



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aadan Hasan

Laiteperustuksen mitoitus Designing of machine foundation

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

18.12.2020

Tekijä Otsikko	Aadan Hasan Laiteperustuksen mitoitus
Sivumäärä Aika	38 sivua 12.11.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori, rakentaminen ja arkkitehtuuri -tiimi Anu Ilander Marko Seitsonen, Rakennesuunnittelija
<p>Opinnäytetyössä tehtiin Excel-pohjainen laskentatyökalu laiteperustuksen mitoituksesta. Laskenta tehtiin eurokoodien SFS-EN 1992-1-1 ja SFS-EN 1997-1 säännösten perusteella. Laskennassa tarkistettiin dynaamiset kuormat, joita varten on annettu dynaamiset kertoimet, ja sen lisäksi tarkistettiin staattiset voimat ja laskettiin pääraudoitukset, ankkurointi ja halkeamat. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kehittää teollisuudessa käytettäville pienkoneille tarkoitetun perustuksen mitoitus ja mallintaa se. Laiteperustukseen työssä perehdyttiin laajemmin, niin että saatiin kokonaiskäsitys laiteperustusmitoituksen prosessista ja sen vaiheista.</p> <p>Tässä työssä haasteena oli koneen tasapainopisteen löytäminen, koska eri koneilla on eri muoto, eli ensin pitäisi laskea koneen painopiste, sen jälkeen voidaan soveltaa laskupohjaa. Työhön ei kuulu dynaamisten voimien laskeminen, koska laskupohjassa on rajoitettu staattisen voiman tarkistamiseen, pääraudoituksiin ja ankkurointiin halkeamat tarkisteluun.</p>	
Avainsanat	

Author Title	Aadan Hasan Designing of machine foundation
Number of Pages Date	38 pages 12.11.2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building engineer
Professional Major	Structural design
Instructors	Anu Ilander Construction and Architecture Team Marko Seitsonen Structural engineer
<p>In the thesis, a calculation tool based on Excel for dimensioning the device foundation is made. The calculation is based on the provisions of the Eurocodes SFS-EN 1992-1-1 and SFS-EN 1997-1. In the calculation, the dynamic loads for which the dynamic coefficients are given checked, in addition to which the static forces are checked and the main reinforcements, anchoring and cracks are calculated. The objective is to study and develop the dimensioning and modeling of a foundation for small machines used in industry. The work introduces the equipment foundation more extensively, so that you get an overall understanding of the equipment foundation of the dimensioning process and its stages.</p> <p>In this work, the challenge is to find the equilibrium point of the machine, because different machines have different shapes, i.e. the center of gravity of the machine should be calculated first, then the calculation base can be applied. The work does not include the calculation of dynamic forces, as the calculation base is limited to checking the static force, the main reinforcements and the anchoring for cracking.</p>	
Keywords	

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tutkimuksen kuvaus	2
1.3	Aiheen rajaus	2
1.4	Työn tavoite	2
2	Maanvaraisen koneperustuksen suunnittelu	3
2.1	Suunnittelun lähtökohdat	3
2.2	Koneperustuksen suunnittelu	5
2.3	Geotekninen suunnittelu	6
2.4	Koneperustusten rakennetyypit	6
2.5	Staattinen rasitus	8
2.6	Koneiden dynaamiset kertoimet ja kuormat	9
2.7	Värähtely	10
2.7.1	Mittaaminen	11
2.7.2	Eistäminen	12
3	Perustuksen mitoitus	13
3.1	Kuormitukset ja kestävyys	13
3.2	Kuormien ominaisarvot	13
3.3	Kuormakerroin	13
3.4	Kuormayhdistelyjen osavarmuusluvut	14
3.5	Betonin ja teräksen materiaaliominaisuudet	16
3.6	Osavarmuuslujuus	17
3.7	Betonipeite ja säilyvyys	18
3.8	Betonipeitteen vähimmäisarvo, c_{min}	19
4	Pohdinta	19
5	Liitteet	21

5.1	Lähtötiedot	21
5.2	Kuormitusyhdistelyt	22
5.3	Data 1	23
5.4	Laskenta	24
5.5	Tulos	28
6	Lähdeluettelo	29

Lyhenteet

A	Pinta-ala
A_c	Betonin pinta-ala
A_s	Harjateräksen pinta-ala
a	Koneen sivumitta
B	Laiteanturan leveys
D	Perustamissyvyys
d	Raudoituksen tehollinen korkeus
e	Epäkeskisyys
F_{cd}	Betonin mitoituspuristuslujuus
F_{yk}	Betoniteräksen murtolujuuden mitoitus
F_{yd}	Betoninteräksen murtolujuuden mitoituslujuus
F_{ck}	Betonin lujuusluokka
F_{ctm}	Betonin keskimääräinen vetolujuus
L_{bd}	Ankkurointipituus
$L_{b,rqd}$	Ankkurointipituus
M_{Ed}	Mitoituksen taivutusmomentti
N_{Ed}	Pystykuorman mitoitusarvo

Amplitudi	Värähdyslaajuus ilmaisee värähdysliikkeen laajuutta.
Dynaaminen kuorma	Ajan suhteen vaihteleva kuorma.
Dynaaminen kerroin	Muuttuvan kuorman varmuuskerroin
F_{EM}	Lujuuslaskennan numeraalinen menetelmä.
K_{rt}	Käyttörajatila.
Kuormitusyhdistelmä	Mitoitusarvojen joukko, jotta käytetään rakenteen luotettavuuden osoittamiseen eri kuormien vaikuttaessa samanaikaisesti.
Ominaistaajuus	Vapaasti värähtelevän systeemin taajuus.
Pohjapainetarkistelu	Valitaan kuormitustapaus, jossa pohjapaine perustuksen alapinna tasossa on suuri.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö keskittyy laiteperustuksen suunnitteluun ja mallinnukseen niin, että työssä tehdään erillinen laskentapohja suunnittelua varten. Laskentapohja tehdään WSP FINLAND OY:n teollisuusrakennesuunnittelijoiden käyttöön. Laskentapohjan tarkoitus on nopeuttaa laiteperustuksen mitoittamista ja siitä pyritään tekemään mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen. Rakennussuunnittelija voi joutua suunnittelemaan ilman tarkkoja lähtötietoja. Myös laiteperustuksia voidaan suunnitella tiukalla aikataululla, ja lisäksi suunnittelija voi joutua suunnittelemaan jo laitetta, vaikka sitä ei ole vielä tarkasti valittu. Lisäksi rakennussuunnittelijan pitäisi laskea tai tietää, minkälainen kuormitus tulee perustukseen ja minkälaisia värähtelyjä se aiheuttaa perustukselle. Tällöin on hyvä olla helppo ja yksinkertaisesti toimiva laskentapohja nopeisiin tarkasteluihin.

Tässä tapauksessa laiteperustukselle suunnitellaan maanvarainen antura. Minulla on tässä vaiheessa dynaaminen kerroin, minkä takia ei ole tarkoitus käydä läpi dynaamista kuormaa ja värähtelyä perusteellisesti, vaan käydään läpi yleisellä tasolla ensin dynaamista kuormaa ja sen jälkeen värähtelyä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään perusteellisesti laiteperustuksen staattiset kuormitukset ja se, minkälaisia rasituksia koneen kuorma aiheuttaa perustukselle paalulaatalle ja paalulle. Lisäksi käydään läpi kuormitustapaukset, minkä jälkeen lasketaan pääraudoitukset. Sen jälkeen tarkistetaan, onko vaadittu määrätty raudoitus vai minimiraudoitus. Tuloksen perustella lasketaan leikkaus ja ankkurointi ja halkeamasuunnittelu tiukalla aikataululla. Lisäksi suunnittelija voi suunnitella laitteen, vaikka sitä ei olisi valittu. Rakennussuunnittelijan pitäisi myös laskea tai tietää, minkälainen kuormitus tulee perustukseen, ja minkälaisia värähtelyjä se aiheuttaa perustukselle. Tässä tapauksessa laiteperustukselle suunnitellaan maanvarainen antura. Tässä työssä on käytössä arvioitu dy-

naaminen kerroin, minkä takia ei ole tarkoitus käydä läpi dynaamista kuormaa ja värähtelyä perusteellisesti, vaan käydään yleisellä tasolla läpi dynaaminen kuorma ja myös värähtely.

1.2 Tutkimuksen kuvaus

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan maanvaraisia betonianturarakenteita. Työn tutkimusongelmana on laiteperustuksen statiikan laskenta, ja laitteelle suunnitellaan toimivan maanvarainen anturalaatta. Lisäksi käsitellään jonkin verran värähtelyä. Suunnitellaan sellainen perustus, joka on taloudellisesti ja turvallisuuden suhteen toimiva.

Tämän jälkeen tarkastellaan mitoitus taivutuksen ja pääraudoituksen sekä ankkuroinnin suhteen sekä esitellään käyttörajatilan vaatimat tarkastelut.

1.3 Aiheen rajaus

Tämä työ käsittelee erityisesti pyöriviä koneita. Työssä käydään läpi laiteperustukset yleisellä tasolla ja myös niiden erityissuunnitteluvaatimukset. Työssä rajataan laiteperustuksen laskentapohjan suunnittelemisen haasteet ja perustuksen määräykset sekä suunnitteluohjeet.

1.4 Työn tavoite

Tässä opinnäytetyössä tehdään Excel-pohjainen laskentatyökalu laiteperustuksesta. Laskennassa käytetään eurokoodeja SFS-EN1992-1-1 ja SFS-EN1997-1. Laskennassa tarkistetaan dynaaminen kuorma yleisellä tasolla ja sen lisäksi tarkistetaan staattinen voima, joten lasketaan pääraudoitukset, ankkurointi ja halkeamat. Työn tavoitteena on kehittää laskentapohja, jota voidaan soveltaa tai käyttää laiteperustuksen laskemiseen.

Työssä perehdytään laiteperustuksen suunnitteluun ja sitä ohjaaviin määräyksiin, käsitellään yleisellä tasolla teollisuudessa käytettäviä laiteperustuksia, joista aiheutuu dynaamisia kuormituksia ja kuormitusten seurauksena laitteen värähtelyä.

2 Maanvaraisen koneperustuksen suunnittelu

2.1 Suunnittelun lähtökohdat

Koneen toimittaja antaa koneperustuksen mitat, mutta loppujen lopuksi rakennussuunnittelija valitsee mitat. Perustukseen vaikuttaa yleensä päällä oleva kuorma, kuten kone ja sen ominaisuudet, ja sen lisäksi lopulliset mitat määräytyvät staattisten ja dynaamisten voimien eli liikkeen voimien tai dynaamisten kertoimien mukaan.

Tyypilliset ongelmat koneensuunnittelussa ovat tiedon vaihtamisen hankaluus ja eri tahojen välisten lähtötietojen välittäminen, sekä erot eri maiden normikäytännöissä. Koneen valmistajan edellytetään toimittavan täydellinen selvitys eri mitoitusilanteissa vaikuttavista staattisista ja dynaamisista kuormista muiden koneeseen liittyvien tietojen, esimerkiksi kokoonpanopiirustusten kiinteiden sekä liikkuvien osien painojen, nopeudet. Standardimuotoinen lomake on jopa esitetty SFS 4631-standardissa, ja sillä välitetään koneen tai laitteen tiedot perustuksen ja sitä ympäröivän tilan suunnittelijoille.

Kuormituksia ei kuitenkaan aina saada suoraan valmistajilta ja tehdassuunnittelijoilta, tai niitä ei välitetä tarpeeksi laajassa ja tarkassa mittakaavassa rakennesuunnittelua varten. Tällaisissa tapauksissa pitää arvioida kuormat, mikäli siirtymä-, nopeus- tai kiihtyvyysovasteet halutaan laskea (Hakulinen 2010).

Rakentamisjärjestyksen kärjessä ovat perustukset, ja tällöin tehdassuunnittelu voi olla vielä kesken eikä lopullisia laitevalintoja olla välttämättä tehty. Tällaisessa tilanteessa ei välttämättä ole saatavilla yksityiskohtaisia lähtötietoja, vaikka koneen suurusluokka tie-

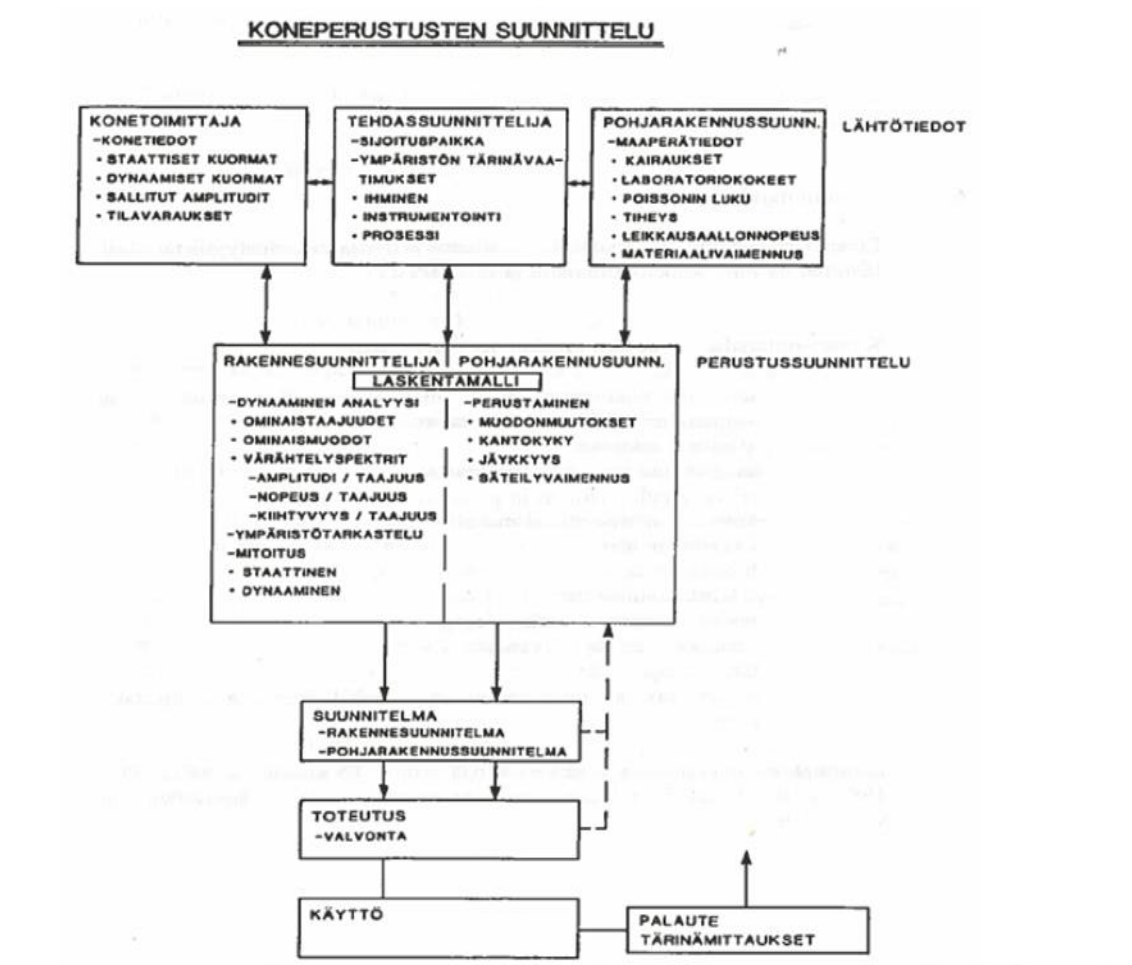
detäänkin. Laitevalmistajilta saadaan harvoin kiinnityspistekohtaisia dynaamisia rasituk-
sia, kun kyseessä ovat pienet koneet ja laitteet. Keksipakovoiman perusteella voidaan
saada tietoa värähtelyamplitudien suuruudesta, mutta sen laskentaan tarvitaan tieto pyö-
rivän massan suuruudesta, jota harvoin ilmoitetaan.

Pyörivää massaa ei kehoteta ilmoittamaan alan standardeissa, sillä oletusarvona on,
että laitevalmistaja välittää tiedon laskemistaan kiinnityspistekohtaisista arvoista. Kool-
taan pienten perustusten kohdalla tällainen ei kuitenkaan ole olennaista, sillä käytössä
olevat yhden värähtelyasteen laskentamallit ovat yksinkertaisia. Prosessipuolen suun-
nittelijat kertovat teollisuusrakentamisessa käytetyssä rakennustehtäväpiirustuksessa
rakennesuunnittelijalle useimmiten koneen staattisen painon, dynaamisen suurennus-
kertoimen sekä toisinaan koneen hitausmomentin. Dynaamista suurennuskerrointa voi-
daan käyttää rakenteeseen kohdistuvien kvasistaattisten kuormien arvioinnissa raken-
teen staattista kestävyyttä määritettäessä, mutta se ei kuitenkaan itse rakenteen väräh-
telytoiminnasta kerro sinänsä mitään.

Alla olevat tiedot tulee koneen valmistajan toimesta välittää suunnittelijalle.

- a) koneen kuormituskaavio, josta ilmenevät kaikki kuormat (ml. dynaamiset)
- b) kuormien sijainti, suuruus ja suunta
- c) koneen nopeus
- d) koneen kriittiset pyörimisnopeuserustuksen ulkomitat
- e) koneen osien hitausmomentit
- f) tartuntojen ja kiinnikkeiden yksityiskohdat
- g) putkitusten, kanavien jne. sijainti ja niiden kannatusyksityiskohdat
- h) käytön aikaiset lämpötilat eri alueilla

i) koneen tukipisteiden sallitut siirtymät normaalikäytön aikana



Kuva 1. Koneperustuksen suunnitteluvaiheet (Hakulinen 1991)

2.2 Koneperustuksen suunnittelu

Koneenperustuksen suunnittelu on haastavaa dynaamisen kuormituksen takia. Tässä työssä on käytetty arvioituja dynaamisia kertoimia. Dynaamiset kuormitukset aiheutuvat koneen toiminnasta, ja ne siirtyvät perustukseen koneen tukien kautta, joten on tärkeä

mitoittaa ja ymmärtää, minkälainen dynaamisen kuormituksen vaikutus tulee perustusta ympäröiville rakenteille.

Perustamistapoja voivat olla

- a) luonnontilainen maapohja
- b) rakennuttu maapohja ts. vaihdettu maa tai maapinnalle tehty täyte
- c) vahvistettu maapohja.

2.3 Geotekninen suunnittelu

Kun rakennushankkeeseen ryhdytään, tulee pohjarakenteita suunniteltaessa ottaa huomioon rakennuspaikan ja sen lähiympäristön olosuhteet, läheisten rakennusten ja rakenteiden perustukset ja muut pohjarakenteet sekä mahdollisten tulevien rakennushankkeiden vaikutukset. Suunnittelussa mahdollinen tuleva rakentaminen otetaan myös huomioon, jotta sitä ei vaikeutettaisi. (Geotekninen suunnittelu EN 1997).

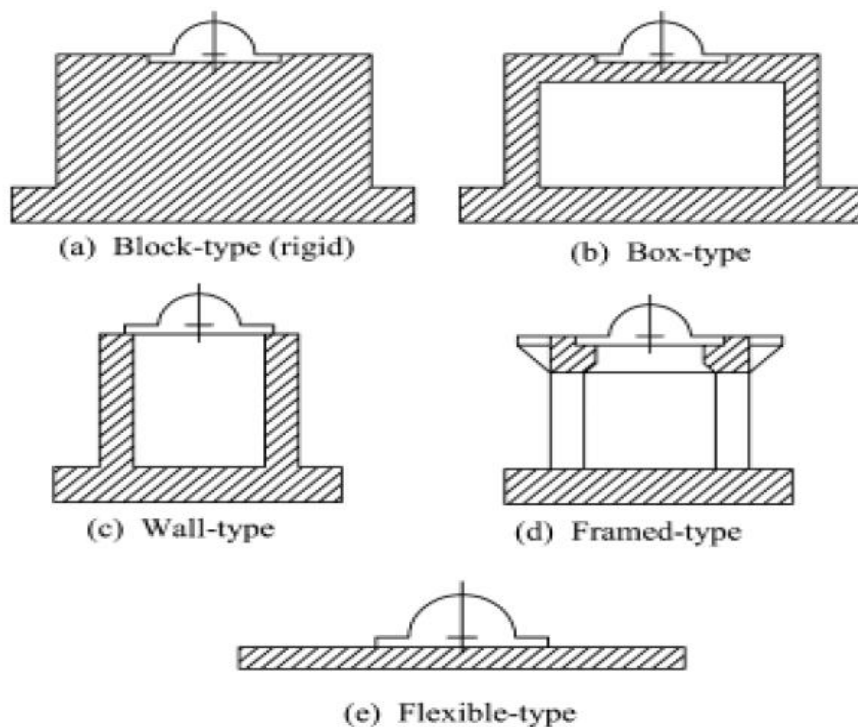
Mikäli muutokset kuormituksessa, perustusten vaurioituminen, kunnossapidon laiminlyönti, kellaritilan syventäminen, lähelle tai syvemmälle rakentaminen, rakennuksen käyttötarkoituksen muutos tai muu erityinen syy sitä edellyttää, on pohjarakenteet vahvistettava. Tämän lisäksi pohja- ja maarakenteet tulee suunnitella niin, että haittavaikutukset maasta rakenteisiin siirtyvän kosteuden osalta voidaan ehkäistä ja että voidaan välttää maan routimisesta aiheutuvat haitat ja rakenteisiin kohdistuvat vauriot. Rakennuspaikan mahdollisiin radonriskeihin on niin kiinnitettävä suunnittelussa ja toteutuksessa niin ikään huomiota.

2.4 Koneperustusten rakennetyypit

Perustuksen tehtävänä on siirtää rakennuksen tai rakenteen kuorma maahan tai kallio- pohjalle siten, että maan kantavuutta ei ylitetä eikä ole odotettavissa haitallisia painumia.

Koneperustukset ovat yleensä maanvaraisia tai paalutettuja, minkä takia konesuunnittelussa huomioidaan dynaamiset kuormat. Tässä työssä käytössä minulla on vain dynaamiset kertoimet. Dynaamiset kuormitukset aiheutuvat koneen toiminnasta, ja kuorma siirtyy perustukseen koneen tukien kautta. Erityyppisten koneiden, laitteiden ja muunlaisen raskaan kaluston perustuksina toimivat laiteperustukset, ja niiden suunnittelussa on otettu huomioon laitteista aiheutuvat dynaamiset kuormitukset. Laiteperustukset jaetaan muotoperustaisesti eri kategoriatyyppeihin. Tämä jaottelu on esitetty alla olevassa kuvassa 1, ja näitä eri tyyppisiä ovat

- a) massiivinen perustus.
- b) laatikkomainen perustus.
- c) seinämäinen perustus.
- d) kehämäinen perustus.
- e) taipuisa perustus.



Kuva 2. Tyypilliset laiteperustustyyppit (Rao 2011, s. 394).

Näistä eri laiteperustustyypeistä kaikkein yleisin on massiivinen laiteperustus. Ne ovat yleisesti käytössä erityyppisten laitteiden kanssa, eikä käyttö riipu kyseisten laitteiden käyntinopeudesta. Massiiviperustukset ovat massaltaan suuria, mikä tarkoittaa, että systeemin ominaistajuus on pienempi. Vaihtoehtoisesti voi käyttää myös laatikkomaista perustusta, jos on tarvetta suhteessa kevyemmälle laiteperustukselle, sillä tällöin ominaistajuus kasvaa suhteessa massiiviseen perustukseen.

Betoni on kaikkein tavallisin laiteperustuksissa käytetty valmistusmateriaali, joskin tiili ja teräs (kehämäisissä perustuksissa) ovat myös mahdollisia materiaalivaihtoehtoja. Jos laiteperustuksissa käytetään materiaalina terästä, ongelmaksi muodostuu sen betonia haasteellisempi värähtelyn hallinta, sillä tällöin ominaistajuudet ovat matalia ja perustus näin ollen matalaviritteinen. Betonin kanssa työskenneltäessä eri vaihtoehtoja ovat raudoittamaton, raudoitettu ja esijännitetty perustus. (Prakash & Puri 2006, s. 2; Bhatia 2008, s. 1–10)

2.5 Staattinen rasitus

Staattiset kuormat vaikuttavat kaikkiin rakenteisiin, mikä täytyy ottaa huomioon materiaalin ja liitoksen mitoituksen laskennassa. Tässä tutkittava rakenne on maanvarainen antura, joka rakennetaan sisätiloissa. Kaikista staattisista rasituksista huomioidaan laskentaosuudessa vain rakenteen ja koneiden omapaino sekä lisäksi konetasojen hyötykuorma. Tämän lisäksi koneperustuksiin voi kohdistua muita staattisia rasituksia, kuten kondensaattorien tyhjiöimu, koneeseen liittyvien rakenteiden sisäisistä massavirroista muodostuvat kitkakuormat, lämpöliikkeistä ja paineista perustukseen kohdistuvat voimavaikutukset, perustuksen lämpeneminen ja käynnin aikainen vääntömomentti. (Aalto-yliopisto, luentomateriaali.)

2.6 Koneiden dynaamiset kertoimet ja kuormat

Erityyppisistä koneista ja laitteista voi aiheutua toisistaan poikkeavia jaksollisia voimia. Käyntinopeuksien (taajuuden) sekä niiden synnyttämien voimien perusteella laitteet voidaan jaotella eri tyypeihin. Tämänkaltainen luokitus vaihtelee aina hieman käytetyistä lähteistä riippuen.

Bhatian (2008, s. 1–8) esittämä jaottelu on seuraavanlainen:

- a) hyvin matalataajuiset laitteet (0 r/min – 100 r/min)
- b) matalataajuiset laitteet (1000 r/min – 1500 r/min)
- c) keskitaajuislaitteet (1500 r/min – 3000 r/min)
- d) korkeataajuislaitteet (≥ 3000 r/min).

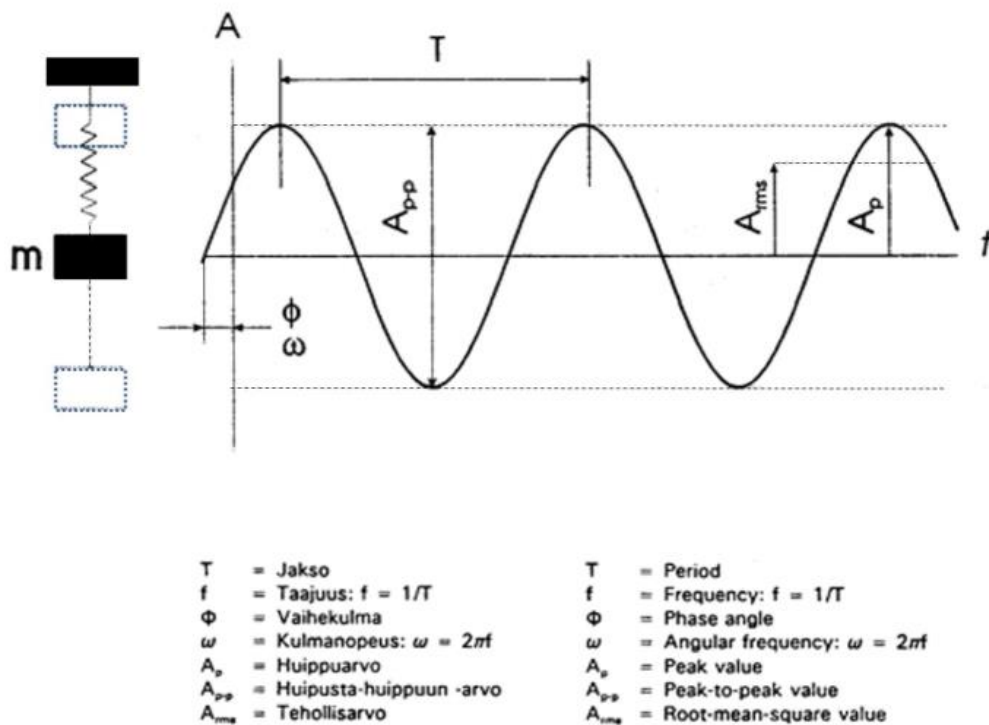
Koneiden dynaamisten kuormitusten kertoimet z-akselin suuntaan ja vaakatasossa x- ja y-akseleiden suuntaan (taulukko 2) saadaan suoraan laitevalmistajalta. FDH, vaakavoimien kerroin, pysyy muuttumattomana eri tarkastelusuunnissa. Epäsuotuisamman vaikutuksen suunta on aina otettava laskelmissa huomioon. Koneiden synnyttämät momentit erilaisissa kuormitustapauksissa on laskettu kertoimilla. Dynaaminen kuorma selvitetään kertomalla taulukon 1 kertoimilla koneen omapaino.

Taulukko 1. Koneiden dynaamisten kuormitusten kertoimet

	Kone	FDD kerroin alaspäin (-Z)	FDU kerroin ylöspäin (+Z)	FDH kerroin vaaka- suunnassa (+/-)
1	Heavy duty mixer	2,5	1,5	0,1
2	Feeding device	2,5	1,5	0,1
3	Gear box with oil	2,5	1,5	0,1
4	Main drive motor 1	5	5	0,1
4'	Main drive motor 2	5	5	0,1
5	Hydraulic unit	1	1	0
6	Extruder Convex	2,5	1,5	0,1
7	Temperature control unit	1	1	0,1

2.7 Värähtely

Värähtely on fyysikaalisen systeemin liikettä tasapainoon aseman ympärillä. Värähtely tuottaa ympäristölle haitallista melua ja tärinää, ja se myös tuottaa rakenteissa haitallisia jännityksiä. Värähtelyä ei pystytä kokonaan estämään, joten se pitäisi ottaa huomioon ominaisuuksien suunnittelussa. Värähtely voidaan huomioida laskennassa dynaamisella kertoimella. Värähtelyjakson aika tarkoittaa yhteen värähdykseen kuuluva aikaa, ja se on värähtelyn taajuuden käänteisarvo. Osaamalla värähtelyn teoria sitä voidaan hallita ja se pystytään analysoimaan ja mittaamaan. Inertiaa, massan hitautta, esiintyy kuitenkin myös kappaleissa. Kappaleen saavuttaessa tasapainopisteen, siihen kertynyt liike jatkaa kappaleen liikettä tasapainopisteen ohi.



Kuva 3. Värähtelyn peruskäsitteet (PSK 57012017)

$$T = \frac{1}{f} = f = \frac{1}{t}, \text{ missä } f = \text{Värähtelyn taajuus.} \quad (1)$$

t = Värähtelyn jaksoaika.

2.7.1 Mittaaminen

Käytännössä värähtely sisältää aina monta eri taajuussignaalia. Aikatason käyttö värähtelyn mittauksissa on jokseenkin harvinaista. Voidaankin sanoa, että suurin osa analyseista tehdään taajuusspektrien perusteella eli toisin sanoen taajuustasossa. Taajuustasossa taajuus on vaaka-akselina ja amplitudi puolestaan pystyakselina. Termiä Fourier-analyysi käytetään jaksollisen aallon purkamisesta sen harmonisiin komponentteihin. On vaivatonta erottaa taajuusspektristä yksittäiset taajuudet. Spektriesitystä käytetäänkin pääsääntöisesti kunnan valvonnassa. Nopeuden amplitudia analysoimalla voidaan

saada melko hyvin näkyviin suurin osa kiinnostavista taajuuksista. Tulisi myös huomioida, että viat, jotka aiheuttavat korkeataajuisia värähtelyä, tulevat näkyviin huomattavasti paremmin ja aikaisemmin kiihtyvyyttä tarkasteltaessa verrattuna nopeuteen.

(Nohyek & Lumme 2004, Romppainen 2016.)

2.7.2 Eristäminen

Värähtelyn tärinää pystytään vähentämään joko tärinänlähteen eristämällä (aktiivieristys) tai vaihtoehtoisesti rakenteen eristämällä (passiivieristys). Nämä menetelmät perustuvat tärinäaaltojen etenemisen katkaisemiseen tai vähentämiseen tai toisaalta dynaamisesta kuormituksesta aiheutuvan tärinän vastustamiseen massan hitaudella.

Tällaista eristyssuhdetta hyödynnetään molemmissa suunnissa, joko tärisevästä rakenteesta alustaan tai alustasta sen yläpuoliseen. Suuresta eristimien materiaalivaimennuksesta on tämänkaltaisessa tilanteessa ainoastaan haittaa, sillä osa tärinäkuormituksesta tai dynaamisesta kuormasta voi siirtyä vaimennusvoiman välityksellä. Suhteellisen vaimennuksen ζ vaikutus on nähtävissä. Suurimmillaan tärinäeristyssuhde voi olla lähes 90 %. Näin suuren vaikutuksen edellytyksenä on, että taajuussuhde on suunnilleen 4...5. Useimmiten ei ole suotavaa pyrkiä tätä suurempaan taajuussuhteeseen. Tärinäeristetyn rakenteen ominaistaajuuden ollessa 10 HZ, yleensä melko helposti saavutettavissa, tulee eristettävän tärinän taajuuden olla suunnilleen 40...50 HZ tai tätä korkeampi.

Eri tärinäeristyselementeillä (jouset, kumimatot) paalutuksen ja pudotustiivistyksen eristäminen on huomattavasti tätä haastavampaa. Kun käytetään tärinäeristystä, alustan tulisi jäykkyydeltään olla noin 100 kertaa suurempi eristimien jäykkyyteen verrattuna. Tällaisessa tapauksessa alustan ominaistaajuuden tulisi olla kymmenkertaisesti suurempi eristettävän rakenteen ominaistaajuuteen verrattuna. Tätä on kuitenkin käytännössä huomattavan vaikea saavuttaa; mitä jäykempi alusta on, sitä paremmin eristys toimii. Eristin valitaan alimman, herätetaajuuden perusteella. Tapauksissa, joissa herätetaajuuksia on monia, tulee varmistaa, etteivät korkeammat taivutusominaismuodot synnytä resonanssia. (Hakulinen 2010.)

3 Perustuksen mitoitus

3.1 Kuormitukset ja kestävyys

Vanhaan ohjeeseen verrattuna kuormitusten ja kestävyyksien ominaisarvot ja osavarmuusluvut ovat eurokoodeissa erilaiset. Jos mitoitus tehdään eurokoodin mukaisesti, se vaatii aina eurokoodin mukaiset kuormitustiedot.

3.2 Kuormien ominaisarvot

Kuorman ominaisarvo, F_k , jota sanotaan myös kuorman edustavaksi arvoksi, voidaan määrittää todennäköisyysteoreettisella menetelmällä, käyttämällä fraktiilia, yleensä kuorman tilastollisen jakauman yläfraktiilia (mutta tietyissä tapauksissa alafraktiilia) deterministisellä menetelmällä suunnitteluasiakirjoissa käytetyn nimellisarvon avulla, mikäli tilastotietoja ei ole käytettävissä.

3.3 Kuormakerroin

K_{FI} on kuormien laskennassa yhtälöihin sisällytettävä kuormakerroin, jonka suuruus vaihtelee rakenteen luotettavuusluokan perusteella. Kun kuormituksen mitoitusarvo lasketaan murtorajatilassa, kerrotaan tällöin eurokoodin mukaan epäedullisen kuorman ominaisarvo rakenteen luotettavuusluokan mukaisella kuormakertoimella K_{fi} (taulukko 2). Tällainen kuormakertoimien käyttö tulee ilmi osavarmuuslukujen yhteydessä.

Taulukko 2. Kuormakerroin K_{fi} luotettavuusluokan mukaan (SFS 1992-1-1)

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

3.4 Kuormayhdistelyjen osavarmuusluvut

Tarkasteltavan murtorajatilan perusteella valitaan kuormitusyhdistelmien osavarmuusluvut. Laitteperustuksen mitoituksessa painopiste on rakenteen ja maapohjan kestävyyksien rajatiloissa, vaikkakin välillä voi olla tarpeellista tarkastella myös staattisen tasapainotilan rajatilaa.

Rakennusten muuttuvan kuorman yhdistelykertoimen ψ_0 , muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykertoimen ψ_1 ja/tai muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykertoimen ψ_2 kansalliset valinnat standardin liitteen A1 kohtaan A.1.2.2 ovat (taulukko 3):

- kokoontumistila, luokka C, hyötykuorman ψ_2 arvo on 0,3;
- liikennöitävien tilojen hyötykuorma, luokat F ja G, ψ_2 arvo on 0;
- ajokäytävillä lumikuorman ψ_1 arvo on 0,4, ja maanpinnan lumikuorman ominaisarvo puolestaan pienempi kuin 2,75 kN/m²;
- kertoimen ψ_1 arvo on 0,5 lumikuorman ominaisarvon ollessa vähintään 2,75 kN/m²;
- niiden asuin-, toimisto- ja liikennöitävien tilojen yhteydessä, jotka kuuluvat luokkiin A, B, F ja G, lumikuorman yhdistelykertoimen ψ_0 arvo on 0 ulkotasoilla ja parvekkeilla, mikäli rakennuksessa on useita kuormaluokkia, jotka eivät ole eroteltavissa omiin, selkeisiin ryhmiinsä. Tällöin käytetään niitä yhdistelykertoimen arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen, ja huurtumisesta
- jäätävästä sateesta ja räntäsateesta johtuvan jääkuorman kertoimen ψ_0 arvo on 0,7, ψ_1 arvo on 0,3 ja ψ_2 arvo on 0.

Taulukko 3. Kuormien osavarmuusluvut (En 1992-1-2)

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, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)* ¹ 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 ** ¹	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
<p>*¹ 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. **¹ Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.</p>			

3.5 Betonin ja teräksen materiaaliominaisuudet

Perustusanturan mitoituksessa käytetään raudoitustyyppinä harjaterästä A500B, jonka kimmomoduulin arvo on 200000 N/mm², valitun betoniteräksen myötä lujuuden ominaisarvo $F_{fk} = 500\text{N}/\text{mm}^2$ ja sen osavarmuusluku on 1,15 (taulukko 4 SFS-EN 1992-1). Betoniteräksen lujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla. (SFS-EN 1992-1-2.)

Taulukko 4. Betonilujuus ja muodonmuutosominaisuudet (SFS EN 1992-1-1+A1)

(Taulukossa esitetyt lujuusarvot ovat MPa = N/mm²)

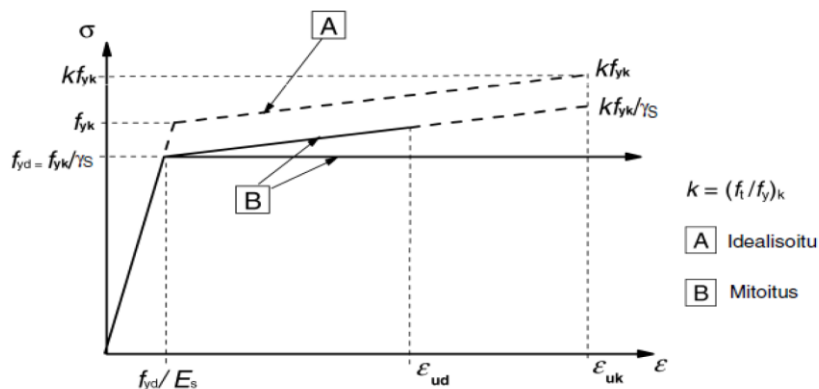
LUJUUSLUOKKA		C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	
Ominaispuristuslujuus	f_{ck}	16	20	25	30	35	40	45	50	
Kuutiolujuus	$f_{ck,cube}$	20	25	30	37	45	50	55	60	
Keskimääräinen puristuslujuus	f_{cm}	24	28	33	38	43	48	53	58	$f_{cm} = f_{ck} + 8\text{MPa}$
Keskimääräinen vetolujuus	f_{ctm}	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$
Ominaisvetolujuus	$f_{ctk,0,05}$	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	$f_{ctk,0,05} = 0,7f_{ctm}$
Keskimääräinen kimmo kerroin	E_{cm}	29000	30000	31000	33000	34000	35000	36000	37000	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$

Teräksen ja betonin tulee teräsbetonirakenteissa muodostaa yhdessä toimiva kokonaisuus. Betonin heikon vetolujuuskapasiteetin vuoksi se ei pysty vastaanottamaan lainkaan vetorasitusta, minkä vuoksi ne otetaan useimmiten vastaan teräksellä. Terästen sitkeyden vuoksi ne kestävät muodonmuutoksia hyvin. Ne teräkset, joita käytetään betonirauδοitteissa, jaotellaan myötölujuuden F_{yk} mukaan. Sitkeyden tulee raudoitteissa olla tarpeeksi suuri, mikä määritellään teräksen vetolujuuden F_t ja myötörajan välisen suhteen sekä murtovenymän ϵ_{uk} arvoina. Standardin SFS-EN 10080 mukaisilla testausmenetelmillä tulee todentaa betoniteräksien vaadittavat ominaisuudet. Teräkset jaotellaan kolmeen sitkeysluokkaan, A, B ja C, standardin SFS-EN 1992-1-1 C- liitteessä. Tavallisimmin käytössä olevat A500HW- ja B500B-betoniteräkset ovat osa sitkeysluokkaa B. Taulukossa 4 esitetään betoniterästen eri sitkeysluokkia. Kuvassa 4 esitetään puolestaan SFS-EN 1992-1-1 betoniteräksen jännitys-venymäyhteydet, jotka nousevat jännitys- ja vakiojännitysmyötörajan jälkeen. Vakiojännityksen kohdalla muodonmuutoksen suuruutta ei rajoiteta – jännitys pysyy vakiona myötörajan ylittyessä. Jännitys noustessa

teräksen jännitys voi niin ikään nousta, kunnes muodonmuutos on saavuttanut sallitun ylärajan ϵ_{ud} .

Taulukko 5. Sitkeysluokkien vaatimukset (SFS 1992-1-1 liitteen C)

Tuotteen muoto	Suorat ja oikaistut tangot			Verkkoraudoitteet		
Luokka	A	B	C	A	B	C
Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	400...600 MPa					
Suhteen $k=(f_t/f_y)_k$ vähimmäisarvo	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$
Suhteen $k=(f_t/f_y)_k$ enimmäisarvo			$< 1,35$			$< 1,35$
Suurinta voimaa vastaavan venymän ominaisarvo ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$



Kuva 4. Betoniteräksen jännitysvenymäkuvaaja (SFS 1992-1-1, 2007)

3.6 Osavarmuuslujuus

Varmuudet osoitetaan osavarmuuksilla, kun kyseessä on rajatilan mitoitus. Eurokoodin ohjeen mukaan kuormia tulee kasvattaa ja materiaalilujuuksia pienentää. Alla olevasta taulukosta ilmenevät Suomen kansallisen valinnan mukaiset murtorajatilan ja onnettomuusrajatilan osavarmuusluvut betonille ja betoniteräksille.

Taulukko 5. Betoniteräksen osavarmuusluvut eurokoodin valinnan mukaisessa murto- ja onnettomuusrajatilassa. (SFS-EN 1992-1-1-A1+AC).

Mitoitustilanteet	betonin γ_c	betoniteräksen γ_s	jänneteräksen γ_s
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15	1,15
Onnettomuus	1,2	1,0	1,0

Eurokoodin valinnan mukaisesti betonin puristuslujuuden mitoituksen arvo F_{cd} , määritetään osavarmuusluvun avulla

$$F_{cd} = 0,85 \frac{F_{ck}}{\gamma_c} \quad (2)$$

Tässä F_{ck} on betonin lieriölujuus ja γ_c betonin osavarmuus.

Betonin vetolujuuden mitoitus F_{ctd} , määritetään kohdistamalla osavarmuusluku seuraavanlaisesti:

$$F_{cd} = F_{ck} / \gamma_c, \text{ missä } F_{ctk0.05}, \text{ on betonin vetolujuus.} \quad (3)$$

Betoniteräksen myötölujuuden arvo F_{yd} , määritetään seuraavanlaisesti:

$$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_s, \text{ Raudituksen mitoituslujuus} \quad (4)$$

3.7 Betonipeite ja säilyvyys

Hyvin säilyvän rakenteen tulee koko suunnitellun käytön ajan standardin SFS-EN 1992-1-1 suunnitteluperusteiden mukaan täyttää lujuuden, stabiiliuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Oletusarvoisesti rakenne ei siis menetä huomattavasti käyttökelpoisuuttaan, eikä sen käyttökelpoisuus oletettavasti vaadi kohtuutonta, ennalta aavistamatonta huolenpitoa. Rakenteen vaatima suojaus tulee toteuttaa niin, että rakenteen rasitukset

ja sen käyttötarkoitus huomioidaan. Pääosin rasitukset muodostuvat esimerkiksi välittömien kuormien, välillisten kuormien ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Perustuksen välillisiä kuormia ovat muun muassa pakkovoimat, jotka syntyvät kutistumisen seurauksena. Perustuksien välittömät kuormat tulevat useimmiten yläpuolisista rakenteista. Ympäristövaikutukset ovat joko kemiallisia tai fysikaalisia. Kemiallisiin rasituksiin lukeutuvat sulfaattisuolat, happoliuokset ja kloridit. Välillisenä ilmenevä fysikaalinen rasitus on esimerkiksi lämpötilan muutos.

3.8 Betonipeitteen vähimmäisarvo, c_{min}

Betonipeitteen vähimmäisarvo c_{min} on vähintään tangon halkaisijan tai $c_{min,dur}$ tai 10 mm, missä $c_{min,dur}$ on ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo. Betonipeitteen vähimmäisarvoa $c_{min,b}$ suurennetaan 5 mm, mikäli kiviaineksen suurin nimelliskoko on yli 32 mm.

4 Pohdinta

Laskentapohjaa tehdessä haastavinta oli saada Excel-ohjelma mitoittamaan laiteperustuksen rakenneosat eli koneen perustukset ja saada koneen tasapainoon keskipiste, koska koneen paino laskeutuu perustukselle epätasaisesti. Toinen ongelma oli laskea epäkeskisyyssarvot, koska epäkeskisyyttä ilmenee helposti, kun pystyvoiman lisäksi perustukseen vaikuttavat vaakavoimat, mutta tässä tapauksessa laiteperustus tulee paalulaatalle, minkä takia oli tosi haastavaa laskea esimerkiksi vaakakuormat.

Laskentapohjassa tehtiin mitoituslaskelmat maanvaraisesta koneperustuksesta ja tarkasteltiin eurokoodin sanelemia mitoitusperusteita. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin murto- ja käyttörajatilan mukaista laskentaa. Nämä pitivät sisällään anturan kuormayhdistelmien, kantokestävyyden, taivutuksen, raudoituksen, leikkauksen ja halkeamaleveyden laskelmat. Laskelmien taustateoriaan tutustuttiin laskelmien yhteydessä. Työssä luotiin laskentapohja, joka näkyy laskettuna Excelissä, sekä esimerkkilaskelmat perustuksen mitoituksesta.

Määrävimmin yhdistelmän muodostaminen edellyttää eri yhtälöiden ja menetelmien käyttöä, mikä tekee murto- ja käyttörajatilan kuormien yhdistelystä myös käsin laskettaessa vaativan prosessin. Kuorman aiheuttajia voi lisäksi olla useita ja niiden vaikutussuunnat saattavat poiketa toisistaan. Kun yhdistelmiä laskettiin, kuormia jouduttiin käsittelemään niin, että määrääväksi suunnaksi valittiin suuremman momentin aiheuttavan pystykuorman suunta, ja se merkittiin suuntana B. Kuormayhdistelmät tehtiin kokonaisuudessaan tällä tavoin, ja mitoitusvaiheessa laskentaan sisällytettiin toisen suunnan vaakakuormat. Yleensä anturan sivumitat määritetään kantokestävyyskaavan perusteella ja anturan korkeus, betonin lujuus ja raudoitus puolestaan rakenneteknisen mitoituksen perusteella.

5 Liitteet

5.1 Lähtötiedot

MAANVARAINEN LAITEPERUSTUS			
Rakennuskohde:		Työ no:	
Tekijä:	Aadan Ali Hasan		
Päiväys:	11.1.2020		
Sisältö:			
Materiaalit			Lähtötiedot OK!
Betoni =	C30/37	B ₁ =	4800
Karbonatsoituminen =	XC2	B ₂ =	2900 mm
Kloridirasitus =	XD1	h =	700 mm
Kemiallinen rasitus =	XA1	c =	50 mm
Käyttökä =	50	c ₁ =	50 mm
Halkeiluraja =	0,3 mm	h _b =	500 mm
Betoniteräs =	B500B	b ₁ =	800 mm
		b ₂ =	500 mm
			x-suunta
			y-suunta
			d _x = 650
			d _y = 620
			mm
			x-suunta
			y-suunta
Päätökset:			
Teräs Tsx(Ax) =	20 mm	Terästen ylöstaivutus dh =	300 mm
c/cx =	180 mm	Ankkurointitapa	Taiutettu teräs
Teräs Tsy (Ay) =	20 mm	Ankkurointiolosuhteet	Hyvät
c/cy =	170 mm		
Kiihtyvyys	9,8 m/s ²	Betoni tiheys	25 kN/m ³
Maan sallittu pohjapaine	200 kN/m ²	Ylempi laatan korkeus	300 mm
		Dynaamiset kertoimet	1,5 m
Konen kuormat			
Massa(kg)	Massa(N)	Massa(KN)	Dynaamiset kertoimet
15600	152880	152,88	1,5
		koken voimat(KN)	
		229,32	
Kuormitukset			
Ominaiskuormat			
G _{perustus}	243,6 kN	Lasketaan jalustan omapaino	
G _{ylempi}	104,4 kN	lasketaan ylempi laatan omapaino	
NG _{op}	365,4 kN	Lasketaan kokonaispaino lisäten laatan ja perustuksen painon lisäksi PL ja PI	
Pystyskuormat			
N _{ok} =	594,7 kN		Pysyväkuorma
N _o =	802,9 kN	MRT, laskettu kuorma	Luokka C, kokoontumistilat
N _{o2k} =	kN		
N _{o2k} =	kN		
N _{o3k} =	kN		
X-Suunta-Y-akselin ympäri			
Vaakakuorma Päällä			
M _k =	126 kNm	H _{ok,y} =	90 kN
M _{o2k,x} =	kNm	H _{o2k,y} =	135 kN
M _{o2k,x} =	kNm	H _{o2k,y} =	kN
M _{o2k,x} =	kNm	H _{o3k,y} =	kN
M _{o3k,x} =	kNm	H _{o4k,y} =	kN
Luotettavuusluokka			
	RC2	K _{pl} =	1
Osavarmuus- ja yhdistelykertoimet SFS-EN 1990 mukaan			
γ _{G,sup,a} =	1,35		
γ _{G,sup,b} =	1,15		
γ _{G,inf} =	0,9		
γ _{o1} =	1,5		
γ _{o2} =	1,5		
γ _{G,sup,det} =	1,1		
γ _{G,inf,det} =	0,9		
γ _{o,det} =	1,5		

5.2 Kuormitusyhdistelyt

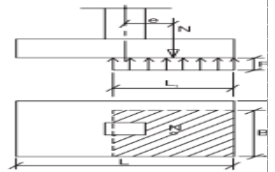
Yhdistelykertoimet						
Kuorma				Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Luokka E, varastotilat			NQ1	1	0,9	0,3
Luokka B, toimistotilat			NQ2	0,7	0,5	0,3
Luokka D, myymälätilat			NQ3	0,7	0,7	0,6
Luokka B, toimistotilat			MQ1,x	0,7	0,5	0,3
Luokka D, myymälätilat			MQ2,x	0,7	0,7	0,6
Luokka B, toimistotilat			HQ1,x	0,7	0,5	0,3
Luokka D, myymälätilat			HQ2,x	0,7	0,7	0,6
STR/GEO rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus, DA2						
Pystykuormat						
$N_{1d} = g_{G,sup,b} K_{FI} (NG_k + NG_{0k}) =$	1104,14 kN					
$N_{2d} = \gamma_{G,sup,a} K_{FI} (N_{Gk} + N_{G0k}) =$	1296,16 kN					
$N_{3d} = \gamma_{G,sup,b} K_{FI} (N_{Gk}) =$	683,93 kN					
$N_{Ed} = \max(N_{1d}, N_{2d}) =$	1296,16 kN					
y-akselin ympäri						
$M_{1yd,0} = \gamma_{G,sup,b} K_{FI} M_{Gk} =$	144,9 kNm					
$M_{2yd,0} = \gamma_{G,sup,a} K_{FI} M_{Gk} =$	170,1 kNm					
$H_{1xd} = \gamma_{G,sup,b} K_{FI} H_{G0k} =$	103,5 kN					
$H_{2xd} = \gamma_{G,sup,a} K_{FI} H_{Gk} =$	121,5 kN					
$M_{1yd} = M_{1yd,0} + (h_p + h) \cdot H_{1xd}$	269,1 kNm					
$M_{2yd} = M_{2yd,0} + (h_p + h) \cdot H_{2xd}$	315,9 kNm					
Laskentakuormat						
	$N_{Ed,STR} =$	1296,162 kN				
	$N_{Ed,GEO} =$	1296,16 kN				
	$N_{Ed,Punch} =$	683,93 kN				
	$M_{y,Ed} = \max(M_{1yd}, M_{2yd}) =$	315,90	y-akselin ympäri			
Ominaisyhdistelmä						
Pystykuormat						
$N_k = N_{Gk} + N_{G0k} =$	960,12 kN					
y-akselin ympäri						
$M_{yk} = M_{Gk} =$	126 kNm					
$H_{kk} = H_{G0k} =$	90 kN					
Laskentakuormat						
	$N_{Ek,SLS,lyhyt} =$	960,12 kN	y-akselin ympäri			
	$M_{y,Ek,lyhyt} =$	234 kNm				
Tavallinen yhdistelmä yhtälö						
Pystykuormat						
$N_k = N_{Gk} + N_{G0k} =$	960,12 kN					
y-akselin ympäri						
$M_{yk} = M_{Gk} =$	126 kNm					
$H_{kk} = H_{G0k} =$	90 kN					
Laskentakuormat						
	$N_{Ek,SLS} =$	960,12 kN				
	$M_{y,Ek} =$	234 kNm				
Staatisten tasapainorajatilan kuormat, mitoistapa 3 (DA3)						
$N_{1d} = \gamma_{G,sup,dst} (N_{Gk} + N_{G0k}) =$	1056,13 kN					
$N_{2d} = \gamma_{G,int,dst} (N_{Gk} + N_{G0k}) =$	864,11 kN					
y-akselin ympäri						
$M_{1dy,0} = \gamma_{G,sup,dst} K_{FI} M_{Gk} =$	138,6 kNm					
$M_{2dy,0} = \gamma_{G,int,dst} M_{Gk} =$	113,4 kNm					
$H_{1xd} = \gamma_{G,sup,dst} K_{FI} H_{G0k} =$	99 kN					
$H_{2xd} = \gamma_{G,sup,dst} K_{FI} H_{Gk} =$	99 kN					
$M_{1yd,EDQU} = M_{1dy,0} + (h_p + h) \cdot H_{1xd}$	257,4 kNm					
$M_{2yd,EDQU} = M_{2dy,0} + (h_p + h) \cdot H_{2xd}$	232,2 kNm					
Laskentakuormat						
	$N_{ED,EDQU} =$	864,11 kN				
	$M_{ED,EDQU,y} =$	113,4 kNm	y-akselin ympäri			
	$H_{ED,Sliiding,x} =$	99 kN				

5.3 Data 1

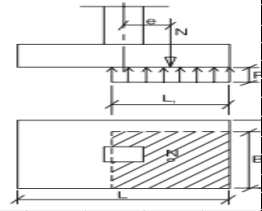
Olosuhde- ja Materiaalitaulukot							
Betoni, ominaislujuudet ja -arvot:							
Tunnus	f_{ck} MPa	$f_{ck,cube}$ MPa	f_{cm} MPa	$f_{ctk,0,05}$ MPa	f_{ctm} MPa	E_{cm} MPa	nro
C12/15	12	15	20	1,1	1,6	27085	1
C16/20	16	20	24	1,3	1,9	28608	2
C20/25	20	25	28	1,5	2,2	29962	3
C25/30	25	30	33	1,8	2,6	31476	4
C30/37	30	37	38	2,0	2,9	32837	5
C35/45	35	45	43	2,2	3,2	34077	6
C40/50	40	50	48	2,5	3,5	35220	7
C45/55	45	55	53	2,7	3,8	36283	8
C50/60	50	60	58	2,9	4,1	37278	9
μ_d 0,324							
Betoniteräs, ominaislujuudet:							
Tunnus	f_{yk} MPa	E_s MPa	ϵ_y ‰	ϵ_{ud} ‰			
B500A	500	200000	2,5	10	B500K		
B500B	500	200000	2,5	10	A500HW		
B500C	500	200000	2,5	10	B500C1		
B600XA	600	200000	3	10			
B600XB	600	200000	3	10			
B600XC	600	200000	3	10			
Halkeamaleveyden rajoittaminen ilman suoraa laskentaa (SFS-EN 1992-1-1: 2004: 7.3.3)							
Suurin tankokoko:				Suurin tankoväli:			
Teräs- jännitys N/mm ²	Suurin tankokoko			Teräs- jännitys N/mm ²	Tankojaon enimmäisarvo		
	$w_k = 0.4$	$w_k = 0.3$	$w_k = 0.2$		$w_k = 0.4$	$w_k = 0.3$	$w_k = 0.2$
160	40	32	25	160	300	300	200
200	32	25	16	200	300	250	150
240	25	16	12	240	250	200	100
280	20	12	8	280	200	150	50
320	16	10	6	320	150	100	0
360	12	8	5	360	100	50	0
400	10	6	4				
450	8	5	0				
Pääraudoituksen ankkurointi (SFS-EN 1992-1-1: 2004: 8.4)							
Raudoitus B ₁ (x) suuntaan							
Ankkurointitapa1	α_1	α_2	α_3	α_5			
Suora teräs	1,00	1,075	1,00	1,00	1,00		
Taivutettu teräs	1,00	1,08	1,00	1,00	1,00		
Raudoitus B ₂ (y) suuntaan							
Ankkurointitapa2	α_1	α_2	α_3	α_5			
Suora teräs	1,00	1,000	1,00	1,00	1,00		
Taivutettu teräs	1,00	1,08	1,00	1,00	1,00		
Tartuntaolosuhteet	η_1					(SFS-EN 1992-1-1: 2004: 8.4.2)	
Hyvät	1						
Muut kuin hyvät	0,7						
Tangon halkaisija	η_2					(SFS-EN 1992-1-1: 2004: 8.4.2)	
8-32 mm	1						
Laskenta ei täytä vaatimuksia							
Laskenta täyttää vaatimuksia							
negatiivinen_tulos>0							
valittu_ankkurointitapa="taivutettu teräs"							

5.4 Laskenta

Mananvarainen laiteperustus									
Betoni:									
Tunnus	yc	fck	fcd	fctk,0,05	fctd	fcm	fctm	Ecm	
C30/37		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	
		1,5	30	17	2	1,33	38	2,90	32836,57
Betoniteräs									
Tunnus	ys	fyk	fyd	Es					
B500B		MPa	MPa	MPa					
		1,15	500	435	200000				
Lähtötiedot OKI									
B1 =	4800	mm							
B2 =	2900	mm							
h =	700	mm							
c	50	mm							
cr	50	mm							
hp	500	mm							
b1 =	800	mm							
b2 =	500	mm							
dx =	650	mm							
dy =	620	mm							
C1 =	2000	mm							
C2 =	1200	mm							
Lukumäärä n _x =	17	kpl							
Lukumäärä n _y =	29	kpl							
s _{max} =	250	mm							
betoniluokkava aitimus	C30/37								
dh,max	600	mm							
dh,min	300	mm							
Lähtötietojen verheet									0
Epäkeskisyyslaskenta									
Kaava									
a. Vaihtoehto N _{min} +H _{max}									
N _{min}	535,2	KN							Pystykuormat eli alustan omapaino ja konen paino laskettuna yhteensä
H _{max}	135	KN							Vaakakuormat
Epäkeskisyyskaava									
e.N=H _{max} .h	ea =	e =	H _{max} .h/N					ek =	0,11 m
			0,18 m					Mk =	126 KNm
b. Vaihtoehto N _{max} +H _{max}									
N _{max}			803	KN					
H _{max}			135	KN					
eb =			0,12	m					H _{max} .h/N
Momentti									
Med	168	kNm							
ed1	0,21	m							Med/Nd
σ _{m,sall}	200	KN/m ²							
Pohjapaine ulkoisesta kuormasta									
σ _m = N _u / AB * (1+6e/A)									
σ _{alusta}	18	KN/m ²							Lasketaan maan anturan aiheuttama pohjapaine betonin tiheydelle
Ulkoisesta kuormasta voi aiheutua	183	KN/m ²							h * 25 / m ³
σ _{m,sall,ulko}	ed2	0,21	m						σ _{m,sall} - σ _{alusta}
									e _d = M _{ed} / (N _u * h)
Pohjapaine									
Momentti Y akselin ympäri									
L _{x,k}	4800	mm							
e _{x,d}	0,21	m							e _d = M _{y,Ed} / N _{u,Ed} < B _y /3
L _{x,d}	4380	mm							L _{x,d} = B _y - 2e _{x,d}
Ped _{x,d}	63,2	KN/m ²							P _{x,Ed} = N _{u,Ed} / (B _y * L _{x,d}) < B _y /3
Ped _{x,ek}	69,0	KN/m ²							
Momentti x akselin ympäri									
L _{y,k}	2900	mm							
ed _y	0								
L _{y,d}	2900	mm							B _y - 2e _{y,d}
P _{y,Ed}	57,7	KN/m ²							P _{y,Ed} = N _{u,Ed} / (B _y * L _{y,d}) <
P _{y,Ek}	68,97	KN/m ²							
MRT momentti y-akselin ympäri:									
M _{y,ed}	366,6	kNm							M _{y,ed} = P _{x,Ed} * B _y * c ₂ ² / 2
μ _{y,ed}	0,0176								μ _{y,ed} < μ _d
β _{y,ed}	0,01776								
Z _{y,ed}	644,2	mm							
F _{y,ed1}	569,1	KN							
A _{s,vaad,x}	1308,85	mm ²							
A _{s,max,x}	9110,82	mm ²							A _{s,min} = max(0.26 * f _{ctd} / f _{yk} * b * d; 0.0013b * d; 0.2A _{s,y})
A _{s,max,x}	121800	mm ²							A _{s,max} = 0.06Ac
A _{s,x}	5340,71								A _{s,x} > A _{s,vaad,x}
MRT momentti x-akselin ympäri:									
M _{x,ed}	199,334	kNm							M _{x,ed} = P _{y,Ed} * B _x * c ₂ ² / 2
μ _{x,ed}	0,006								μ _{x,ed} < μ _d
β _{x,ed}	0,006								
Z _{x,ed}	618,0	mm							
F _{y,ed1}	322,53	KN							
A _{s,vaad,y}	741,8	mm ²							(SFS-EN 1992-1-1: 2004: Kaava 9.1N)
A _{s,min,y}	4482,3	mm ²							A _{s,min} = max(0.26 * f _{ctd} / f _{yk} * b * d; 0.0013b * d; 0.2A _{s,y})
A _{s,y}	9110,62	mm ²							



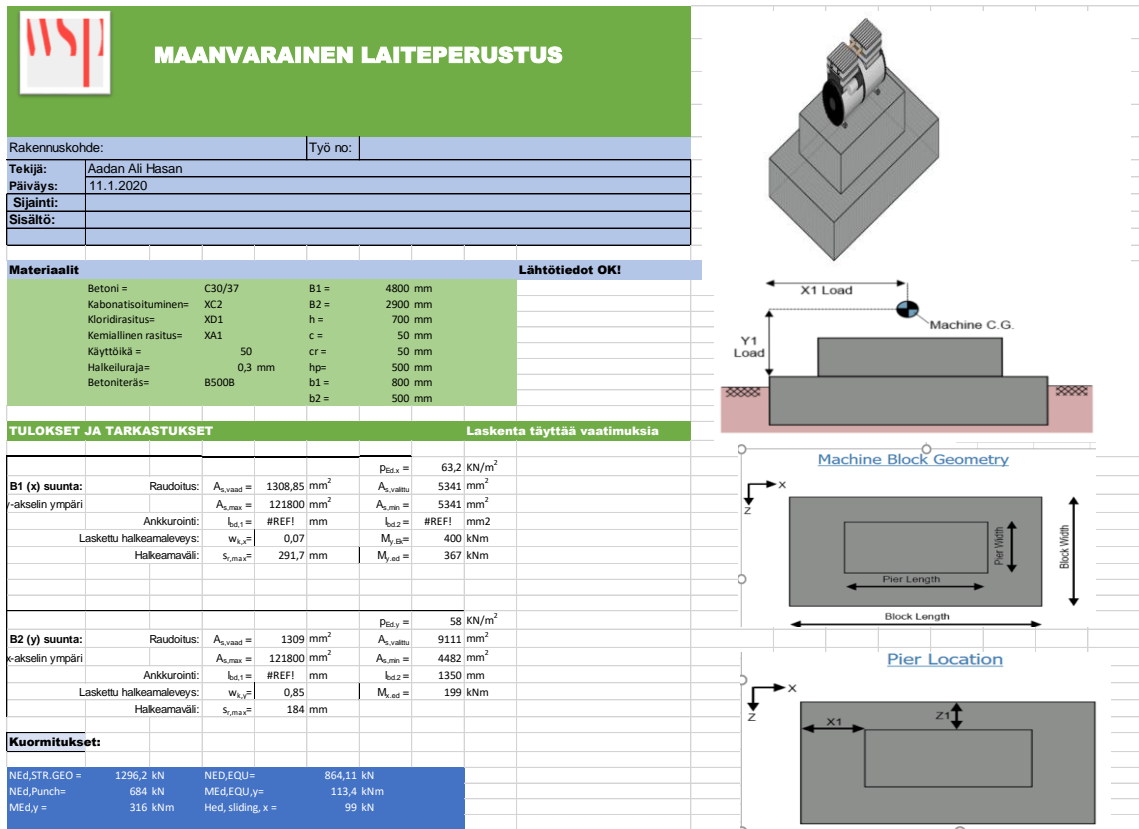
Momentti			
Med	168 kNm		
ed1	0,21 m	Med/Nd	
$\sigma_{m,sall}$	200 KN/m ²		
Pohjapaine ulkoisesta kuormasta			
$\sigma_{m} = N_d / AB * (1 + 6e/A)$			
$\sigma_{sallusta}$	Lasketaan maan anturan aiheuttama pohjapaine betonin tiheydelle		
$\sigma_{sallusta}$	18 KN/m ²	$h * 25 / m^3$	
Ulkoisesta kuormasta voi aiheutua			
$\sigma_{m,sall,ulko} =$	183 KN/m ²	$\sigma_{m,sall} + \sigma_{sallusta}$	
ed2	0,21 m	$e_d = \frac{M_{y,d} + H_{y,d}h}{N_d}$	
Pohjapaine			
Momentti Y akselin ympäri			
L _{x,k} =	4800 mm		
e _{x,d} =	0,21 m	$e_{x,d} = M_{y,EI} / N_{d,EI} < B_y/3$	
L _{x,d} =	4380 mm	$L_{x,d} = B_y - 2e_{x,d}$	
P _{ed,x,d}	63,2 KN/m ²	$P_{x,EI} = N_{d,EI} / (B_y * L_{x,d}) < B_y/3$	
P _{ed,x,ek}	69,0 KN/m ²		
Momentti x akselin ympäri			
L _{y,k} =	2900 mm		
e _d =	0		
L _{y,d} =	2900 mm	$B_z - 2e_{y,d}$	
P _{y,EI} =	57,7 KN/m ²	$P_{y,EI} = N_{d,EI} / (B_z * L_{y,d}) <$	
P _{y,Bz} =	68,97 KN/m ²		
MRT momentti y-akselin ympäri:			
M _{y,ed} =	366,6 kNm	$M_{y,ed} = P_{x,ed} * B_z * c_1^2 / 2$	
$\mu_{x,ed}$ =	0,0176	$\mu_{x,ed} < \mu_d$	
$\beta_{x,ed}$ =	0,01776		
Z _{x,ed} =	644,2 mm		
F _{x,ed} =	569,1 kN		
A _{s,vaad,x} =	1308,85 mm ²		
A _{s,min,x} =	9110,82 mm ²	$A_{s,min} = \max(0,26 * f_{ctm} / f_{yk} * b * d; 0,0013b * d; 0,2A_{s,y})$	
A _{s,max,x} =	121800 mm ²	$A_{s,max} = 0,06Ac$	
A _{s,x} =	5340,71	$A_{s,x} > A_{s,vaad,x}$	
MRT momentti x-akselin ympäri:			
M _{x,ed} =	199,334 kNm	$M_{x,ed} = P_{y,ed} * B_z * c_2^2 / 2$	
$\mu_{y,ed}$ =	0,006	$\mu_{y,ed} < \mu_d$	
$\beta_{y,ed}$ =	0,006		
Z _{y,ed} =	618,0 mm		
F _{y,ed} =	322,53 kN		
A _{s,vaad,y} =	741,8 mm ²	(SFS-EN 1992-1-1: 2004: Kaava 9.1N)	
A _{s,min,y} =	4482,3 mm ²	$A_{s,min} = \max(0,26 * f_{ctm} / f_{yk} * b * d; 0,0013b * d; 0,2A_{s,y})$	
A _{s,y} =	9110,62 mm ²		



Päävetoraidoituksen ankkurointi			
$\eta_1 =$	1,00		
$\eta_2 =$	1,00		
$f_{yd} =$	3,33 MPa	SFS-EN 1992-1-1, 8.4.2	
B1 suunta (x)			
$dTx =$	180 mm	taivutus halkaisija	
$e_x =$	300,00 mm		
$AtoB_x =$	#REF!	mm	
$Z_x =$	585 mm		
$\alpha_{1,x} =$	1,00		
$\alpha_{2,x} =$	1,00		
$\alpha_{3,x} =$	1,00		
$\alpha_{5,x} =$	1,00		
ankkurointi h/2 etäisyydellä reunasta			
$X_{s1} =$	350 mm		
$R_{s1} =$	64,16 kN		
$Z_{sxt1} =$	#REF!	mm	
$F_{sxt1} =$	#REF!	kN	
$\sigma_{sxt1} =$	#REF!	kN	$\sigma_{sxt1} < f_{yd}$
$b_{rd,sx1} =$	#REF!	mm	$\max(b_{d,sx1}, b_{min,sx1}) < b_{max,sx1}$
$b_{d,sx1} =$	#REF!	mm	$b_{min} = \max(0.3 \cdot b_{rd}, 10\phi, 100mm)$
$b_{max,sx1} =$	300 mm		
$b_{min,sx1} =$	#REF!	mm	
ankkurointi konen reunassa			
$X_{s2} =$	#REF!	mm	
$R_{s2} =$	#REF!	KN	
$Z_{sxt2} =$	#REF!	mm	
$F_{sxt2} =$	#REF!	KN	
$\sigma_{sxt2} =$	#REF!	Mpa	$\sigma_{sxt2} < f_{yd}$
$b_{rd,sx2} =$	#REF!	mm	$b_{d,sx2} < b_{max,sx2}$
$b_{d,sx2} =$	#REF!	mm	
$b_{max,sx2} =$	1350 mm		
virheet : ankkurointi B1 suunta: 0 kpl			
B2 suunta (y)			
$dTy =$	180 mm	Taivututelen Halkaisija	
$e_y =$	180,00 mm		
$AtoB_y =$	1030,00 mm		
$Z_y =$	558 mm		
$\alpha_{1,y} =$	1,0		
$\alpha_{2,y} =$	1,0		
$\alpha_{3,y} =$	1,0		
$\alpha_{5,y} =$	1,0		
ankkurointi h/2 etäisyydellä reunasta			
$X_{s1} =$	350 mm		
$R_{s1} =$	96,90 KN		
$Z_{syt1} =$	855,00 mm		
$F_{syt1} =$	148,47 KN		
$\sigma_{syt1} =$	27,80 MPa		$\sigma_{syt1} < f_{yd}$
$b_{rd,sy1} =$	41,70 mm		$\max(b_{d,sy1}, b_{min,sy1}) < b_{max,sy1}$
$b_{d,sy1} =$	41,70 mm		
$b_{max,sy1} =$	400 mm		$\max(b_{d,sy1}, b_{min,sy1}) < b_{max,sy1}$
$b_{min,sy1} =$	200 mm		$b_{min} = \max(0.3 \cdot b_{rd}, 10\phi, 100mm)$
ankkurointi konen reunassa			
$X_{s2} =$	850 mm		
$R_{s2} =$	235,32 kN		
$Z_{syt2} =$	425,00 mm		
$F_{syt2} =$	179,23 kN		
$\sigma_{syt2} =$	33,56 Mpa		$\sigma_{syt2} < f_{yd}$
$b_{rd,sy2} =$	50,34 mm		$b_{d,sy2} < b_{max,sy2}$
$b_{d,sy2} =$	50,34 mm		
$b_{max,sy2} =$	800 mm		
virheet : ankkurointi B1 suunta: 0 Kpl			
Halkeilurajat: Betonirakenteet 2016, ympäristöministeriö			
Karbonatisoituminen XC2			
$w =$	0,3	rasitusluokan mukainen halkeamaleveysvaatimus	
Kloridirasitus XD1			
$w =$	0,3	rasitusluokan mukainen halkeamaleveysvaatimus	
$c =$	50 mm	x-suunnan betonipeite	
$c_y =$	70	y-suunnan betonipeite	
$w_{max} =$	0,3	Käyttöiän mukainen halkeamaleveysvaatimus	

Halkeamaleveys, yleinen tapaus			
$E_{c,eff} =$	32836,57 MN/m ²	$E_{c,eff} = E_{cm}$	
$\alpha_c =$	6,1	$E_s/E_{c,eff}$	
$k_1 =$	0,4	lyhytaika. Kuormille 0,6, pitkäaika	kuormille 0,4
$k_2 =$	0,8	hyvä tartunta 0,8(harjateräs), huono tartunta 1,6(sileät tangot).	
$k_3 =$	0,5	taivutukselle 0,5, vedolee 1,0	
$k_4 =$	3,4	vakio	
	0,425	vakio	
Momentti x-akselin ympäri			
$M_{j,k} =$	238,37 kNm	$P_{y,eff} B_1 c_1^2 / 2$	
$h_{c,eff,x} =$	200 mm	$\min[2,5(h-d_y); (h-x_{01})/3; h/2]$	
$A_{c,eff,x} =$	960000 mm ²	$B_1 \cdot h_{c,eff}$	
$\rho_{s,eff,x} =$	0,01	$A_s / A_{c,eff}$	
$x_{01,x} =$	80,36 mm	$-A_s \alpha_c / B_1 + ((A_s \alpha_c)^2 + 2 \cdot A_s \alpha_c d_s B_1) / 0,5 / B_1$	
$I_{cp} =$	16989846723 mm ⁴	$1/3 B_1 x^3 + \alpha_c \cdot A_s (d_s - x)^2$	
$\epsilon_{cs} =$	3,43359E-05	$M_{j,k} / (E_s I_{cp}) \cdot x$	
$\epsilon_{cs} =$	0,000230578	$\epsilon_{cs} \cdot (d_s - x) / x$	
$\sigma_{s,x} =$	46,1 Mpa	$E_s \cdot \epsilon_{cs}$	
$\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m} =$	0,00023	$[\sigma_s - k_1 (f_{ctm} / \rho_{s,eff}) (1 + \alpha_s \rho_{s,eff})] / E_s > 0,6 \sigma_f / E_s$	
$s_{r,max,x} =$	291,7 mm	$k_3 C + k_1 k_2 k_3 \phi / \rho_{s,eff}$	
$s_{r,max,x} =$	291,66 mm		
$M_{cr,x} =$	1135,4 kNm	$M_{cr} = f_{ctm} W_e, W_e = B_1^3 H^2 / 6$	
$w_{k,x} =$	0,07 mm	$s_{r,max} (\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m})$	
$w_{k,x} =$	0	Jos $M_{k,x} < M_{cr,x}, M_{cr,x}, W_{k,x} = 0$	
Halkeamakestävyys ei ylitä. Poikkileikkaus ei halkea.			
Momentti y-akselin ympäri			
$M_{j,k} =$	400,1 kNm	$M_{j,k} = P_{x,eff} B_2 c_2^2 / 2$	
$h_{c,eff,y} =$	125 mm	$\min[2,5(h-d_x); (h-x_{02})/3; h/2]$	
$A_{c,eff,y} =$	362500 mm ²	$B_2 \cdot h_{c,eff}$	
$\rho_{s,eff,y} =$	0,015	$A_s / A_{c,eff}$	
$x_{02,y} =$	110,1 mm	$A_s / A_{c,eff}$	
$I_{cp} =$	1290473203 mm ⁴	$M_{y,j,k} / (E_s I_{cp}) \cdot x$	
$\epsilon_{cs} =$	0,00104	$\epsilon_{cs} \cdot (d_s - x) / x$	
$\epsilon_{cs} =$	0,0050975	$E_s \cdot \epsilon_{cs}$	
$\sigma_{s,y} =$	1019,5		
$\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m} =$	0,004642204	$[\sigma_s - k_1 (f_{ctm} / \rho_{s,eff}) (1 + \alpha_s \rho_{s,eff})] / E_s > 0,6 \sigma_f / E_s$	
$s_{r,max,y} =$	184,2 mm	$k_3 C + k_1 k_2 k_3 \phi / \rho_{s,eff}$	
$s_{r,max,y} =$	184,2 mm		
$M_{cr,y} =$	685,98 kNm	$M_{cr} = f_{ctm} W_e, W_e = B_2^3 H^2 / 6$	
$w_{k,y} =$	0,85 mm	$s_{r,max} (\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m})$	
$w_{k,y} =$	0	Jos $M_{k,y} < M_{cr,y}, M_{cr,y}, W_{k,y} = 0$	
Halkeamakestävyys ei ylitä. Poikkileikkaus ei halkea. Todellinen halkeamaleveys kun huomioidaan halk.kestävyys			
Leikkausraudoittamattoman laatan leikkauskapasiteetti			
$\cot \theta =$	1,0	$\theta =$	45,0 °
$a = d \cot \theta$			
$d_{eff} = (d_x + d_y) / 2 =$	635 mm		
$r_{s1} = d_{eff} \cot \theta =$	635 mm		
$u_1 = 2b_1 + 2b_2 - 2r_{s1} \cot \theta =$	6590 mm		
$\rho =$	0,0029		
$k = 1 + \sqrt{200 / d_{eff}} \leq 2,0 =$	1,6		
$D = [c_1 c_2]^{0,5} =$	632 mm		
$C_{(Rd,c)} = 0,3(D/d+1,5) / (\gamma_c (D/d+4)) =$	0,10		
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ctk}^{3/2} =$	0,10	(EC2 6.3N)	Kansallinen valinta
$k_f =$	0,1	6.2.2 (1)	Kansallinen valinta
$\sigma_{cp} =$	0		
$V_{Rd} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{tk})^{1/3} \times 2d / a \geq v_{min} \times 2d / a$			0,6
Laskennan hyväksyntä			
	Negatiivinen Tulos	0 Laskee hyväksytyt tulokset ja lähtöarvot Laskenta täyttää vaatimuksia	

5.5 Tulos



6 Lähdeluettelo

Puttonen, J. 2016. Koneperustukset rungon osana, nosturikuormat ja rungon värähtelyjen hallinta. Espoo: Aalto-yliopisto. Luentomateriaali. s. 27.

Salonen, E.M. 2003. Dynamiikka I. Helsinki: Otatieto. S. 227. ISBN 951-672-303-9.

SFS-EN 1997-1. 2009. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1997-1. 2007. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1–1:

Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kansallinen liite.

Suomen Betoniyhdistys 2004. Betoninormit 2004 by50. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005.

Salonen, E.M. 2003. Dynamiikka I. Helsinki: Otatieto. s. 227.

<https://trepo.tuni.fi/>

<https://www.theseus.fi/>