää: DA2 tai DA2*. Mitoitustavan DA2* mukaan koko laskelma tehdään ominaisarvoja käyttäen ja osavarmuuslukuja käytetään lopussa, kun tarkastetaan murtorajatilaehto. Tätä menetelmää käytettäessä kaikki pysyvät kuormat otaksutaan epäedullisiksi. Mitoitustavassa DA2 kuormien ominaisarvot muutetaan mitoitusarvoiksi kertomalla ne osavarmuusluvuilla heti laskennan alussa. (RIL-207, s.53) On suunnittelijan päätettävissä, kumpaa mitoitustapaa haluaa käyttää. Tässä opinnäytetyössä lasketaan keskeisesti kuormitetun maanvaraisen perustuksen kantokestävyys, joten menetelmien DA ja DA* välillä ei ole eroa.

4 BETONIANTURAN RAKENNESUUNNITTELU

4.1 Anturarakenne

Pohjarakenteiden tehtävänä on siirtää rakennuksen aiheuttamat kuormat maapohjaan. Niiden tulee kestää rakennuksen aiheuttama kuormitus niin että, ne pystyvät jakamaan kuormat eteenpäin maa- tai kalliopohjalle. Pohjarakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että rakennuksen käyttöikää vastaava pitkäaikaiskestävyys ja terveellisyys varmistetaan. (Jääskeläinen 2009 s.9)

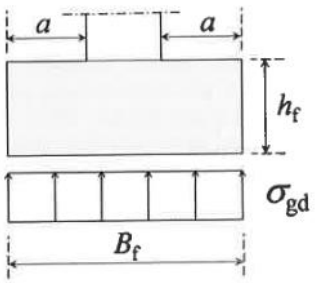
Anturarakenne toteutetaan yleensä teräsbetonirakenteena ja ne voidaan suunnitella raudoitettuna tai raudoittamattomana rakenteena. Raudoitetut anturat voidaan toteuttaa ohuempina kuin raudoittamattomat, sillä raudoittamattomien mitoitus perustuu betonin vetolujuuden käyttämiseen. Anturan leveys tulee valita niin, että sallittu pohjapaine ei ylity käyttö- tai murtorajatilassa. (by210 s.446)

4.2 Seinäanturan mitoitus

Seinäantura ja perusmuuri yhdessä oletetaan niin jäykäksi rakenteeksi pituussuunnassa, taivutusmitoitusta ei tarvitse tehdä pois lukien leveät ovi- ja ikkuna-aukkojen kohdat. On suunnittelijan tapauskohtaisesti harkittava, milloin mitoitus on tarpeen tehdä. Seinäanturarakenteen mitoitustarkastelu tehdään poikittaisessa suunnassa, jolloin tarkastetaan voiko anturan toteuttaa raudoittamattomana. Mikäli poikittaista raudoitusta tarvitaan, niin lisäksi täytyy mitoittaa leikkausraudoitus ja tehdä ankkurointitarkistus. Riippumatta siitä voidaanko antura toteuttaa raudoittamattomana, täytyy suunnitella pituussuuntainen raudoitus, jonka tarkoituksena on rajoittaa kutistumahalkeamia. (by221 s.183)

4.3 Raudoittamaton seinäantura

Seinäanturat voidaan joissain tapauksissa tehdä raudoittamattomina. Useimmiten pientalojen kuormat ovat verrattain pieniä, että tämä onkin laskennallisesti toteutettavissa. Mikäli anturan leveys tai kuormat kasvavat liian suuriksi niin silloin kasvatetaan anturan paksuutta. Mikäli anturan paksuus h_f on tarpeeksi suuri suhteessa anturan ulokkeeseen eli vapaaseen reunamittaan a, voidaan se tehdä raudoittamattomana.



KUVA 4 Raudoittmaton seinäantura (BY 211, osa 2)

Eurocode 2:n mukainen mitoitusehto on tällöin:

$$h_f \geq 3.53a \sqrt{\frac{\sigma g d}{f c t d, p l}} \quad (1)$$

missä

h_f = anturan paksuus

$f_{ctd,pl}$ = raudoittamattoman betonin vetolujuus

σ_{gd} = pohjapaineen mitoitusarvo

Raudoittamattoman betonin vetolujuus lasketaan kaavasta

$$f_{ctd,pl} = \alpha_{ctd,pl} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (2)$$

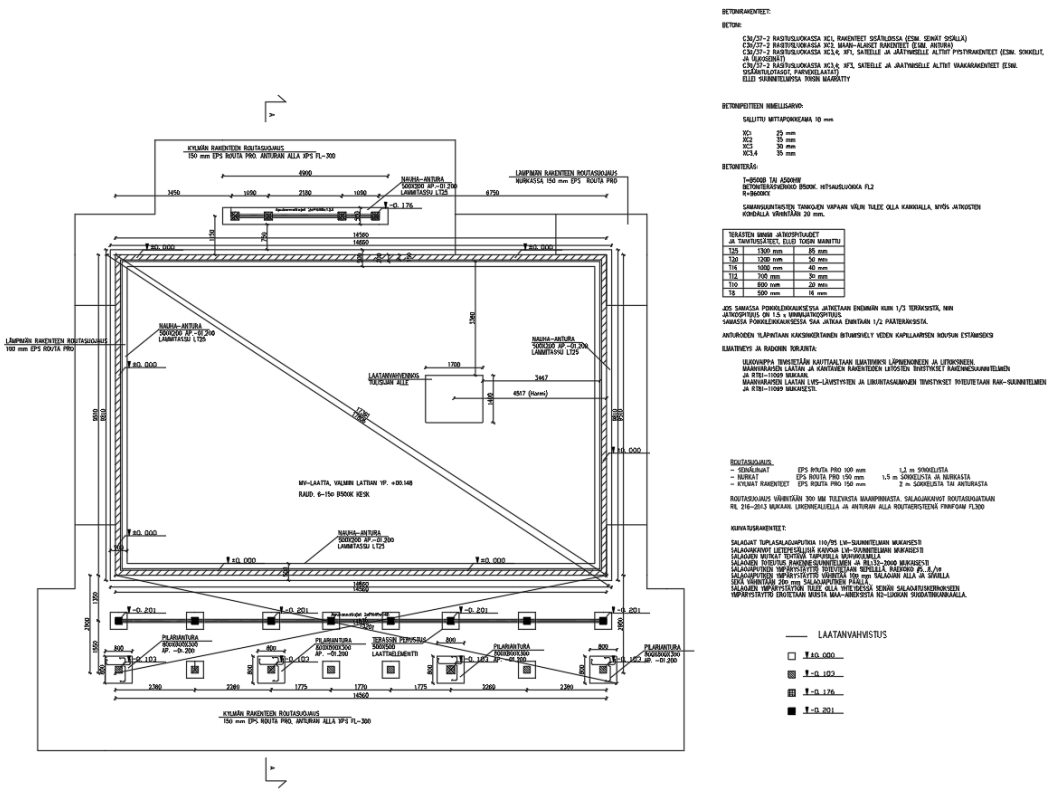
Missä $\alpha_{ctd,pl}$ on vetolujuuden kerroin

Pituussuuntainen raudoitus voidaan laskea raudoittamattomassa seinäanturassa käyttäen palkkien ja laattojen vähimmäisraudoitusehtoa:

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0{,}26 \frac{ftcm}{fyk} b_t d \\ 0{,}0013 \, b_t d \end{cases} \quad (3)$$

4.4 Raudoitettu seinäantura

Betonirakenteiden suunnitelun lähtötietona käytetään arkkitehdin laatimia rakennussuunnitelmia, joiden perusteella voidaan hahmottaa kantava rakennejärjestelmä sekä muodostaa rakennemallit. Suunnittelun edetessä rakennekokonaisuus tarkentuu ja voidaan määritellä kuormat sekä mitoittaa rakenneosat. Mitoituksen perusteella laaditaan rakennesuunnitelmat ja tarvittavat piirrustussarjat.



Kuva 5, Perustuksen mittapiirros (SAARELA)

Seinäanturan mitoitustarkastelu tehtiin tässä esimerkkityössä poikkisuunnassa ja antura mitoitettiin sekä taivutukselle, että leikkaukselle. Työn ohessa suunniteltiin mitoitustyökalu, johon valittiin mitoitusehdot taivutukselle ja leikkaukselle laattojen raudoitusehtojen mukaan. Laskentapohjan avulla voidaan myös laskea taivutusmomentrin vaatima todellinen vetoraudoituksen vaatima määrä, mikäli halutaan tarkastella ja optimoida raudoituksen määrää. Tässä projektissa tehtiin tarkastus perusraudoitetulle valmisanturamuotille sekä raudoittamattomalle anturalle ja nämä mitoituslaskelmat on esitetty kappaleessa 5.3.

5 ESIMERKKILASKELMAT

5.1 Geotekninen kantokestävyys

Kohteen tiedot:

-Tavanomainen asuinrakennus, keskeinen kuormitus

-maan tilavuuspaino perustamistason yläpuolella 18 kN/m^3

-maan tilavuuspaino perustamistason alapuolella 18 kN/m^3

-kitkakulma = 32°

-Pysyvä kuorma Gk = 13 kN/m

-Muuttuva kuorma Qk = 10 kN/m

-Avoimet olosuhteet, kitkamaa

Lasketaan suorakaiteen muotoisen, keskeisesti kuormitetun anturan kantokestävyys analyyttisellä menetelmällä ja määritetään anturan sivumitta.

-Seuraamusluokka CC2 ja luotettavuusluokka RC2 -> K_{FI} = 1,0

Etäisyys pohjaveden pintaan on suurempi kuin 1,5 * anturan lyhempi sivumitta -> ei vaikuta laskentaan.

-Maaparametrien osavarmuusluvut γ_m = 1 (RIL-207 taulukko A.4 (FI)/sarja M1)

-Perustamissyvyys = 0,8m

-B = perustuksen leveys = kokeillaan 0,5m

-L = anturaperustuksen pituus = 11,8m

- Sokkelin pituus = 11,5m

-Perustuksen paksuus = 0,2m

-Perusmuuri betonia, poikkileikkaus = 0,2m * 1m

Lasketaan kohteen perustuksen kantokestävyyden mitoitusarvo eurokoodin SFS-EN 1997-1 mukaisesti. Käytetään kokonaisvarmuuden mitoitusehtona $V_d \leq R_d$, jossa:

V_d = pystysuoran kuorman mitoitusarvo

R_d = kantokestävyyden mitoitusarvo

R_k = kantokestävyyden ominaisarvo

$\gamma R,v$ = kantokestävyyden osavarmuusluku

Kantokestävyyden ominaisarvo lasketaan kaavasta:

$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0{,}5\, \gamma' B' N\gamma\, b\gamma\, s\gamma\, i\gamma$ (4)

jossa,

R/A' = kantokestävyys

c' = koheesiokerroin

N_c = kantokestävyyden kerroin

b_c = pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

s_c = perustuksen muotokerroin

i_c = vaakakuormituksesta riippuva kerroin

q' = perustuksen yläpuolisesta täytöstä riippuva kerroin = $\gamma' D$

D = pienin perustamissyvyys

N_q = kantokestävyyskerroin

b_q = pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

s_q = perustuksen muotokerroin

i_q =vaakakuormituksesta riippuva kerroin

γ' = perustamistason alapuolisen maan tilavuuspaino

B´ = anturan tehokas leveys

$N\gamma$ = kantokestävyyskerroin

$b\gamma$ = pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

$s\gamma$ = perustuksen muotokerroin

$i\gamma$ = vaakakuormituksesta riippuva kerroin

Koska kyseessä on kitkamaa ja keskeisesti kuormitettu antura tasaisella pohjalla eikä pohjaveden nostetta ole, supistuu kaava muotoon:

$R/A' = q' N_q s_q + 0{,}5\, \gamma' B' N\gamma\, s\gamma$

Määritellään muoto- ja kantavuuskertoimet taulukoista tai kaavoista:

$Nq = \tan^2(45+\varphi'/2)^{pii \tan \varphi'}$ (5)

$NY = 2\,(Nq-1)\tan\varphi'$

jossa φ' on tehokas kitkakulma

Nq = 23,177

NY = 27,72

tai määritetään taulukosta kitkakulman perusteella

Taulukko 6.2S. Kantavuuskertoimet N_q, N_C ja $N\gamma$.

ϕ	N_q	N_C	$N\gamma$
0	1	5,14	0,00
2,5	1,25	5,76	0,02
5	1,57	6,49	0,10
7,5	1,97	7,34	0,25
10	2,47	8,34	0,52
12,5	3,12	9,54	0,94
15	3,94	11,0	1,58
17,5	5,01	12,7	2,53
20	6,40	14,8	3,93
22,5	8,23	17,5	5,99
25	10,7	20,7	9,01
27,5	13,9	24,8	13,5
30	18,4	30,1	20,1
32,5	24,6	37,0	30,1
35	33,3	46,1	45,2
37,5	45,8	58,4	68,8
40	64,2	75,3	106
42,5	91,9	99,2	167
45	135	134	268

KUVA 6 Kantavuuskertoimet (RIL 207-2009)

Määritetään suorakaiteen muotoisen anturan muotokertoimet s_q kaavoista

$sq = 1+(B'/L')\sin\varphi'$ (6)

$sY = 1-0{,}3(B'/L')$

s_q = 1,026

$s\gamma = 0,985$

$q' = \gamma' D = 18\ kN/m3 * 0,8\ m$

Sijoitetaan kertoimet kaavaan:

$R/A' = q' N_q s_q + 0,5\ \gamma' B' N\gamma\ s\gamma$

$R/A' = 18\ kN/m^3 * 0,8m * 23,177 * 1,026 + 0,5 * 18kN/m^3 * 0,5m * 27,72 * 0,985 = 465,2\ kN/m^2$

$R_k = 465,2\ kN/m^2 * 0,5m * 11,8m = 2744,68\ kN$

Anturaperustuksen kantokestävyyden mitoitusarvo R_d saadaan jakamalla ominaisavo $R_{k,}$ osavarmuusluvulla $\gamma R,v = 1,55$

$Rd = 2744,68\ kN / 1,55 = 1770,76\ kN$

Lasketaan anturan alapinnassa vaikuttava pystysuuntainen voima:

$G_{k,maa}$ = anturan yläpuolinen täyttö

$G_{k,maa} = 0,18m^2 * 10m * 18\ kN/m^3 = 32,4\ kN$

$G_{k,betoni} = (0,2m * 1m * 11,5m + 0,2m * 0,5m * 11,8m) * 25\ kN/m^3 = 87\ kN$

V_k = pystykuorma = $G_{k,maa} + G_{k,betoni} + G_k + Q_{k,min}$ tai $Q_{k,max}$

$V_{k,min} = 32,4\ kN + 87\ kN + (13\ kN/m * 11,5m) + 0\ kN = 268,9\ kN$

$V_{k,max} = 32,4\ kN + 87\ kN + ((13\ kN/m + 10\ kN/m) * 11,5m) = 383,9\ kN$

Kuormien vaikutusten osavarmuusluvut: $\gamma_{Gkj,sup} = 1,15$ (pysyvä) ja $\gamma_Q = 1,5$ (muuttuva)

(Yhtälö 6.10b / epäedullinen) on tässä tapauksessa määräävä

Kuormien vaikutusten mitoitusarvo:

$V_{d,max} = 1,15 * 268,9\ kN + 1,5 * 115\ kN = 481,735\ kN \rightarrow 482\ kN$

Tarkastetaan mitoitusehto :

$V_d \leq R_d = 482\ kN \leq 1770{,}76kN$

Valitaan 0,5m leveä antura

5.2 Vertailulaskelmat Excelillä

Yhteensä Vdmax	482,00		
Maapohjatiedot (ominaisarvot):			
Kitkakulma ϕ	32	°	
Maan tilavuuspaino perustustason yp. Y1	18	kN/m3	
Maan tilavuuspaino perustustason ap. Y2	18	kN/m3	
Koheesio Cu	0		
Perustamistiedot:			
Perustamissyvyys D	0,8	m	
B´ (lyhempi sivumitta)	0,5	m	
L´ (pidempi sivumitta)	11,5	m	
Bt		Anturan tehokkaat mitat	
Lt			
Pohjan ala =	5,75	m2	
Laskenta:			
jännitys tehokkaalle pohjan alalle =	83,83	kN/m2	
pysyvän kuorman varmuuskerroin	1,15		
muuttuvan kuorman varmuuskerroin	1,5		
kuormien vaikutusten mitoitusarvo Vdmax	482,00	kN	
kantokestävyys, ominaisarvo Rk	2671,03	kN	
kestävyyden osavarmuusluku yR	1,55		
kantokestävyys mitoitusarvo Rd=Rk/yR	1723,24	kN	
Rd/Vd max	3,575	Arvon oltava > 1	
Kantavuuskertoimet:			
$Nq = \tan^2(45+\phi'/2)e^{\pi i \tan\phi'}$	23,177		
$Nc = (Nq-1)\cot\phi'$	35,490		
$N_Y = 2\,(Nq-1)\tan\phi'$	27,7152		
Anturan muotokertoimet		Muoto:	
$sq = 1+(B'/L')\sin\phi'$	1,023	Suorakaide	
$sq = 1+\sin\phi'$	1,530	Neliö/Ympyrä	
$s_Y = 1-0{,}3(B'/L')$	0,987	Suorakaide	
s_Y	0,7	Neliö/Ympyrä	
$s_c = (sqNq-1)/(Nq-1)$	1,024	Suorakaide	
$s_c = (sqNq-1)/(Nq-1)$	1,554	Neliö/Ympyrä	
Kitkamaalajit:			Muoto:
$R/A` = \gamma'_1 D N_q s_q + 0{,}5\,\gamma'_2 B' N_\gamma s_\gamma =$	464,527	kN/m2	Suorakaide
$R/A` = \gamma'_1 D N_q s_q + 0{,}5\,\gamma'_2 B' N_\gamma s_\gamma =$	597,907	kN/m2	Neliö/Ympyrä

TAULUKKO 4, Geotekninen kantokestävyys (SAARELA)

5.3 Anturan mitoitus taivutukselle ja leikkaukselle

Seinäanturan lyhempi sivumitta on määritetty aikaisemmin geoteknisen mitoituksen yhteydessä 500mm leveäksi ja anturan paksuudeksi on valittu 200mm.

Anturan mitat:

B_{ant} = 500 mm anturan poikkileikkauksen pituus

L_{ant} = 1000 mm anturan pituus (tarkastelukaista)

H_{ant} = 200 mm anturan korkeus

B_{sok} = 200 mm sokkelin leveys

Anturan kuormat:

N_d = sokkelin viivakuorma anturalle =(1,15* (0,2m * 1m * 1m * 25kN/m^3) + 1,15 * (13 kN/m * 1m) + 1,5 * (10 kN/m * 1m)) / 1m = 35,7 kN/m

MEd = Mitoitusmomentti poikkisuunnassa = $\frac{1}{2}\sigma_{gd}a^2$ (7)

missä σ_{gd} on pohjapaineen mitoitusarvo = 81,7 kN/m^2

ja a = 150 mm = anturan ulokkeen pituus

Tämä arvo on otettu geoteknisestä mitoituksesta, joten kuormitus on laskettu anturan alapinnan tasossa, jolloin mukana on anturan oma paino ja maamassojen paino. Jos näiden kuormien osuus on merkittävä, niin taivutus momenttia laskettaessa on syytä vähentää nämä kuormat ylimitoituksen välttämiseksi. (by211 osa2 s.185)

Käytetään σ_{gd} = sokkelin viivakuorma/tarkastelukaista = 35,7 kN/m / 1m* 0,5m = 71,4 kN/m2

MEd = $\frac{1}{2} * 71{,}4 * \ 0{,}15^2$ = 0,8 kNm

Anturan materiaalien ominaisuudet

f_y = 500 N/mm^2	Raudoitteen A500HW ominaislujuus
Y_k = 1,15	Teräsosavarmuus toteutusluokan mukaan
f_{yd} =434,78 N/mm^2	Raudoitteen laskentalujuus
f_{ck} = 30 N/mm^2	Betoni C30/37 ominaispuristuslujuus
Y_c = 1,5	Betoniosavarmuus toteutusluokan mukaan
f_{cd} = 17 N/mm^2	Betonin laskennallinen puristuslujuus
f_{ctm} = 2,9 N/mm^2	Betonin ominaisvetolujuus

Voidaan määrittää taulukosta tai analyyttisen kaavan avulla:

$f_{ctm} = 0{,}3\ f_{ck}^{(2/3)}$, kun ≤ C50/60 (8)

$f_{ctk,\ 0,05}$ = 2,0	Betonin vetolujuus, 5% fraktiili

Taulukosta tai kaavasta (9)

$f_{ctk,\ 0,05} = f_{ctm} * 0{,}7$

f_{ctd} = 1,33 N/mm^2	Betonin laskentavetolujuus

Saadaan kaavasta,

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0.005}}{\gamma_C} \quad (10)$$

missä α_{ct} = betonin vetolujuuskerroin, Suomessa 1,00

ja Yc =betonin materiaaliosavarmuusluku

C_{nom} = 50mm	Betonin nimellispeitepaksuus (maata vasten)
Φ_s = 10mm	Pääteräksen halkaisija
d = 145mm	Etäisyys puristuspinnan yläpinnasta vetoraudoituksen painopisteeseen (tehollinen korkeus)

Anturan ulokkeen taivutusrasitus

Kuorman epäkeskisyys ja tehokas pohjan ala

$e = M_d/N_d * 1000mm$ (11)

$M_d = 1$ kNm	Anturassa vaikuttava momentti poikkisuunnassa
$N_d = 36$ kN/m	Sokkelin viivakuorma anturalle (MRT)
$e = 28$mm	Epäkeskisyys

$B_{eff} = (B_{antura}/2\text{-}e) * 2$

$B_{antura} = 500$mm	Anturan poikkileikkauksen leveys
$e = 28$mm	Kuorman epäkeskisyys
$B_{eff} = 444$mm	Anturan tehokas leveys

$A_{eff} = B_{eff} * L_{antura}$

$B_{eff} = 0{,}444$m	Anturan tehokas leveys
$L_{antura} = 1{,}0$m	Anturan pituus (tarkastelukaista)
$A_{eff} = 0{,}44 m^2$	Anturan tehokas pohjapinta-ala

$P_{eff,d} = P_{d/} A_{eff}$

$N_d = 36$ kN/m	Sokkelin viivakuorma anturalle (MRT)
$A_{eff} = 0{,}44 m^2$	Anturan tehokas pohjapinta-ala
$P_{eff,d} = 82$ kN/m^2	Anturan tehokas pohjapaine

Anturan uloketta rasittava taivutusmomentti

$M_{u,d} = P_{eff,d} * (L_u{}^2/2)$

$P_{eff,d}$ = 82 kN/m^2 Tehokas pohjapaine

L_u = 0,15m Ulokkeen pituus

$M_{u,d}$ = 0,92 kNm Anturan uloketta rasittava taivutusmomentti

Anturan alapinnan taivutusraudoitus poikkisuunnassa

Suhteellinen momentti

$\mu = M_{u,d} / (L_{antura} * d^2 * f_{cd)}$ (12)

$M_{u,d}$ = 922500 Nmm Anturan uloketta rasittava taivutusmomentti

L_{antura} =1000mm Anturan pituus (tarkastelukaista)

f_{cd} = 17 N/mm^2 Betonin laskennallinen puristuslujuus

μ = 0,003

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus (13)

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$

μ = 0,003

β = 0,003 < β_{bd} =0,495 Suhteellisen puristuspinnan korkeus

Taivutetun betonirakenteen sisäinen momenttivarsi (14)

$z = d* (1- \beta/2)$

d = 145mm Etäisyys puristuspinnan yläpinnasta vetoraudoituksen painopisteeseen (tehollinen korkeus)

β = 0,003 Suhteellisen puristuspinnan korkeus

z= 145mm Taivutetun betonirakenteen sisäinen momenttivarsi

Taivutuksen vaatima pääraudoituksen poikkipinta-ala metriä kohti (15)

$A_{s.vaad} = \omega b\, d \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}}$ missä ω = β (mekaaninen raudoitussuhde) ja η = 1 puristusvyöhykkeen määrittelyn parametri kun fck ≤ 50MPa (by211, osa 1 s.95)

Vaihtoehtoisesti voidaan laskea sisäisen momenttivarren avulla (16)

$A_{s.vaad} = M_{ed} / z\, f_{yd}$

$M_{u,d}$ = 904606 Nm Taivutusmomentti

z = 145mm Momenttivarsi

f_{yd} = 435 N/mm2 Raudoitteen laskentalujuus

$A_{s.vaad}$ = 15 mm^2/m Vaadittu taivutusraudoituksen poikkipinta-ala/1m

Minimiraudoitusehto (17)

Valitaan suuremman arvon antava kaavoista

$A_{s.min,\ 1} = 0{,}26 * f_{ctm} / f_{yk} * b * d$

tai

$A_{s.min,\ 2} = 0{,}0013 * b * d$

$A_{s.min,\ 1}$ = 219 mm^2/m Minimiraudoitusehto 1

$A_{s.min,\ 2}$ = 189 mm^2/m Minimiraudoitusehto 2

Valitaan -> $A_{s.vaad}$ = 219 mm^2/m

Todellinen raudoituksen poikkipinta-ala ja k-jako

$A_{s,tod}$ = L_{antura} * / kk* $A_{teräs}$

kk = 300 mm Raudoitejako tasajaolla

L_{antura} = 1000mm Tarkastelukaista (minimiraudoitusehto 1)

Φ_s = 10mm Teräksen poikkileikkaus

$A_{teräs}$ = 79 mm^2 Yksittäisen raudan poikkipinta-ala

$A_{s,tod}$ = 262 mm^2 Pääraudoituksen poikkipinta-ala/ tarkastelukaista

Käyttöaste = $A_{s.vaad}$ / $A_{s,tod}$ = 219 mm^2/ 262 mm^2 *100% = 83,5% OK!

Valitaan pääraudoitukseksi Φ10, kk300

Vaadittu jakoraudoitus anturan alapinnassa (18)

Minimijakoraudoitus anturan alapinnassa, 20% pääraudoituksesta

$A_{s.min}$ = 0,2* $A_{s,tod}$ = 0,2* 262 mm^2 = 52, mm^2

$A_{s.max}$ = f_{ctd} / f_{yd} * b* d = 0,26 * 1,33/435* 500*200 = 305,7 mm2

Valitaan jakoraudoituksen minimimääräksi näiden keskiarvo

$A_{s,jako,kesk.}$ = 180 mm^2 Käytettävä jakoraudoituksen minimimäärä

Poikkipinta-ala ja kk-jako

$A_{s,jako,tod}$ = kpl * $A_{teräs}$

n = 3 kpl Tankojen määrä tasajaolla

Φ_s = 10mm Teräksen poikkileikkaus

$A_{teräs}$ = 79 mm^2 Yksittäisen raudan poikkipinta-ala

B_{antura} = 500mm anturan poikkileikkaus

Kk = 133mm jakorautojen poikkileikkauksessa jako kun betonipeite 50mm

$A_{s,jako,tod}$ = 236 mm^2 Raudoituksen poikkipinta-ala / anturametri

Käyttöaste $A_{s,jako,kesk./}$ $A_{s,jako,tod}$ = 180 mm^2 / 236 mm^2 * 100 = 76,27% OK

Valitaan jakoraudoitukseksi Φ10, kk133

Anturalaatan leikkausmitoitus

Anturan mitat

B_{ant} = 500 mm anturan poikkileikkauksen pituus

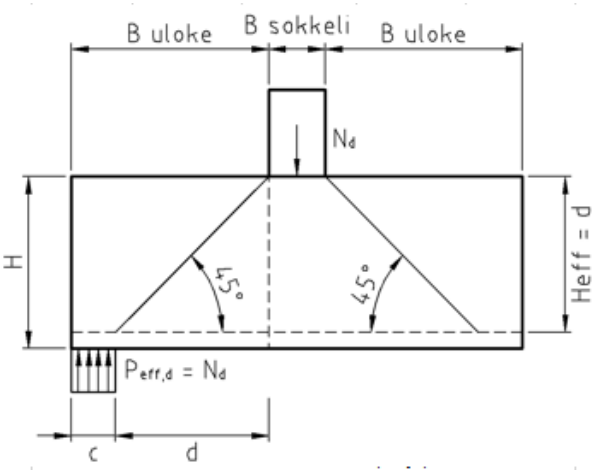
L_{ant} = 1000 mm anturan pituus (tarkastelukaista)

H_{ant} = 200 mm anturan korkeus

B_{sok} = 200 mm sokkelin leveys

d = 145 mm laatan tehollinen korkeus

c = 5 mm anturan ulokkeen pituus leikkausmitoituksessa



KUVA 7 Anturan leikkausmitoitus (BY 211, osa 2)

Anturan raudoitus

Φ_s = 10mm Pääteräksen halkaisija

Anturan kuormat

N_d = 36 kN/m Sokkelin viivakuorma anturalle (MRT)

$P_{eff,d}$ = 80 kN/m^2 Anturan tehokas pohjapaine

Leikkausrasitus

$V_{ed} = P_{eff} * c * L_{ant}$

V_{ed} = 0,4 kN Leikkausvoima yhtä metriä kohti

Anturalaatan leikkauskapasiteetti

$$v_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} d\,k \left(100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{1/3} \text{MPa} \qquad (32/6)$$

$$v_{Rd,cmin} = 0,035\, d\, k^{3/2} \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}\ \text{MPa} \qquad (33/6)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d}} \le 2,0 \qquad (34/6)$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{d} \le 0,02 \qquad (35/6)$$

$$v_{Rd,c} = \max \begin{cases} v_{Rd,c0} \\ v_{Rd,cmin} \end{cases} \qquad (36/6)$$

KUVA 8 Leikkausraudoittamattoman laatan mitoituskaavat (by211 osa 2)

Y_c = 1,5 Betoniosavarmuus toteutusluokan mukaan

b = 1000 mm tarkastelukaistan pituus

d = 145 mm Laatan tehollinen korkeus

f_{ck} = 30 N/mm^2 Betoni C30/37 ominaispuristuslujuus

A_s = 262 mm^2 Pääraudoituksen poikkipinta-ala/ tarkastelukaista

k = 2

$V_{Rd,c0}$ = 61 kN Leikkauskestävyyden perusarvo anturametriä kohti

$V_{Rd,cmin}$ = 79 kN Leikkauskestävyyden vähimmäisarvo anturametriä kohti

$V_{Rd,c}$ = 79 kN Laatan leikkauskapasiteetti

Käyttöaste = V_{ed}/ $V_{Rd,c}$ * 100% = 0,4/79 *100% = 0,5%

Leikkausraudoitusta ei tarvita

5.4 Vertailulaskelma perusraudoitetulle valmisanturamuotille

Esimerkkikohteen perustus haluttiin toteuttaa Lammitassu –valmisanturamuotilla ja tästä tehtiin vertailulaskelma käyttäen perusraudoitetun muotin tietoja. Tuote on PE-muovikalvolla laminoidusta teräslankaverkosta valmistettu muotti, jossa toimitetaan perusraudoitettuna poikki- ja pituussuunnassa. Kohteessa käytetyn LT25-muotti on on 200mm korkea ja 500mm leveä. Raudoituksena muotissa on T6 K200 poikkisuunnassa ja 3T8 pituusssunnassa.

KUVA 9 Lammitassu valmisanturamuotti (www.lammi.fi)

Tarkastellaan laskelmasta todellista taivutusmitoituksen vaatimaa pääraudoituksen poikkipinta-alaa anturametriä kohti:

$A_{s.vaad}$ = 15 mm^2/m Vaadittu taivutusraudoituksen poikkipinta-ala/1m

Tarkastellaan LT25 anturamuotin raudoituksen poikkipinta-alaa anturametriä kohti:

Φ_s = 6mm Teräksen poikkileikkaus

$A_{teräs}$ = 28 mm^2 Yksittäisen raudan poikkipinta-ala

$A_{s,tod}$ = 141 mm^2 Pääraudoituksen poikkipinta-ala/ tarkastelukaista

Käyttöaste: 15 mm^2/ 141 mm^2 * 100% = 10,63% OK! Valitaan pääraudoitukseksi Φ6, kk200

Tarkastetaan jako- ja kutistumaraudoituksen riittävyys anturassa. Jakoraudoituksen jakoväliä ei muuteta ja käytetään jakoraudoituksen mitoitusehtoa missä minimiraudoitus on 20% pääraudoituksesta. (Nykyri 2015b, 81.)

$A_{s,tod}$ = 141 mm^2 Pääraudoituksen poikkipinta-ala/ tarkastelukaista

$A_{s.min}$ = 0,2* $A_{s,tod}$

= 0,2* 141 mm^2 = 28 mm^2 Jakoraudoituksen minimimäärä poikkileikkauksessa

Poikkipinta-ala ja kk-jako

$A_{s,jako,tod}$ = kpl * $A_{teräs}$

n = 3 kpl Tankojen määrä tasajaolla

Φ_s = 8mm Teräksen poikkileikkaus

$A_{teräs}$ = 50 mm^2 Yksittäisen raudan poikkipinta-ala

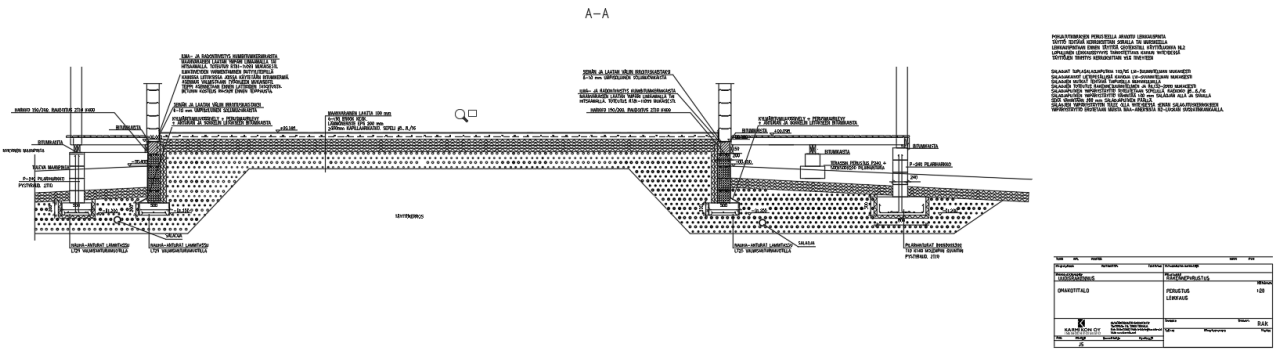
B_{antura} = 500mm anturan poikkileikkaus

Kk = 133mm jakorautojen poikkileikkauksessa jako kun betonipeite 50mm

$A_{s,jako,tod}$ = 151 mm^2 Raudoituksen poikkipinta-ala / anturametri

Käyttöaste $A_{s,min.}$/ $A_{s,jako,tod}$ = 28 mm^2 / 151 mm^2 * 100 = 18,54% OK

Valitaan jakoraudoitukseksi Φ8, kk133



KUVA 10 Perustusleikkaus esimerkkikohde (SAARELA)

5.5 Raudoittamaton seinäantura

Eurocode 2:n mukainen mitoitusehto on tällöin:

$$h_f \geq 3.53a \sqrt{\frac{\sigma gd}{fctd,pl}} \quad (19)$$

missä

h_f = anturan paksuus

$f_{ctd,pl}$ = raudoittamattoman betonin vetolujuus

σ_{gd} = pohjapaineen mitoitusarvo

Raudoittamattoman betonin vetolujuus lasketaan kaavasta

$$f_{ctd,pl} = \alpha_{ctd,pl} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (20)$$

Missä $\alpha_{ctd,pl}$ on vetolujuuden kerroin

Pituussuuntainen raudoitus voidaan laskea raudoittamattomassa seinäanturassa käyttäen palkkien ja laattojen vähimmäisraudoitusehtoa:

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0{,}26 \frac{ftcm}{fyk} b_t d \\ 0{,}0013\, b_t d \end{cases} \quad (21)$$

Puristuslujuuden mitoitusarvo fcd määritellään kaavalla: (22)

$$f_{cd} = 0{,}85 \frac{f_{ck}}{\gamma c}$$

missä f_{ck} on betonin lieriölujuus ja γc on betonin osavarmuusluku

Vetolujuuden mitoitusarvo fctd määritellään kaavalla 3.5

Tarkastetaan, voidaanko toteuttaa rakenne raudoittamattomana:

Määritetään raudoittamattoman betonin vetolujuus

$$f_{ctd,pl} = \alpha_{ctd,pl} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

missä $\alpha_{ctd,pl} = 0,6$

missä $f_{ctk,0,05}$ on betonin vetolujuus (5 % fraktiili) γc on betonin osavarmuusluku

$$f_{ctd,pl} = 0,6 \frac{2}{1,5} \text{ MPa} = 0,8 \text{ MPa}$$

Tarkastetaan anturan vähimmäiskorkeus h_f raudoittamattomana:

$$h_f \geq 3.53a \sqrt{\frac{\sigma g d}{f c t d, p l}} = 3,53 * 150\text{mm} * \sqrt{\frac{0,0714}{0,8}} = 158,2\text{mm}$$

Rakenne voidaan toteuttaa raudoittamattomana, kun $h_f \geq 158,2$mm

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia anturaperustuksen geo- ja rakenneteknistä mitoitusprosessia ja tuottaa valmiit suunnitelmat piirrustuksineen tilaajalle. Tavoitteet toteutuivat suunnitellusti ja lisäksi saatiin laadittua Excel-mitoituspohjat yrityksen käyttöön suunnittelun tueksi. Työ toteutettiin osittain työharjoittelun aikana, jolloin käytännön työtehtävien ja teorian välinen riippuvuussuhde hahmottui selkeästi. Suunnitteluprosessi lähti liikkeelle työtilauksesta, edeten tutkimusvaiheeseen ja tulosten analysoinnin kautta käytännön mitoitukseen. Lopuksi tuotettiin tarvittavat piirrustussarjat asiakkaalle.

Suunnittelutehtävissä on tärkeää ymmärtää teorian lisäksi mistä suunnitteluaineisto tulee, sekä mihin perustuen se tuotetaan. Tämän insinöörityön aikana tämä onnistui hyvin, koska suunnitteluaineiston hankkimisesta lähtien kaikki tehtiin yrityksessä itse. Esimerkiksi kantokykyä laskettaessa korostui oikeiden laskentaparametrien valinta, sekä käytännön kokemuksen tärkeys, kun näitä arvioitiin tutkimustuloksien perusteella. Sinänsä oikein tehdyt laskelmat eivät välttämättä kuvaa todellista vallitsevaa tilannetta, mikäli tutkimukset tai tutkimustulosten tulkinta tehdään virheellisesti. Näiden tehtävien parissa työskentely asiantuntijoiden avustuksella tarjosi laajaa ymmärrystä monitahoiseen aiheeseen.

Betonirakenteiden suunnittelua koskeva osuus oli mielenkiintoinen ja tämän projektin yhteydessä käytännönläheinen kokonaisuus. Siinä korostuivat oikeiden suunnittelutapojen valinta sekä aiemmin opintojen ohella suoritetut betonitekniikan perustaidot. Aiheesta oli lähdemateriaalia saatavilla hyvin ja se oli selkeästi esitetty suunnitteluohjeissa. Näitä ohjeita ja opinnoissa käytyjä teoriatietoja soveltamalla saatiin tuotettua rakennesuunnitelmat tavoitteiden mukaisesti.

Kokemuksena opinnäytetyön tekeminen oli opettavainen johdatus käytännön työelämään. Se tarjosi mahdollisuuden soveltaa insinöörin opinnoissa hankittua teoreettista tietämystä käytännön työelämässä ja laajensi ymmärrystä näiden välisestä yhteydestä.

7 KAAVAT

(1) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.183, Suomen Betoniyhdistys

(2) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.183, Suomen Betoniyhdistys

(3) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.188, Suomen Betoniyhdistys

(4) RIL 207-2017, Geotekninen suunnittelu, s.106 KAAVA D.2, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto

(5) RIL 207-2017, Geotekninen suunnittelu, s.106, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto

(6) RIL 207-2017, Geotekninen suunnittelu, s.106, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto
(7) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.184, Suomen Betoniyhdistys
(8) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.38, Suomen Betoniyhdistys
(9) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.38, Suomen Betoniyhdistys
(10) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.38, Suomen Betoniyhdistys
(11) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.181,Suomen Betoniyhdistys
(12) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.103, Suomen Betoniyhdistys
(13) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.103, Suomen Betoniyhdistys
(14) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.97, Suomen Betoniyhdistys
(15) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.103, Suomen Betoniyhdistys
(16) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.101, Suomen Betoniyhdistys
(17) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.188, Suomen Betoniyhdistys
(18) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.191, Suomen Betoniyhdistys
(19) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.183, Suomen Betoniyhdistys
(20) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 2 s.183, Suomen Betoniyhdistys
(21) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.188, Suomen Betoniyhdistys
(22) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, by211 osa 1 s.38, Suomen Betoniyhdistys

8 LÄHTEET

EN1997-1: EUROKOODI 7: Geotekninen suunnittelu

EN1992-1-1: EUROKOODI 2: Betonirakenteiden suunnittelu

RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi

JÄÄSKELÄINEN, Raimo 2009. Geotekniikan perusteet

RIL 207-2017, Geotekninen suunnittelu, Eurokoodin EN 1997-1 suunnittelohje

Suomen Betoniyhdistys, BY 201, Betonitekniikan oppikirja 2018

Suomen Betoniyhdistys, BY 211, Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2, 2014

Suomen Betoniyhdistys, BY 211, Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1 , 2013