



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Torninosturin perustaminen

Juho Lehtosaari

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kandidaatintyö

Lokakuu 2022

TIIVISTELMÄ

Torninosturin perustaminen

Tekijä: Juho Lehtosaari

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Työn ohjaaja yliopistolla: Hanna Rasi-Koskinen

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi torninostureiden yleisintä perustamistapaa eli maanvaraista laattaperustusta. Työn tavoitteena oli selvittää torninosturin perustuksen mitoituksen perusteet. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Työssä keskitytään ja käydään läpi maanvaraiselle laattaperustukselle kohdistuvia kuormia torninosturin tapauksessa. Myös itse perustuksen mitoitusperiaatteita raapaistaan pintapuolisesti.

Torninostureiden perustukset suunnitellaan standardia SFS-EN 1997-1 antura- ja laattaperustuksien suunnittelusta soveltaen. Mitoituksessa otetaan huomioon seuraavat rajatilat: kokonaisvakauden menetys, kantokestävyyden ylittyminen, lävistysmurtuma, pusertuminen, liukumurtuma, rakenteen ja maapohjan yhdistetty murtuminen, liian suuret painumat, paisumisesta (roudasta tai muista syistä johtuva liiallinen nousu) sekä värähtelyt, joita ei voida hyväksyä.

Avainsanat: torninosturi, perustus, mitoitus

ABSTRACT

Towercrane foundations

Author's First name Family name: Juho Lehtosaari

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis 2022, 28 pp. + 1 Appendix

Supervisor at the university: Hanna Rasi-Koskinen

This thesis examines the most common foundation method for tower cranes, underground slab foundation. The goal of the work was to find out the basis for dimensioning the foundation of the tower crane. The work was carried out as a literature review. The work focuses on and goes through the loads on the underground slab foundation in the case of a tower crane. The dimensioning principles of the foundation itself are also scratched superficially.

The foundations of tower cranes are designed by applying the standard SFS-EN 1997-1 on the design of sensor and slab foundations. The following limit states are checked in the design: loss of overall stability, exceeding the bearing capacity, punching fracture, crushing, sliding fracture, combined fracture of the structure and the ground, excessive settlements, excessive heave due to expansion (frost or other reasons) and unacceptable vibrations.

Keywords: tower crane, foundation, dimensioning

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	7
2 Torninosturit.....	8
2.1 Taivutuspuominosturit	11
2.2 Puristepuominosturi	13
2.3 Nosturin ja perustuksen liitos.....	14
3 Laattaperustus	16
3.1 Kuormitukset.....	16
3.3 Mitoitus	20
3.3.1 Staattinen tasapaino (EQU)	20
3.3.2 Kantokestävyys (GEO).....	21
3.3.3 Rakenteellinen murtumien (STR).....	23
4 Yhteenveto	25
5 Lähdeluettelo.....	26

LIITEET:

Liite 1. SFS-EN 1997 mukaiset osavarmuusluvut

MERKINNÄT JA LYHENTEET

EQU	Staattisen tasapainon rajatila
GEO	Geoteknisen kantavuuden rajatila
$G_{kj.inf}$	Pysyvä edullinen kuorma
$G_{kj.sup}$	Pysyvä epäedullinen kuorma
H_x	x-akselin suuntainen vaakavoima
H_y	y-akselin suuntainen vaakavoima
K_{FI}	Standardin SFS-EN 1990 mukainen kuormakerroin
KRT	Käyttörajatila
MRT	Murtorajatila
M_t	Vääntömomentti
M_x	x-akselin suuntainen taivutusmomentti
M_y	y-akselin suuntainen taivutusmomentti
$Q_{k,i}$	Muuttuvakuorma i
R_d	Maaperän kantavuuden mitoitusarvo
SRT	Rakenteellisen murtumisen rajatila
V	Pystykuorma
V_d	Perustusta vastaan kohtisuoran voiman mitoitusarvo
$\psi_{0,1}$	Muiden muuttuvien kuormien yhdistelykerroin

1 JOHDANTO

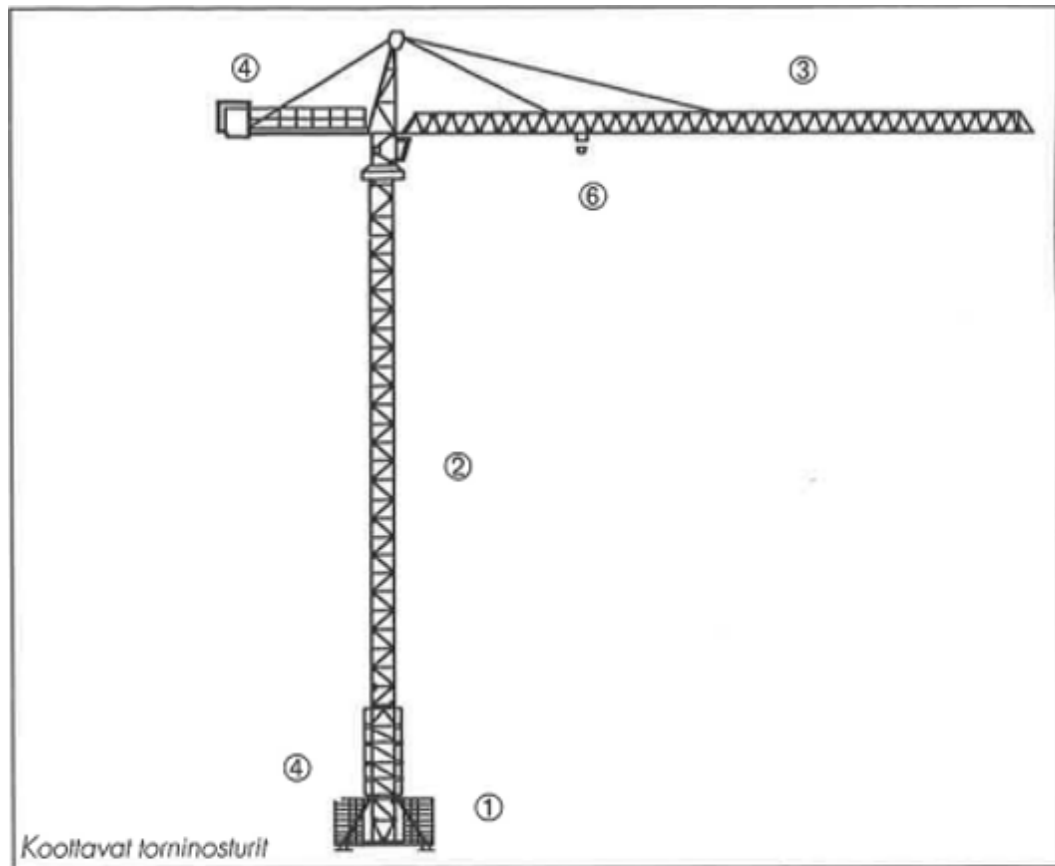
Tämän työn aiheena ovat torninosturit ja niiden perustusten mitoittamisperusteet. Aihe syntyi omassa päässäni, kun työmaalla katselin torninosturin perustuksen raudoitustöitä. Opinnäytetyö on tehty puhtaasti omasta mielenkiinnostani aihetta kohtaan. Työn tavoitteena on selvittää torninosturin maanvaraisen laattaperustuksen mitoittamiseen vaikuttavia tekijöitä, torninosturin perustukseen kohdistuvia kuormia ja periaatteellisella tasolla eurokoodin mukaisia mitoitusperusteita. Aihe on rajattu käsittelemään torninosturin perustusvaihtoehtoista yleisintä eli maanvaraista laattaperustusta. Työssä käsitellään rajatiloja ja periaatteita mitoitukselle, mutta itse laskentaa ei käsitellä kuin rajatilojen kuormitusyhdistelmiä tarkastelemalla. Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena.

2 TORNINOSTURIT

Torninostureita käytetään työmailla helpottamaan päivittäistä työntekoa. Ne ovat lähes korvaamaton osa rakentamista varsinkin nykypäivän elementtityömailla. Pelkästään rakennusteollisuus ei hyödy torninosturien tuomista eduista, vaan nostureita käytetään myös esimerkiksi satamissa tai suurilla varastoilla kuormien siirtämiseen.

Torninostureita on kahta eri perusmallia, yläkääntönosturi sekä alakääntönosturi. Yläkääntönosturissa nosturin kääntökehä sijaitsee torniosan ja puomin välissä, jolloin torniosa pysyy paikoillaan ja nosturista kääntyy pelkästään puomi. Alakääntönosturissa sen sijaan kääntökehä on sijoitettu tornin alaosaan, jolloin kääntyessään nosturista kääntyvät sekä puomi- että torniosa. Alakääntönosturia ei voida tukea läheisiin rakenteisiin ja on siksi rajoitettu suurimpaan vapaasti seisovaan korkeuteensa. Nostureita luokitellaan myös niiden puomin toimintaperiaatteen mukaan puristepuominostureihin sekä taivutuspuominostureihin, jotka voidaan edelleen jakaa alakategorioihinsa. (Marchand & Watson 2019, 33)

Torninosturi voidaan jakaa eri osiin monella eri tavalla. Alustaan luetaan perustus sekä käytettävä valujalka. Torniosa antaa nosturille tarvittavan korkeuden. Pääpuomia käytetään nostoetäisyyden hallintaan, ja vastapainopuomissa sijaitsevat nosturin vastapainot sekä vinssin moottori. Ohjaamo sijaitsee yläkääntönosturin pää, ja vastapainopuomin välissä ja sieltä ohjataan nosturin liikkeitä. Alakääntönosturissa ohjaamo sijaitsee yleensä torniosan alapäässä. Rakennustuotantokortisto 04-3007 jaottelee torninosturin osat kuvan 1 mukaan alustaan, torniin, taivutus- tai puristepuomiin, vastapainoihin, käyttö-, hallinta- ja varolaitteisiin sekä nostovaunuun ja koukkupesään.



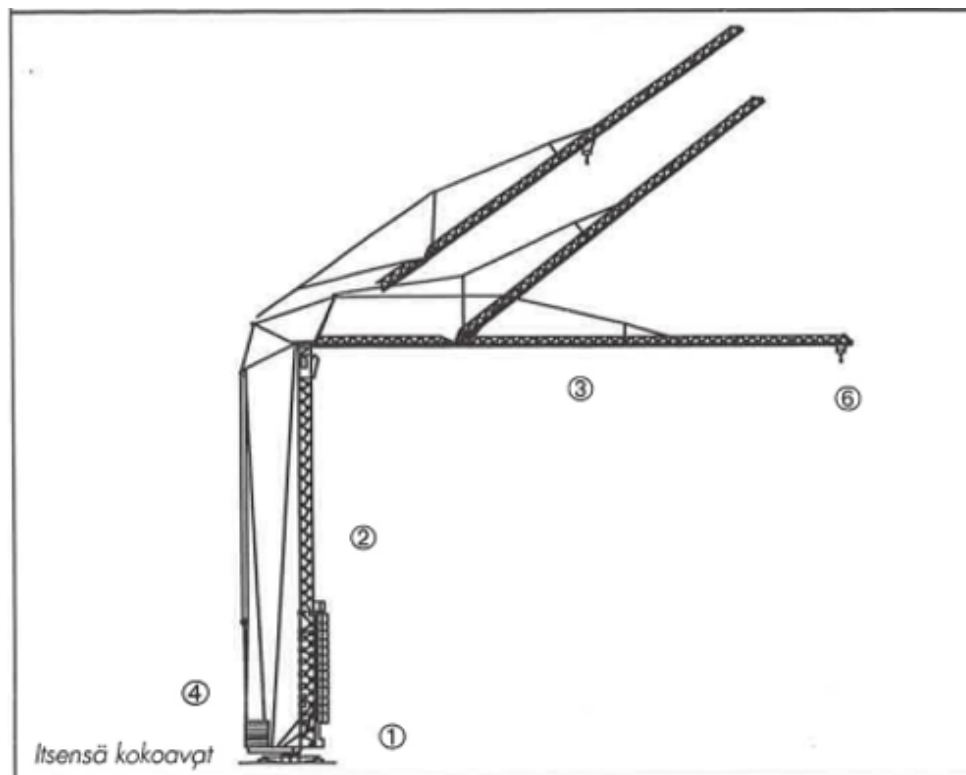
- | | |
|---|---|
| 1 | Alusta |
| 2 | Torni |
| 3 | taivutus tai puristepuomi, (kuvassa taivutuspuominen nosturi) |
| 4 | Vastapainot, joko vastapainopuomissa tai nosturin alustalla |
| 5 | Käyttö-, hallinta- ja varolaitteet:
-ajo-, kääntö- ja nostovaunun koneisto
-rajakatkaisimet, ylikuormitussuojat, hallinta- ja tukirakenteisiin liittyvät varolaitteet |
| 6 | nostovaunu ja koukkupesä |

Kuva 1. Koottavan torninosturin rakenne (Ratu 04-3007 1989).

Rakennustyömailla käytettävät torninosturit ovat pääosin koottavia, taivutuspuomisia yläkääntönostureita. Koottavat nosturit täytyy nimensä mukaan koota käyttäen apuna toista nosturia, (yleensä mobiili eli ajoneuvonosturi) tai kokoaminen voidaan tornin osalta suorittaa myös tunkkaamalla käyttämällä tarkoitukseen suunniteltua tunkkauskehikkoa.

Koottavissa nostureissa on se haittapuoli, että ne vaativat ympärilleen suuren tilan kokoamista ja purkaa varten. (Ratu 04-3007 1989)

On myös olemassa itsensä kokoavia nostureita, joita kutsutaan myös linkkunostureiksi (ks. kuva 2). Itsensä kokoavalla nosturilla tarkoitetaan nosturia, joka omilla moottoreillaan kokoaa ja purkaa puominsa. Linkkunosturi on vaihtoehto pienemälle työmaalle, joilla nostotehoa ei vaadita paljoa ja nosturin liikuteltavuus on tärkeää. Linkkunostureita käytetään myös järeämmän nostokaluston tukena. (Ratu 04-3007 1989)



- | | |
|---|---|
| 1 | Alusta |
| 2 | Torni |
| 3 | taivutus tai puristepuomi, (kuvassa taivutuspuominen nosturi) |
| 4 | Vastapainot, joko vastapainopuomissa tai nosturin alustalla |
| 5 | Käyttö-, hallinta- ja varolaitteet:
-ajo-, kääntö- ja nostovaunun koneisto
-rajakatkaisimet, ylikuormitussuojat, hallinta- ja tukirakenteisiin liittyvät varolaitteet |
| 6 | nostovaunu ja koukkupesä _____ |

Kuva 2 Linkkunosturin rakenne (Ratu 04-3007 1989).

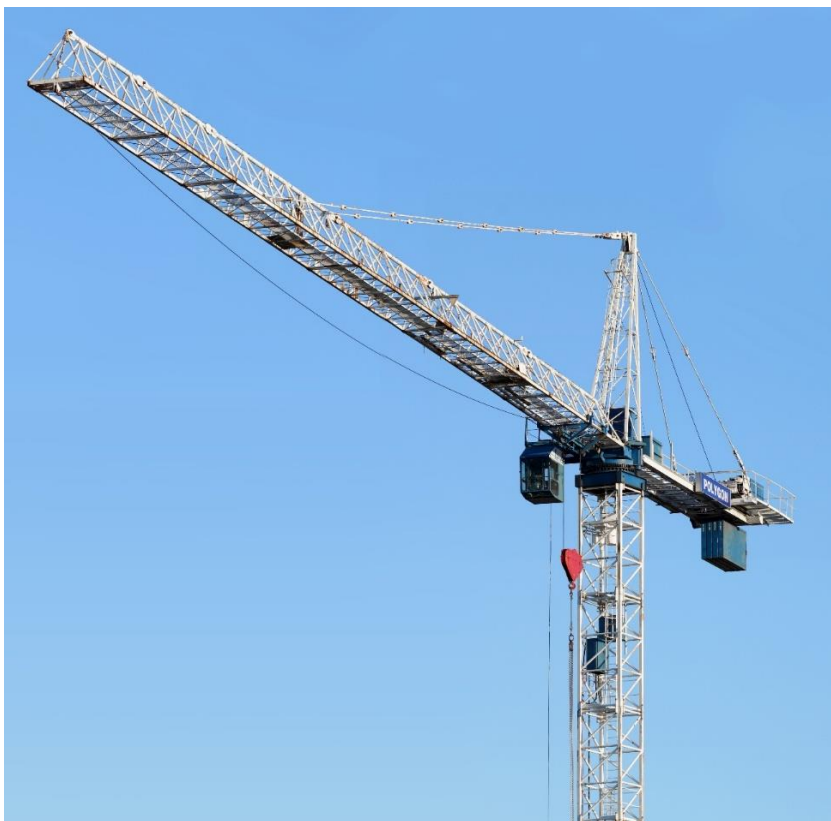
2.1 Taivutuspuominosturit

Taivutuspuominosturin nostoetäisyyttä säädellään puomia pitkin liikuteltavalla kelkalla, jonka kautta vaijerit kulkevat. Taivutuspuominosturit voidaan erotella huipullisiin ja huiputtomiin nostureihin (ks. kuvat 3 ja 4). Huipullisessa nosturissa puomi on tuettu sauvoilla tornin jatkeena olevaan huippuun, joka nousee puomin yläpuolelle. Huiputtomassa mallissa nosturin korkeus rajoittuu puomiin. (Marchand & Watson 2019, 34)

Huiputtomassa nosturissa on samankokoiseen huipulliseen verrattuna hieman alhaisempi nostokapasiteetti, sillä puomi toimii puhtaana ulokkeena. Huiputtoman torninosturin puomi voidaan kasata elementeistä toisin kuin huipullisen, mikä helpottaa kasausta työmaalla. Se myös lisää nosturin muokattavuutta, sillä puomi voidaan kasata aluksi lyhyempänä ja sitä voidaan tarvittaessa pidentää. Huipullisessa nosturissa puolestaan puomi tulee asentaa valmiiksi kasattuna ainakin kannatuspisteeseen saakka. Kumpikin malli vaatii purkuun ja kasaukseen erillisen nosturin, yleensä tähän käytetään ajoneuvonosturia. Huiputtoman nosturin etuna on matalampi kokonaiskorkeus. Tämä on eduksi esimerkiksi tilanteissa, jossa työmaalla on useampia nostureita lähekkäin, tai nosturin maksimikorkeutta rajoittaa jokin muu tekijä, kuten lentoliikenne. Vaakapuominosturi voi ahtaalla työmaalla olla huono vaihtoehto puomin kiinteän pituuden vuoksi. (Marchand & Watson 2019, 34)



Kuva 3. Huiputon taivutuspuominosturi (Piqsel CC0 2022).



Kuva 4. Huipullinen taivutuspuominosturi (Wikipedia CC BY-SA 3.0 2022).

2.2 Puristepuominosturi

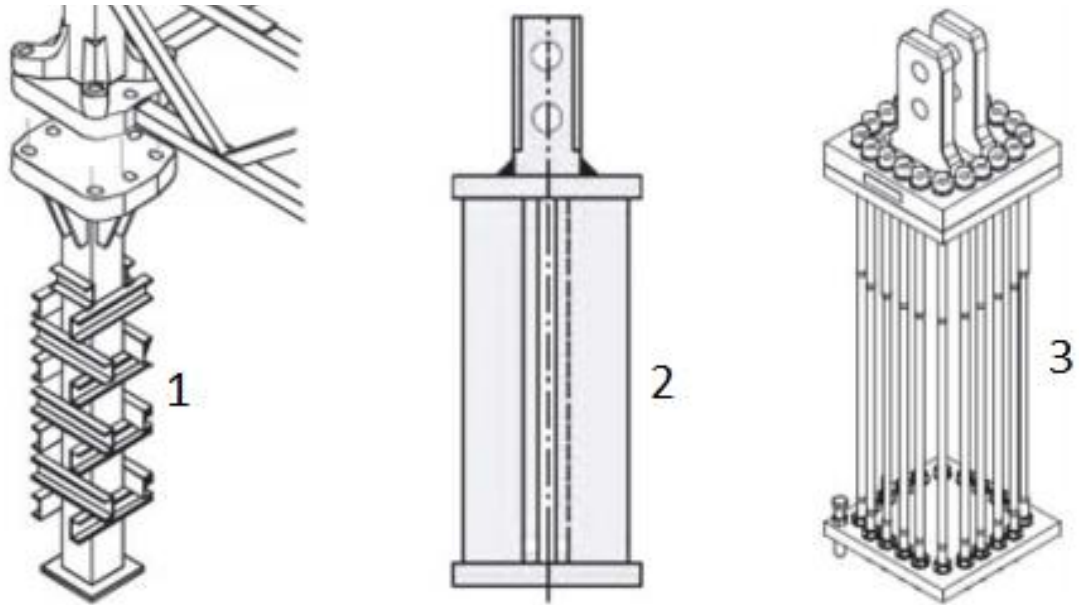
Puristepuominosturissa nostamiseen käytettävä vaijeri kulkee nosturin puomin yläpuolella, kiertäen puomin pään kautta. Nostoetäisyyttä säädetään puomia kallistamalla. Puristepuomisia nostureita on kahta eri mekanismilla puomin kulmaa säättävää mallia, vaijeri- ja hydraulikkakäyttöisiä. (Ratu 04-3007 1989.) Puristepuominosturin suurin hyöty on ahtaalla työmaalla. Puomin kulmaa kääntämällä saadaan nosturin vaatima kääntösäde huomattavasti pienemmäksi kuin vastaavan puomipituuden omaavalla taivutuspuominosturilla. Tästä on hyötyä esimerkiksi silloin, kun työmaan yhdellä sivulla on korkea rakennus, joka taivutuspuominosturilla estäisi nosturin pyörimisen vapaasti kääntökehänsä ympäri.



Kuva 5. Puristepuominosturit: vasemmalla vaijerikäyttöinen, oikealla hydraulikäyttöinen (Marchand & Watson 2019).

2.3 Nosturin ja perustuksen liitos

Nostureiden liitos anturaan voidaan tehdä sisään valettavalla valujalalla. Valujalkoja on kolmea eri tyyppiä (kuva 6). Kaikissa perusankkureissa yhteistä on liitos nosturiin. Jokaisessa mallissa liitos nosturin ja perustuksen välillä on pulttiliitos. Kuvassa 6 vasemmalla ja keskimmäisenä olevat mallit ovat kokonaisuudessaan kertakäyttöisiä. Kun nosturia ei enää tarvita jäävät valujalat anturan mukana maan sisään. Mallin yksi toiminta perustuu jalkaan hitsattuihin c-profiilista valmistettuihin osiin, jotka hitsataan jalkaan kiinni. Osien tarkoituksena on saavuttaa riittävä tartunta anturan sisässä ja sitä kautta kuormien siirtäminen anturalle. Mallin kaksi ankkuri siirtää nosturilta tulevat kuormat anturalle teräslevyjen kautta, jotka on hitsattu tai pultattu jalan ylä- ja alapäähän. Kuvan 6 kolmas perusankkurimalli on näistä kierrätettävien. Anturan sisään valetaan alalevy, josta nousee anturan pintaan korkealujuuspultteja. Anturan kovetuttua pultteihin kiinnitetään ylälevy sekä nosturinjalca. Kuormat nosturilta perustukselle siirretään teräslevyjen kautta. Kun nosturi puretaan, voidaan ylälevy sekä nosturiliitos irrottaa perustuksesta ja ne voidaan uudelleen käyttää. Anturan sisään jäävät pelkästään alalevy sekä pultit. Tällä voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. (Marchand & Watson 2019, 39)



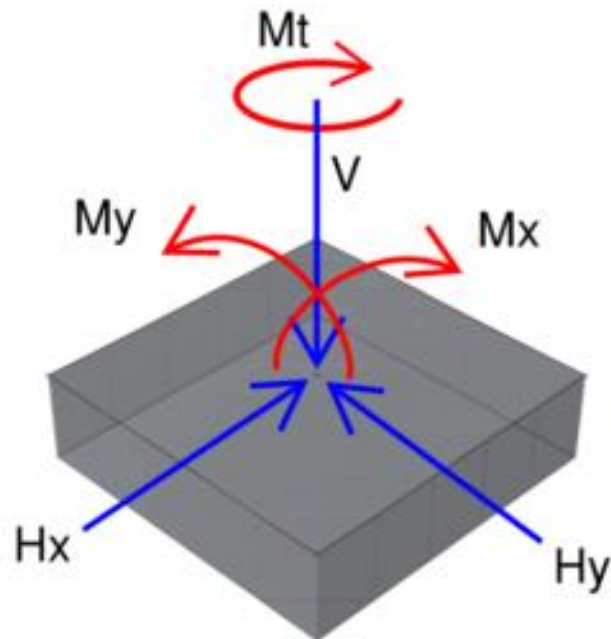
Kuva 6. Nosturin perusankkurit 1-3. Malli 1: Ankkuri muodostuu pystysuorasta osasta, johon on tietyin välimatkoin hitsattu poikittaisia C-profilista valmistettuja osia. Malli 2: Ankkuri muodostuu pystysuorasta osasta, jossa ala- ja yläpäähän on hitsi- tai pulttiliitoksella kiinnitetty teräslevyt. Ylälevyssä on liitos itse nosturiin. Malli 3: Anturan sisään valetaan alalevy, josta nousee anturan pintaan korkealujuuspultteja. Anturan kovetuttua pultteihin kiinnitetään ylälevy sekä nosturinjalca. (Marchand & Watson 2019, 40)

3 LAATTAPERUSTUS

Torninosturit perustetaan yleensä maanvaraisella laattalla. Perustuksen mitoituksen lähtökohdiana on, että nosturin perustuksineen tulee pysyä pystyssä, sekä perustuksen alapuolisen maan tulee kantaa nosturilta tulevat kuormat. Mikäli perustus tulee riittävän syvälle, voidaan laskennassa ottaa tarvittaessa huomioon perustuksen päälle tulevat mahdolliset maatyöt. Yleensä perustus kuitenkin lasketaan ilman maatyttöjä, jolloin päästään kaatumisen suhteen enemmän varmalle puolelle. (Salminen 2022.) Rakenteet tulee suunnitella siten, että varmuus maapohjan murtumista vastaan on riittävä. Anturat mitoitetaan geoteknisen kantavuuden perusteella, joka määritetään katokestävyys- ja painumalaskelmien perusteella. Anturan mitat mitoitetaan maapohjan geoteknisen kantavuuden perusteella eli laskennassa huomioidaan sekä maapohjan murtuminen (MRT, murtorajatila) että anturan painuminen (KRT, käyttörajatila). Anturan rakenteellisessa (teräsbetoni) mitoituksessa murtorajatilasta tarkastellaan taivutusta, ankkurointia sekä lävistystä, ja käyttörajatilamitoituksella hallitaan halkeamaleveyksiä. (RIL 207-2017)

3.1 Kuormitukset

Torninosturin perustus tulisi suunnitella ottaen huomioon käytönaikaiset kuormat, käytön ulkopuoliset kuormat, pystytys-, muokkaus- ja purkukuormat. Näistä saadaan perustukseen kohdistuvat pysty- ja vaakavoimat, momentit sekä kääntömomentti, joita perustuksen tulee kyetä kantamaan, jotta nosturi pysyy vakaana. (Marchand & Watson 2019, 6.) The Structural World 2019 mukaan perustukselle tulevat kuormat voidaan jakaa pystykuormaan (V), vaakakuormaan (H_x & H_y), taivutusmomentteihin (M_x & M_y), sekä vääntömomenttiin (M_t) (ks. kuva 7). Mitoitukseen tarvittavat kuormat toimittaa suunnittelijalle torninosturin valmistaja/toimittaja. Standardi SFS-EN 13001-2 käsittelee nosturin kuormituksia.



Kuva 7. Perustuksen kuormat (The Structural World 2019).

Standardi SFS-EN 13001-2 nostureiden kuormituksista jakaa nosturiin kohdistuvat kuormat tavallisiin, väliaikaisiin, sekä poikkeuksellisiin kuormituksiin. Eurokoodeissa puolestaan kuormitustapaukset jaetaan pysyviin-, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin. Nämä käsitteet eivät täysin vastaa toisiaan, mutta ovat lähes vastaavat taulukon 1 mukaisella jaolla.

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 13001-2 ja eurokoodin mukaisten kuormitustapausten likimääräinen vastaavuus (muokattu: Marchand & Watson 2019, 161).

SFS-EN 13001-2	Eurokoodit
Tavanomainen	Pysyvä
Väliaikainen	Muuttuva
Poikkeuksellinen	Onnettomuus

Käytön aikaisiin kuormiin luetaan nosturin omapaino ja kahdenlaista muuttuvaa kuormaa. Omapaino, jota käsitellään niin sanottuna kuolleena eli liikkumattomana kuormana, koostuu kaikista nosturin komponenteista, jotka eivät liiku eli sijaitsevat kääntökehän alapuolella. Nostokehän yläpuolella olevia nosturin osia, sekä nosturiin kiinnitettyä kuormaa käsitellään muuttuvana tai niin sanottuna elävänä kuormana. Toinen muuttuvista kuormista, joita käsitellään käytönaikaisessa kuormituksessa, on tuulikuorma. (Marchand & Watson 2019, 161)

Dynaamisen lisän voi käytönaikaiseen kuormitukseen tuoda: nostaminen, kääntäminen, vaunun liikuttaminen, puristepuominosturin puomin kulman säätäminen sekä liikkuminen. Dynaamiset kuormat vaikuttavat sekä ”kuolleeseen” että ”elävään” kuormaan ja ovat usein sisällytettyinä nosturin toimittajan laskemiin perustuskuormiin. Dynaamiseen kuormaan voi vaikuttaa nosturin kokoonpano. Esimerkiksi nosturin ollessa liitetty korkeaan rakenteeseen, jolloin nosturilla on lyhyt torniosa ja pitkä nostoköysi. (Marchand & Watson 2019, 161)

Käytön ulkopuolisia kuormia ovat nosturin omasta painosta liikkumattomat nosturin osat. Lisäksi käytön ulkopuolisiin kuormiin luetaan liikkuvien nosturin komponenttien painot, sekä tuulikuorma, kuormitustapaus- tuuli takaa, ja joko tuuli edestä tai mistä tahansa suunnasta. Nämä kuormitukset pätevät ainoastaan, jos nosturi on jätetty toimittajan määrittelemään käytön ulkopuoliseen tilaan. Yleensä tämä on sellainen, jossa puomin kääntöjarru on vapautettu, jotta nosturi pääsee tuulen mukana kääntymään asentoon, jossa tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala ja sitä kautta nosturia taivuttava momentti pysyvät mahdollisimman pieninä. Puristepuominostureissa on myös tärkeää muistaa asettaa puomin kulma valmistajan/toimittajan määräämään asentoon. Joissain tapauksissa kääntöjarru tulee olla lukittuna myös käytön ulkopuolisessa tilassa. Esimerkiksi jotta puomi ei pääse kääntymään rautatien ylle. Tällainen tilanne kasvattaa käytön ulkopuolisia kuormituksia. (Marchand & Watson 2019, 162)

Rakenteelliset kuormat

Rakenteelliset kuormat koostuvat nosturin omien komponenttien painoista, nosturissa kiinniolevasta lastista, sekä nostettavasta kuormasta ja sen sijainnista torniin nähden. Nostettavan kuorman etäisyyden tornista kasvaessa kasvaa myös kuorman tornin juureen aiheuttama momentti. (Marchand & Watson 2019, 159)

Tuulikuorma

Kaikki rakenteet, jotka estävät tuulen virtausta, kokevat tuulesta johtuvaa kuormitusta. Kuormituksen suuruus riippuu tuulen virtauksen estävän komponentin koosta ja muodosta. Tuuli koostuu satunnaisesti muuttuvasta komponentista, turbulenssista, joka vaikuttaa yhtäaikaisesti jatkuvasti puhaltavan tasaisen tuulen kanssa. Nämä kaksi summattuna saadaan niin sanottu puuskatuulennopeus, joka lasketaan keskiarvona kolmen sekunnin ajanjaksosta. Tuulen nopeus kasvaa noustaessa katutasolta ylöspäin. Jo sadan metrin korkeudessa tuuli voi olla kaksinkertainen maanpintaan verrattuna. Tuulen puuskanopeuden esiintyvyyttä tietyllä paikalla on mahdotonta ennustaa. Tuulen satunnaisen luonteen vuoksi kaikki standardit ja ohjeet käyttävät empiirisiä ja tilastollisia menetelmiä tuulen nopeuden arvioimiseen tietylle ”ylitystodennäköisyydelle”, joka usein esitetään toistumisjaksona. Toistumisjakso on ”statement” vuosittaiselle riskille, esimerkiksi kahden vuoden jaksolle kuorman ylittymisen riski on 50% vuoden aikana. (Marchand & Watson 2019, 159.) Tuulikuormitukset lasketaan yleensä standardien FEM 2009 sekä FEM 2003 mukaan.

Lumi ja jääkuormat

Lumi ja jääkuormat otetaan huomioon vain, mikäli nosturin ostaja/vuokraaja ilmoittaa, että nosturia tullaan käyttämään paikassa, jossa jään ja lumen kertyminen on jatkuva ongelma. Esimerkiksi Alpeilla tällaisessa tilanteessa ostajan tulee kertoa nosturin valmistajalle odotettu jään paksuus. Torninosturit ovat ristikkorakenteita, joten lumi useimmiten putoaa itsestään rakenteilta tai vaihtoehtoisesti tuuli puhaltaa sen pois. Mikäli lunta tai jäätä pääsee kertymään, tulisi se poistaa ennen nosturin käyttöönottoa. (Marchand & Watson 2019, 162)

Muut kuormitukset

Kuormitukset, joita kohdistuu nosturin perustuksille sekä mahdollisille siteille nosturin kasauksen, purkamisen sekä muokkauksen (esim. mahdollinen korotus) aikana, tulee myös ottaa huomioon nosturin perustuksia suunniteltaessa. Joissain tapauksessa nämä saattavat jopa aiheuttaa perustuksille suurimmat voimat, jolloin niistä tulee määrääviä. (Marchand & Watson 2019, 159)

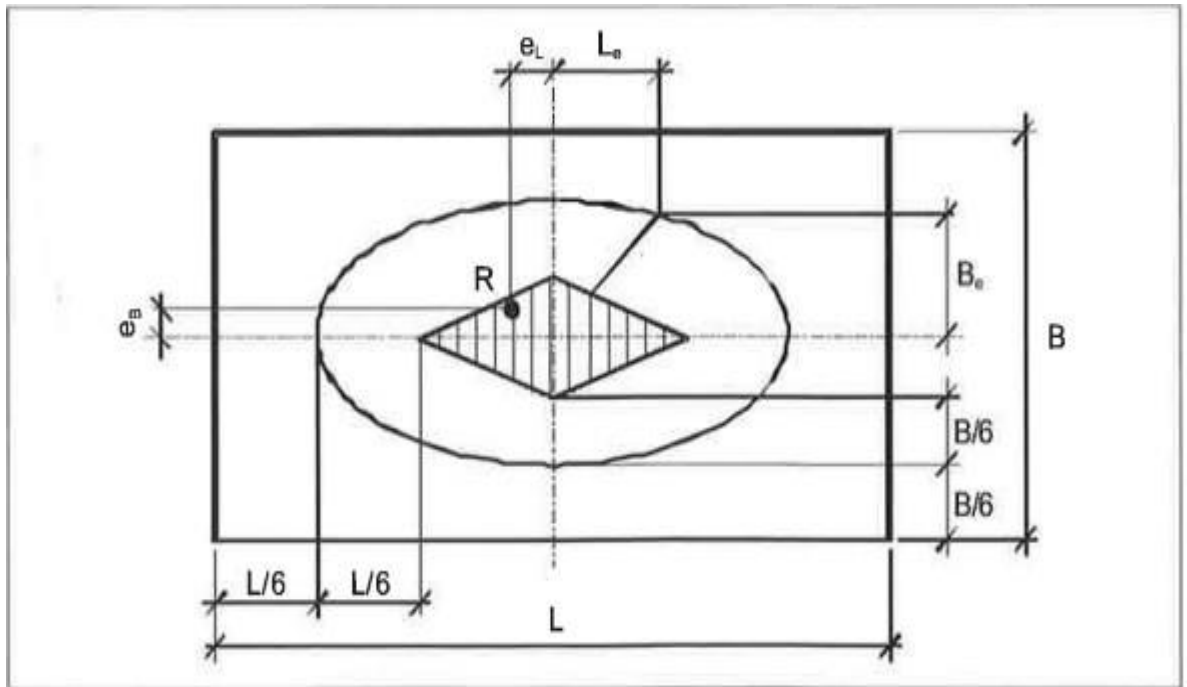
3.3 Mitoitus

Eurokoodi ei ota suoraan kantaa itse nosturin perustuksen mitoittamiseen. Suunnittelussa sovelletaan SFS-EN 1997-1 Eurokoodi 7:n ohjeistusta antura- ja laattaperustuksien suunnittelusta. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon seuraavat rajatilat: kokonaisvakauden menetys, kantokestävyyden ylittyminen, lävistysmurtuma, puseruminen, liukumurtuma, rakenteen ja maapohjan yhdistetty murtuminen, liian suuret painumat, paisumisesta (roudesta tai muista syistä johtuva liiallinen nousu) sekä värähtelyt, joita ei voida hyväksyä. (SFS-EN 1997-1)

3.3.1 Staattinen tasapaino (EQU)

Hyvin oleellinen tarkastelu torninosturia perustettaessa on nosturin kaatuminen. Kaatumistarkastelu toteutetaan staattisen tasapainon (EQU) rajatilassa. Tarkastelu tehdään jakamalla kuormitukset perustusta kaataviin sekä stabiloiviin kuormiin. Kaataviin kuormiin luetaan pysyvät sekä muuttuvat kuormat, kaikki kuormat oletetaan epäedullisiksi. Perustusta kaatavaan momentti lasketaan muuttuvasta vaakakuormasta H , jonka pyrkii kaatamaan perustusta sen nurkkapisteen ympäri. Momenttivartena vaakavoimalle H käytetään perustuksen korkeutta h . Nosturin ja perustuksen liitos luetaan jäykäksi, joten perustusta pyrkii kaatamaan myös torninosturilta tuleva momentti M . Perustusta stabiloiviin voimiin sisältyy nosturin omasta painosta johtuva pystykuorma V sekä perustuksen oma paino (ks. kuva 7). EQU rajatilalaskennassa käytettävät varmuuskertoimet on määritelty Eurokoodissa 7 (Liite 1, taulukko 5). Perustuksen pystyssä pysymisen edellytys on, että ulkoisten voimien aiheuttaman resultantin epäkeskeisyys ei ylitä kolmasosaa perustuksen leveydestä, missään suorakulmaisen

perustuksen suunnassa (RIL207-2017). Tämä toteutuu, kun kuormituksen resultantti sijoittuu kuvan 8 mukaisen ellipsin rajaamalle alueelle. Torninosturissa mitoittaessa täytyy laskea kaikki kuormitukset ja tarkastelut sekä käytönaikaisilla että käytön ulkopuolisilla kuormilla.



Kuva 8. Kuorman epäkeskeisyyteen liittyvät merkinnät maavaraisen anturan kohdalla. Kuvassa L on perustuksen pituus, B on perustuksen leveys, R on voiman resultantti, e_L on resultantin epäkeskeisyys L :n suunnassa, e_B on resultantin epäkeskeisyys B :n suunnassa (RIL 207-2017).

3.3.2 Kantokestävyys (GEO)

Maanvaraisen perustuksen suunnittelun edellytyksenä on riittävän kantava ja painumaton maaperä. Nämä tulee aina selvittää pohjatutkimuksilla. Perustuksen maahan kohdistava paine ei saa ylittää maaperän kantokykyä. Geoteknisten tutkimusten tulee tuottaa riittävästi tietoja, jotka koskevat pohja- ja pohjavesiolosuhteita rakennuspaikalla ja sen ympäristössä ja joita tarvitaan oleellisten maapohjan ominaisuuksien asianmukaiseen kuvaamiseen ja mitoituslaskelmissa käytettävien maaparametrien ominaisarvojen luotettavaan arviointiin. (SFS-EN 1997-1.) Kentätutkimuksia koskevista vaatimuksista kerrotaan lisää eurokoodissa SFS-EN 1997-2.

Kantokestävyys suoritetaan geoteknisen kantavuuden (GEO) rajatilassa. Perustuksen maahan kohdistaman kuorman paine ei saa ylittää maaperän geoteknistä kantavuutta. Kantokestävyuden tarkastelussa tulee kohtisuoraa perustuksen pohjaa vastaan vaikuttavan kuorman mitoitusarvon V_d olla aina pienempi kuin maaperän kestävyuden mitoitusarvon R_d . Perustuksen kantokestävyuden määrittämiselle on standardissa SFS-EN 1997-1 on esitetty kolme erilaista mitoitus tapaa. Suomessa käytetään mitoitus tapoja kaksi ja kolme.

Tavassa kaksi tulee osoittaa, että murtorajatilaa ja liiallista muodonmuutosta ei esiinny seuraavalla osavarmuuslukujen yhdistelmällä:

$$A1 \text{ ”+” } M1 \text{ ”+” } R2 \quad (1)$$

missä $A1$ on osavarmuusluku kuormille ja kuormien vaikutuksille, $M1$ on osavarmuusluku maaparametreille ja $R2$ on osavarmuusluku kestävyydelle (RIL 207-2017). Osavarmuusluvut on esitetty liitteessä 1.

Tässä menettelyssä osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin tai kuormien vaikutuksiin ja maan kestävyyteen. Mitoitus tapaa 2 voidaan jakaa kahteen eri tapaan, joita kutsutaan nimillä $DA2$ ja $DA2^*$. Mitoitus tapaa $DA2$ käytettäessä osavarmuusluvut kohdistetaan kuormien ominaisarvoihin mitoitus laskun alussa ja koko laskelma tehdään mitoitus arvoilla. Mitoitus tapaa $DA2^*$ käytettäessä koko laskelma tehdään ominaisarvoilla ja osavarmuuslukuja käytetään vasta laskelman lopussa murtorajatilaehtoja tarkasteltaessa. Tapaa $DA2^*$ käytettäessä on kiinnittävä erityistä huomiota perustuksen vakavuuden varmistamiseen (RIL 207-2017). Mitoitus menetelmissä $DA2$ ja $DA2^*$ kuormien yhdistelmänä käytetään epäedullisempaa kahdesta seuraavasta lausekkeesta 2 tai 3:

$$1,35 * K_{FI} * G_{kj, sup} + 0,9 * G_{kj, inf} \quad (2)$$

ja

$$1,15 * K_{FI} * G_{kj, sup} + 1,5 * K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5 * K_{FI} \sum \psi_{0,1} Q_{k,i} \quad (3)$$

missä K_{FI} on standardin SFS-EN 1990 mukainen kuormakerroin, $G_{kj,sup}$ pysyvä epäedullinen kuorma, $G_{kj,inf}$ pysyvä edullinen kuorma, $Q_{k,1}$ 1. muuttuvakuorma, $Q_{k,i}$, muut muuttuvat kuormat ja $\psi_{0,1}$, muiden muuttuvien kuormien yhdistelykerroin.

Tavassa kolme tulee osoittaa, että murtorajatilaa tai liiallista muodonmuutosta ei esiinny seuraavalla osavarmuuslukujen yhdistelmällä:

$$A2 + M2 + R3 \quad (4)$$

missä $A2$ on osavarmuusluku kuormille ja kuormien vaikutuksille, $M2$ on osavarmuusluku maaparametreille ja $R3$ on osavarmuusluku kestävyydelle (RIL 207-2017). Osavarmuusluvut on esitetty liitteessä 1.

Tässä menettelyssä osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin tai rakenteesta aiheutuvien kuormien vaikutuksiin ja maan lujuuteen. Kuormat yhdistellään kaavalla 5:

$$1,0 * K_{FI} * G_{kj,sup} + 1,0 * G_{kj,inf} + 1,3 * K_{FI} * Q_{k,1} + 1,3 * K_{FI} \sum \psi_{0,1} Q_{k,i} \quad (5)$$

missä K_{FI} on standardin SFS-EN 1990 mukainen kuormakerroin, $G_{kj,sup}$ pysyvä epäedullinen kuorma, $G_{kj,inf}$ pysyvä edullinen kuorma, $Q_{k,1}$ 1. muuttuvakuorma, $Q_{k,i}$, muut muuttuvat kuormat ja $\psi_{0,1}$, muiden muuttuvien kuormien yhdistelykerroin.

Liitteen 1 taulukoissa 1–4 on esitetty Eurokoodin kansallisessa liitteessä määritetyt arvot osavarmuuskertoimille, kuormille (A), maaparametreille (M) sekä kestävyydelle (R). Torninosturin tapauksessa perustuksen ja maan rajapintaan kohdistuvaan paineeseen vaikuttavat vain epäedulliset kuormat, joita ovat torninosturin oma paino sekä perustuksen omapaino. Näitä kerrotaan GEO rajatilan epäedullisella osavarmuusluvulla, jotka löytyvät liitteen yksi taulukosta yksi.

3.3.3 Rakenteellinen murtumien (STR)

Maanvaraisen laattaperustuksen rakenteellinen mitoittaminen tehdään standardin SFS-EN 1992-1 Betonirakenteiden suunnittelu osa 1 mukaan. Valujalalla toteutettavalla perustuksella kriittisiä tarkastelukohteita ovat taivutus, leikkaus, lävistyminen sekä

ulosveto. Taivutusmitoituksessa mitoitetaan teräkset laatan ala- ja yläpintojen taivutuksen mukaan. Lävistys sekä ulosveto mitoituksessa tarkastellaan valujalkojen kohtia sekä perustuksen ylä- että alapinoilla. Valujalkoihin kohdistuvat suurimmat puristus- sekä vetovoimat. Lävistysmitoitus lasketaan sekä murtorajatilassa MRT että käyttörajatilassa KRT. (SFS-EN 1992-1)

4 YHTEENVETO

Torninosturit ovat tärkeä osa nykypäivän rakentamista. Nostureita on useaa eri mallia, ja nosturityyppi valitaan käyttökohteen mukaan. Yleisimmin vastaan tuleva torninosturi on rakennustyömailta tuttu taivutuspuominen yläkääntönosturi. Muita torninosturityyppejä, joihin saattaa törmätä ovat puristepuomi- sekä linkkunosturi, loput malleista ovat jokseenkin harvinaisempia, varsinkin täällä Suomessa.

Torninosturin perustukseen kohdistuvia kuormia ovat rakenteelliset kuormat, tuulikuorma sekä lumi- ja jääkuormat. Rakenteellisiin kuormiin luetaan, nosturin omien komponenttien paino, nosturissa kiinnioleva kuorma, sekä momentti, joka aiheutuu nostettavasta kuormasta ja sen sijainnista torniin nähden. Tuulikuormaksi lasketaan tuulen aiheuttama momentti nosturin perustukselle. Jää- ja lumikuormat voidaan yleensä jättää huomiotta, sillä niiden kertymä normaalioloissa on vähäinen. Kuormitukset, joita kohdistuu nosturin perustuksille sekä mahdollisille siteille nosturin kasauksen, purkamisen sekä muokkauksen (esim. mahdollinen korotus) aikana, tulee myös ottaa huomioon nosturin perustuksia suunniteltaessa

Torninosturin perustukselle ei suoraan ole olemassa standardia, jonka mukaan maanvarainen laatta suunniteltaisiin. Suunnittelussa sovelletaan standardia SFS-EN 1997-1 Eurokoodi 7:n ohjeistusta antura- ja laattaperustuksien suunnittelusta. Nosturin perustuksen suunnittelussa tarkastellaan yhdeksän eri rajatilaa. Nämä ovat: kokonaisvakauden menetys, kantokestävyyden ylittyminen, lävistysmurtuma, pusertuminen, liukumurtuma, rakenteen ja maapohjan yhdistetty murtuminen, liian suuret painumat, paisumisesta (roudasta tai muista syistä johtuva liiallinen nousu) sekä värähtelyt, joita ei voida hyväksyä.

Työn tavoite täyttyi, selville saatiin torninosturin perustuksen mitoituksen perusteet. Aiheesta on hyvin vähän kirjallisuutta ja varsinkaan suomenkielisiä teoksia ei oikeastaan ole, muutamaa opinnäytetyötä lukuun ottamatta. Englanniksi kirjoitettu. Tower crane foundation and tie design (Marchand & Watson 2019) oli oikeastaan ainoa lähde, jossa käsiteltiin yksinomaan torninosturin perustuksia ja siten korvaamaton lähteenä tässä työssä.

5 LÄHDELUETTELO

The Structural World, 2019. Design Criteria for Tower Crane Foundations [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.thestructuralworld.com/2019/06/24/design-criteria-for-tower-crane-foundations/>

Marchand, Stuart & Watson, Tim 2019. Tower crane foundation and tie design (C761). CIRIA

Piqsel CC0 2022. (21.09.2022) <https://www.piqsels.com/fi/public-domain-photo-jgqej>

Ratu 04-3007, 1989. Torninosturit. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.

RIL 207-2017, 2017. Geotekninen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Salminen O. Suunnittelupäällikkö A-insinöörit suunnittelu Oy Tampere. Sähköpostikeskustelu 20.04.2022

SFS-EN 13001-1, 2015. Nosturit Yleissuunnittelu. Osa 1: Yleiset periaatteet ja vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 13001-2, 2014. Nosturit Yleissuunnittelu. Osa 2: Kuormitukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1992-1-1, 2015. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1 1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1997-1, 2014. Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Wikipedia CC BY-SA 3.0 2022, (01.10.2022). <https://fi.wikipedia.org/wiki/Torninosturi>.

Liite 1

Tässä liitteessä on esitetty eurokoodin 7:ssä määrätyt kuormien (A), maaparametrien (M) sekä kestävyysluokkien (R) osavarmuusluvut. Rajatiloissa STR, GEO sekä kuormien osavarmuusluvut rajatilassa EQU.

Taulukko 1. Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut STR/GEO. RIL207-2017.

Kuorma	Merkintä	Sarja	
		A1	A2
Pysyvä: Epäedullinen (Yht.6.10a) (Yht.6.10b) (Yht.6.10) Edullinen (Yht.6.10a) (Yht.6.10b) (Yht.6.10)	$\gamma_{Gk,j,sup}$	1,35 K_{FI} 1,15 K_{FI}	1,0 K_{FI}
	$\gamma_{Gk,j,inf}$	0,9 0,9	1,0
Muuttuva: Epäedullinen (Yht.6.10b) (Yht.6.10) Edullinen	γ_Q	1,5 K_{FI}	1,3 K_{FI}
		0	0

Taulukko 2. Maaparametrien osavarmuusluvut STR/GEO. RIL 207-2017.

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyyskulma ^a ("Kitkakulma")	γ_ϕ	1,0	1,25
Tehokas koheesio	γ_c	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,0	1,5
Yksiaksiaalinen puristuslujuus	γ_{qu}	1,0	1,5
Tilavuuspaino	γ_γ	1,0	1,0

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

Taulukko 3. Antura- ja laattaperustusten kestävyys osavarmuusluvut STR/GEO RIL 207-2017.

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

Taulukko 4. Kestävyys osavarmuusluvut luiskille ja kokonaisvakavuudelle STR/GEO RIL207-2017.

Kestävyys	Merkintä	Sarja R3
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1,0

Taulukko 5 Kuormien osavarmuusluvut EQU-rajatilassa, RIL 207-2017.

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{G;dst}$	1,1
Edullinen ^b	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Muuttuva		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
Edullinen ^b	$\gamma_{Q;stb}$	0
^a Kaatava		
^b Vakauttava		

Taulukko 6 Kuormakerroin. RIL207-2017.

Kuormakerroin K_{FI} riippuu luotettavuusluokasta seuraavasti:

- luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$
- luotettavuusluokassa RC2 $K_{FI} = 1,0$
- luotettavuusluokassa RC1 $K_{FI} = 0,9$.

Taulukko 7. Seuraamusluokkien määrittely. RIL207-2017.

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita 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 <ul style="list-style-type: none"> – yli 8-kerroksiset²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot. Raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalaajien alueilla.
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 pienien tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset ²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ , kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten <ul style="list-style-type: none"> – 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