

# Rakenteiden mitoitus siltanosturille

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
2025  
Jeremias Jokinen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Jeremias Jokinen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2025
	Sivumäärä 34	
Työn nimi <b>Rakenteiden mitoitus siltanosturille</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Granlund Oy		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä laskettiin nosturin pyöräkuormitukset ja mitoitettiin nostinradan kantavat rakenteet. Siltanosturin pyöräkuormien mitoituksesta luotiin laskenta-alusta helpottamaan kuormien laskemista uusissa kohteissa.</p> <p>Työssä mitoitettiin mastopilari, maanvarainen antura ja ratapalkki. Mastopilarista tehtiin pääteräsmäärän vertailuja suhteessa pilarin poikkileikkaukseen ja pituuteen. Dynaamiset kuormat ja niiden käyttökohteet käsiteltiin.</p> <p>Tuloksena oli siltanosturin pyöräkuormien laskenta onnistuneesti vaiheittain käyttämällä eurooppalaisia standardeja ja ohjeistuksia. Nosturin kuormat lasketettiin käsin SMath-ohjelman avulla. Radan kantavat rakenteet saatiin mitoitettua käyttäen Excel-pohjaisia alustoja ja PupaX5-ohjelmaa.</p>		
Asiasanat siltanosturi, suunnittelu, mitoitus		

## Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Jeremias Jokinen	Thesis, UAS	2025
	Number of Pages	
	34	
Title of Publication		
<b>Structural load design from overhead crane</b>		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Civil and Construction Engineer		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Granlund Oy		
Abstract		
<p>The objective of this thesis was to calculate wheel loads coming from overhead crane and design structural components of the crane track. Designing platform of the wheel loads was created to make future load calculations easier.</p> <p>The following structural components were designed and analysed, mast column and footing. The amount of reinforcement needed in mast column was compared in relation between length and cross section. Dynamic loads and their applications were explained.</p> <p>The results were successful load calculations of the wheel loads from overhead crane using European standards and guidelines. The crane loads were calculated by hand using SMath program. Load-bearing structures of the crane track were designed using Excel-based platforms and PupaX5 software.</p>		
Keywords		
overhead crane, design, calculation		

## Sisällys

Käytetyt tunnukset ja lyhenteet .....	2
1 Johdanto.....	4
2 Siltanostureista .....	5
2.1 Nosturityypit .....	5
2.2 Nostinvaunut .....	6
3 Lähtötiedot.....	8
3.1 Tutkimuksen kohteena olevan rakennuksen lähtötiedot.....	8
3.2 Kohteen nosturin lähtötiedot.....	9
4 Kuormat.....	10
4.1 Nosturin kuormat .....	10
4.2 Dynaamiset kertoimet.....	11
4.3 Muuttuvat kuormat.....	14
4.4 Pyöräkuormat.....	21
5 Rakenteiden mitoitus .....	23
5.1 Ratapalkin mitoitus .....	23
5.2 Mastopilarin mitoitus.....	25
5.3 Maanvaraisen anturan mitoitus.....	28
6 Mastopilareiden pääteräsmäärän vertailu eri kokoisilla pilareilla .....	30
7 Yhteenveto ja pohdinta .....	32
Lähteet .....	34

Liite 1. Nosturin lähtötiedot

Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

Liite 3. Mastopilarin mitoitus

Liite 4. Anturan mitoitus

## Käytetyt tunnuksset ja lyhenteet

$a$	Nosturin pyörien väli
$e$	Epäkeskisyys
$e_{\min}$	Nostovaunun ja hyötykuorman minimietäisyys tuesta
$e_{\max}$	Nostovaunun ja hyötykuorman maksimietäisyys tuesta
$b_{\text{ratakisko}}$	Ratakiskon yläpinnan leveys
$F$	Voimat, yleistä
$F_k$	Staattisen kuorman ominaisarvo
$F_{\varphi,k}$	Nosturikuorman ominaisarvo
$H_B$	Puskinvoima
$HC_{1-4}$	Jäykkyysluokat
$H_L$	Nosturin kiihdytyksestä aiheutuva pitkittäisvoima
$H_S$	Nosturin vinoonajosta aiheutuva vaakavoima
$H_T$	Nosturin kiihdytyksestä aiheutuva poikittaisvoima
$H_{T,1-2}$	Nosturin poikittaisvoimat vaakasuunnassa
$H_{T3}$	Nostovaunun kiihdytyksestä ja jarrutuksesta aiheutuva vaakavoima
$H_{TA}$	Törmäyskuorma
$K$	Ajovoima
$k$	Värähtelevän systeemin jousivakio
$L_N$	Nosturin jänneväli
$l_s$	Massakeskiön epäkeskisyys
$M$	Momentti
$m$	Nostettu massa
$m_c$	Nosturin ja hyötykuorman massa

$N$	Normaalivoima
$m_w$	Ajokoneistojen määrä
$n_r$	Ratapalkkien määrä
$Q_c$	Nosturin omapaino
$Q_{c.1}$	Nosturin paino
$Q_{c.2}$	Nostovaunun paino
$Q_h$	Höytykuorma + nostoelin
$Q_{r.max}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman maksimi pyöräkuorma
$Q_{r.(max)}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman minimi pyöräkuorma
$Q_{r.min}$	Nosturin omapainon minimi pyöräkuorma
$Q_{r.(min)}$	Nosturin omapainon maksimi pyöräkuorma
$Q_T$	Koekuorma
$S$	Massakeskiö
$S_B$	Puskimen jousivakio
$V$	Leikkausvoima
$v$	Nosturin ajonopeus
$v_h$	Nostonopeus
$\Delta m$	Vapautettu tai pudotettu osuus massasta
$\mu$	kitkakerroin
$\varphi_{1...7}$	Dynaamiset kertoimet

## 1 Johdanto

Siltanosturi on nosturityyppi, joka on suosittu teollisuusrakennuksissa. Tällaisella nosturilla on kätevä nostaa ja siirtää raskaita esineitä rakennuksen sisällä suurellakin jänneväälillä. Siltanosturi vaatii ratakiskot päästäkseen liikkumaan rakennuksen sisällä. Ratakiskot tarvitsevat niitä tukevat rakenteet kestääkseen nosturin kuormia. Yleensä siltanosturin löytää teollisuuskohteesta, jossa kantavana runkona on pilari-palkkijärjestelmä.

Eurokoodien lukeminen ja tulkitseminen varsinkin täydentävien normien osalta on monesti hankalaa ja aikaa vievää. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella siltanosturin aiheuttamia kuormia rakenteille ja tuottaa laskenta-alusta, joka julkaistaan sisäisesti Granlund Oy:n intrassa muille rakennesuunnittelijoille helpottamaan suunnittelutyötä. Laskenta-alustan tulee noudattaa eurooppalaisia standardeja ja ohjeistuksia. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä hyödynnetään toiminnallista mallia ja tutkimuksen analysoinnissa sovelletaan määrällisen ja laadullisen tutkinnan menetelmiä.

Toimeksiantajana tälle aiheelle toimii Granlund Oy, joka on kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni. Granlund Oy on tehnyt viimevuosina kasvua rakennusalaalla ja on maan johtava yritys talotekniikan suunnittelun puolella. Yrityksen kasvun näkee suoraan liikevaihdon nousuna ja määrällisesti kasvavan henkilöstön luvuissa. Granlund toimii Suomen lisäksi Ruotsissa ja Iso-Britanniassa. Syksyllä 2023 Granlund Oy yhdistyi monista tytäryhtiöistään yhdeksi isoksi konserniksi. (Granlund Oy.)

Rakennuksen suunnittelu ja tuotantokuvien valmistus on melko laaja kokonaisuus, joten opinnäytetyö rajataan nosturiradan kantavien rakenteiden mitoitukseen. Rakenteiden mitoituksessa ei pureuduta syvälle laskentateoriaan, vaan pyritään pitämään laskelmat helposti ymmärrettävinä. Onnettomuuskuormat rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Rakenteiden liitoksia ei tutkita tässä opinnäytetyössä. Rakenteiden mitoituksessa pyritään välttämään käsin laskentaa ja hyödynnetään SKOL:in eurokoodeihin pohjautuvia laskenta-aloja ja muita eurokoodia noudattavia ohjelmia

## 2 Siltanostureista

Siltanosturi on teräksestä valmistettu sähkökäyttöinen nosturityyppi, joita asennetaan tyypillisesti teollisuushalleihin ja tuotantolaitoksiin. Tämänlaisella nosturilla on mahdollista nostaa ja siirtää niin kevyitä kuin raskaitakin esineitä rakennuksen sisällä suurellakin jännevälillä. Nosturit ovat hyvin räätälöitäviä asiakkaan käyttötarkoituksen mukaan. Nostureita on saatavilla erilaisilla nostovälineillä, ohjausjärjestelmillä ja liikeradoilla. Siltanosturi vaatii ajoradan päästäkseen liikkumaan rakennuksen sisällä. Ajorata kiinnitetään rakenteisiin eri menetelmin riippuen siltanosturityypistä. Siltanosturin tarkoitus on tehostaa tuotannon sujuvuutta, ergonomiaa ja turvallista työntekoa. (Tuotetekno Oy.)

Siltanosturin sillan osan liikkuminen tapahtuu nostinradan päällä tyypillisesti rakennuksen pidemmän sivun mukaisesti. Nostovaunut puolestaan liikkuvat siltapalkin suuntaisesti joko ylä- tai alapuolella riippuen nosturityypistä. Näin siltanostin kattaa lähes koko hallin nosto-alueeltaan.

Siltanosturivalmistajia on tarjolla useita vaihtoehtoja ja jokaisella valmistajalla nostokuormat ja jännevälit vaihtelevat tyypeittäin. Jokainen valmistaja tarjoaa valmiita suunnitteluratkaisuja ratapalkille ja pyöräkuormien valmiita laskelmia. Valmistajat tuottavat tietokoneohjelmia siltanosturin käyttöä ja huoltoa varten.

Siltanosturin ohjaukseen on saatavilla eri vaihtoehtoja muun muassa riippuohjain, joka on kiinni siltanosturissa joustavalla kumipintaisella johdolla. Vaihtoehtoisesti voidaan valita radio-ohjain, joka toimii langattomasti portaattomin painikkein tai ohjaussauvallinen radio-ohjain. (Algol Technics Oy, 5.) Kuvassa 1 eri Demag ohjaimia. Suuremmissa kaksipalkkisissa siltanostureissa on mahdollista valita erikseen oma ohjaamo.



Kuva 1. Demag ohjaimet (Algol Technics Oy)

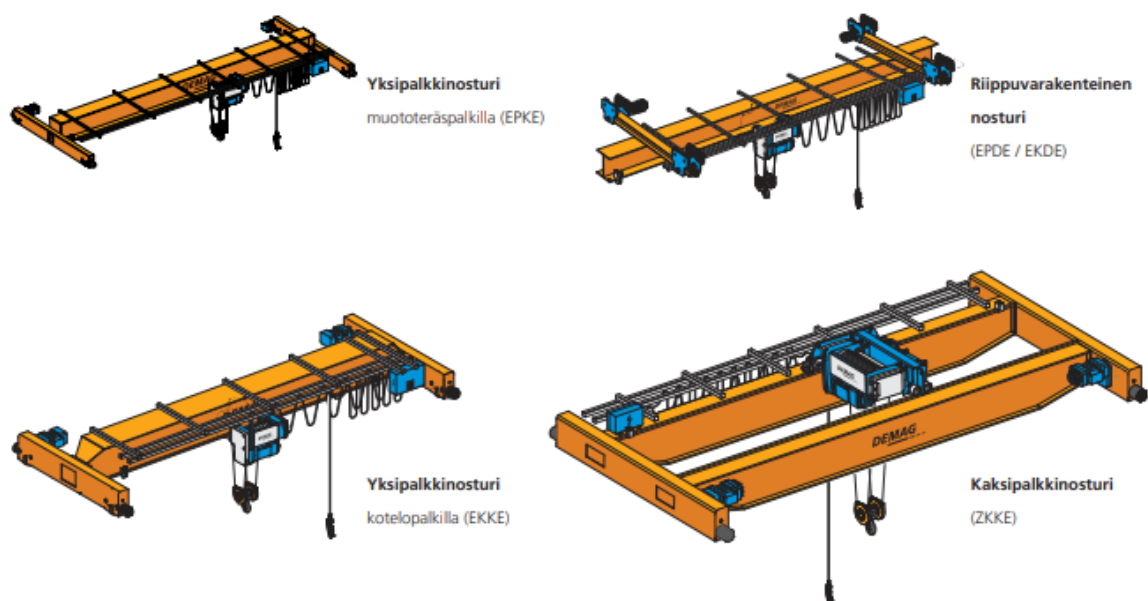
### 2.1 Nosturityypit

Siltanostureita on tarjolla useampaa eri vaihtoehtoa eri käyttötarkoituksille (kuva 2). Yksipalkkinen, kaksipalkkinen ja riippuvarakenteinen nosturi. Yksipalkkisessa siltanosturissa on

nostimen jänneväliltään yksi siltapalkki, joka on vaihtoehtoisesti valssattu I-tyyppinen palkki-profiili tai hitsattu kotelopalkki. Nostoelin on sijoitettuna siltapalkin ylä- tai alalaippaan. Yksipalkkinen siltanosturi ylittää suurimmiltaan noin 39 m jänneväliin 15 t nostokuormalla. Yksipalkkisen nostimen avulla nostot onnistutaan tekemään suurimmalle korkeudelle. (KP-ServicePartner Oy.)

Kaksipalkkisessa siltanosturissa siltapalkkeja on kaksi kappaletta ja kuormakapasiteetti nousee yli 100 t kuormiin riippuen nostimen valmistajasta. Kaksipalkkinosturi pystyy yli 40 metrin jänneväleihin. Tässä nosturityypissä nostovaunuja voi olla kaksi kappaletta yhdellä nosturilla. Nostovaunut liikkuvat siltapalkkien päällä olevalla nostovanuradalla. (KP-ServicePartner Oy.)

Riippuvarakenteiseen siltanosturiin kuuluu yksi I-profiilinen siltapalkki. Tässä nosturityypissä ajokiskot voidaan kiinnittää suoraan hallin kattoon tai vapaasti seisovaan rakenteeseen. Riippuvarakenteisen siltanosturin maksimikuorma on noin 8 t ja jännevälin maksimipituus on suurimmillaan noin 25 m. Pienen nostovaunun ansiosta riippuvarakenteisen nosturin nostoalue ylettää sivusuunnassa koko radan näin katvealueet muuttuvat olemattomiksi. (KP-ServicePartner Oy.)



Kuva 2. Demag-vakionosturityypit (Algol Technics Oy)

## 2.2 Nostinvaunut

Nostinvaunuja on kahta eri päätyyppiä, ketjullista sekä köydellä varustettua. Ketjunostimet ovat kompakteja ja käytännönläheisiä. Ketjunostimet ovat tarkoitettu alle 5 t kuormille ja ne

soveltuvat yksipalkkisiin ja riippuvarakenteisiin nostureihin. Ketjunostimiin on mahdollista saada kaksi nostonopeutta tai portaaton nosto. (KP-ServicePartner Oy 2022, 28-29.)

Köysinostimet ovat tarkoitettu raskaille ja tarkkuutta vaativille kuormille. Köysinostin on saatavilla kaikille siltanosturityypeille, mutta suurimman hyödyn saa kaksipalkkinosturista. Nostintyyppin maksimikuormitus on noin 120 t riippuen valmistajasta. (KP-ServicePartner Oy 2022, 22-25.)

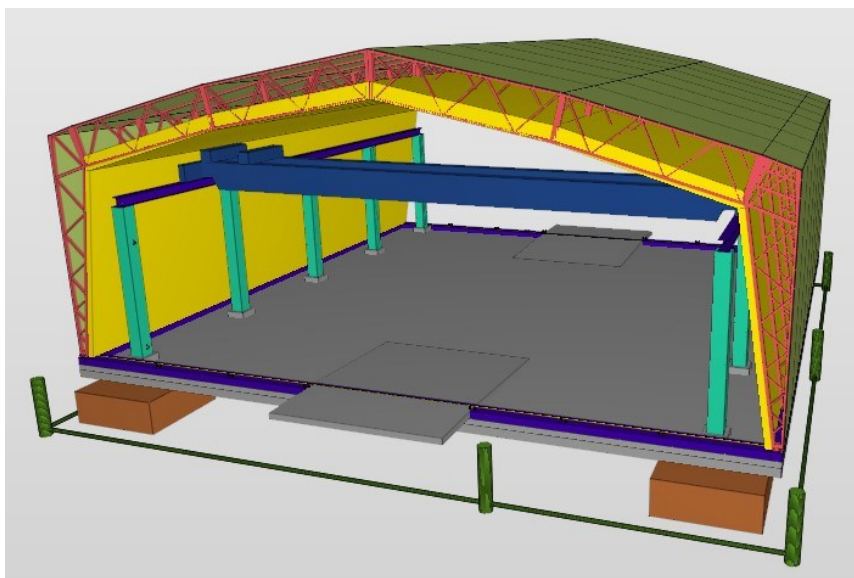
### 3 Lähtötiedot

#### 3.1 Tutkimuksen kohteena olevan rakennuksen lähtötiedot

Uudisrakennus sijaitsee entisellä metsämaalla, josta puusto on kaadettu. Rakennuspaikka sijaitsee alueella, jonka rosoisuus sopii maastoluokkaan III. Rakennuksen seininä ja kattona toimii ulkopuoliselta toimittajalta tilattu teräsrakenteinen halli. Tässä tapauksessa kaikki rakennuksen ulkopuolinen kuorma siirtyy hallin teräsrakenteiden ja perustusten kautta perusmaahan. Siltanosturi tukeutuu hallin sisälle teräsbetonipilareiden varaan. Nämä pilarit eivät ole osa hallin varsinaista kantavaa runkoa. Nostinrata jäykistetään mastopilarein kummaltakin puolelta rataa. Ratapalkit hitsataan jäykästi pilariin kiinni, niin että kuormat siirtyvät pilarin kautta mastopilarianturalle ja siitä maaperään. Rakennus perustetaan maanvaraisesti vähintään 300 mm:n paksuisen murskearinnan varaan. Rakennuksen seuraamusluokka on CC2 ja luotettavuusluokka RC2. Kuormakerroin  $K_{FI}=1.0$ . (Tikanoja ym. 2016, 26).

Siltanosturi halutaan mahdollisimman lähelle kattoa, jonka vuoksi pilareiden korkeudet tulevat olemaan 6,54 m. Ajoradan pituuden vaatimus on 22,96 m, tästä saadaan pilarijaoksi 5,62 m. Ratapalkin päälle asennetaan A55 ratakisko, joka hitsataan kiinni ratapalkkiin. Ratapalkin liitokset hitsataan tasaisiksi, ettei nosturille tule ylimääräisiä kuormituksia.

Rakennesuunnittelussa hyödynnettiin Tekla Structures 2021 ohjelmaa, jolla rakennuksesta luotiin tietomalli (kuva 3). Myös taso- ja leikkauspiirustukset laadittiin samalla ohjelmalla.



Kuva 3. Halli mallinnettuna

### 3.2 Kohteen nosturin lähtötiedot

Kohteen nosturi on vanhasta rakennuksesta purettu ja siirretään toiseen halliin. Nosturin lähtötiedot (Liite 1) on saatu rakennuskohteen tilaajalta uuden käyttötarkoituksen suunnittelua varten. Nosturi on vuonna 1988 valmistettu ALGOL ZKKE kaksipalkkinosturi, joka olisi tarkoitus sijoittaa kuvan 3 halliin. Siltanosturin nostinvaunut ovat köysinostimia, joiden nostokapasiteetti on 8+8 t.

Nosturin jänneväli on pituudeltaan 21 m. Nostovaunun minimietäisyys tuesta on noin 950 mm. Nostovaunujen välinen minimietäisyys on 1275 mm. Nosturin päätyjen pyöräväli on 3150 mm. Siltanosturin vauhti on 40 m/min ja nostovaunujen vauhti on 20 m/min. Noston vauhti on noin 5 m/min. Nostovaunujen vauhti on 20 m/min. Siltanosturin paino on 9,5 t ja nostovaunujen paino on 600 kg. Alla on esitetty kohteen nosturin dynaamiset kertoimet, joista lisää kappaleessa 4.2.

- $\varphi_1=1,1$
- $\varphi_2=1,1$
- $\varphi_3=1,0$
- $\varphi_4=1,0$
- $\varphi_5=1,5$ .

## 4 Kuormat

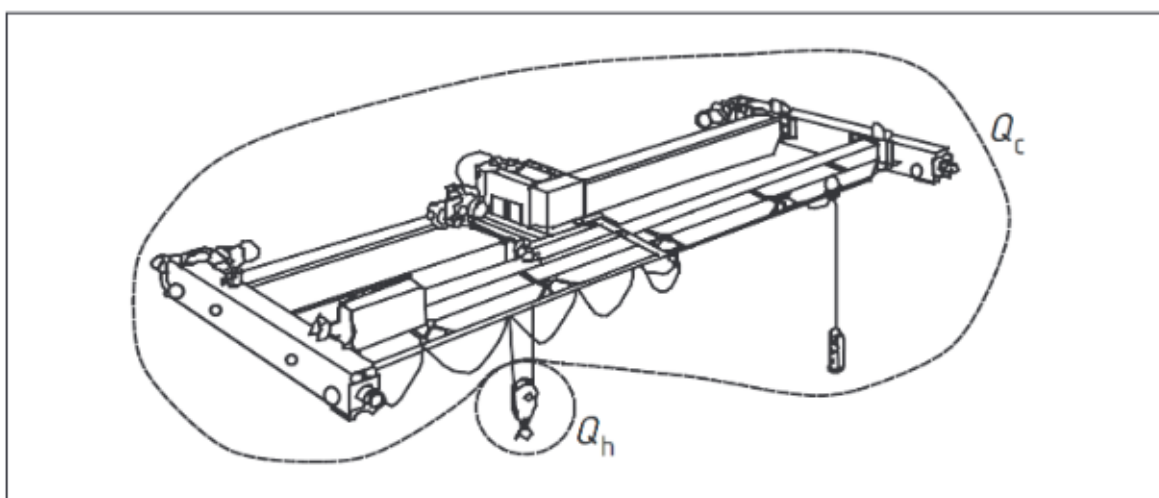
### 4.1 Nosturin kuormat

Nosturin kuormat jaetaan muuttuviin kuormiin ja onnettomuuskuormiin, joista muuttuvat kuormat sisältävät pysty- ja vaakakuormat. Onnettomuuskuormat (ei käsitellä tässä työssä) sisältävät puskimeen ajon ja hyötykuorman törmäyksen esteeseen. (Hietaniemi ym. 2017, 136.)

Nosturista samanaikaisesti muodostuvia kuormia kutsutaan kuormitusyhdistelmiksi, jotka mitoitetaan hetkellisissä maksimiarvoissaan. Kuormitusyhdistelmiä valittaessa on otettava huomioon nosturin ohjausjärjestelmä. Nosturitoimittajan on ilmoitettava käyttäjäoppaassaan mihin kaikkeen nosturi kykenee. Maksimikuormien etsinnässä on tärkeää tutkia useita kuormitustapauksia, joissa nosturi on konfiguroitu eri tavoin. (SFS-EN 13001-1. 2021, 10.)

Kuvasta 4 selviää, että nostoelin lasketaan hyötykuormaksi ja muu nosturirakenne laskeaan nosturin omapainoksi. Siltanosturia hankkiessa on tiedostettava, että nostoelin laskeaan hyötykuormaksi ja että tämä kuorma vähentää nosturin ilmoitettua nostokapasiteettia.

Rakennesuunnittelija tarvitsee lähtötiedoiksi nosturikuormat. Suositeltavaa olisi, että rakennesuunnittelija saa käyttöönsä nosturivalmistajan antamat tuotetiedot kyseisestä nosturista. Vaihtoehtoinen tapa on käyttää valmistajien omia ohjelmia, jotka laskevat kuormitukset eurooppalaisten standardien mukaisesti. Vanhojen olemassa olevien teknisten tietojen käyttö on suositeltavaa, jos mitoitetaan uusia rakenteita käytettäessä vanhaa nosturia. (Hietaniemi ym. 2017, 136.)



Kuva 4. Nosturin kuormien määrittely (Hietaniemi ym. 2017)

## 4.2 Dynaamiset kertoimet

Dynaamisuuskertoimet on laadittu nosturin kantaville rakenteille, joista kuormitukset on ryhmitelty kymmeneen kuormitusryhmään. Ryhmittelyssä on oletettu, että nosturi aiheuttaa vaakavoimaista kuormitusta vain yhteen suuntaan kerrallaan. (Hietaniemi ym. 2017, 137.) Taulukoissa 1 esitettyinä dynaamisuuskertoimien sovellukset ja vaikutukset.

Dynaamisuuskerroin	Huomioon otettava vaikutus	Kuorma, johon sovelletaan
$\varphi_1$	hyötykuorman maasta noston aiheuttamat nosturirakenteiden värähtelyt	nosturin omapaino
$\varphi_2$	hyötykuorman maasta noston dynaamiset vaikutukset	hyötykuorma
$\varphi_3$	taakan äkillisestä irtoamisesta aiheutuvat dynaamiset vaikutukset, esim. magneetti- tai kahmarikäytön yhteydessä	hyötykuorma
$\varphi_4$	nosturin radalla ajosta aiheutuvat dynaamiset vaikutukset	nosturin omapaino ja hyötykuorma
$\varphi_5$	ajovoimien dynaamiset vaikutukset	ajovoimat
$\varphi_6$	koekuorman dynaamiset vaikutukset nosturin normaaliajossa	koekuorma
$\varphi_7$	nosturin puskimeen ajosta aiheutuvat vaikutukset	puskinkuormat

Taulukko 1. Dynaamisuuskertoimet (Hietaniemi ym. 2017)

Kuorman nostaminen tai irrottaminen maassa aiheuttaa värähtelyjä nosturirakenteisiin, jotka huomioidaan rakenteellisesti kuormittavaksi. Nosturirakenteen omapaino kerrotaan  $\varphi_1$  dynaamisuuskertoimella edullisena tai epäedullisena kuormituksen vaikutuksena rakenteille. (SFS-EN 13001-2. 2021, 12.) Kerroin  $\varphi_1$  saadaan kaavalla 1.

$$0,9 < \varphi_1 < 1,1 \quad (1)$$

missä

0,9 ja 1,1 on värähtelyiden ala- ja yläraja-arvot.

(Hietaniemi ym. 2017, 142.)

Maasta nostetun hyötykuorman dynaamiset vaikutukset määritellään nosturin jäykkyyks- ja käyttöluokkien perusteella. Mikäli jäykkyyks- ja nostoluokkia ei käytetä, selvitetään nosturin todellinen nostokäyttö ja jousto-ominaisuudet. Eri menetelmillä saatuja  $\varphi_2$  dynaamisuuskertoimia ei saa sekoittaa tai verrata keskenään. (SFS-EN 15011. 2020, 14.) Kerroin  $\varphi_2$  saadaan kaavalla 2.

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h \quad (2)$$

missä

$\beta_2$  Nosturin jäykkyyssluokan kerroin. Saadaan taulukosta 2

$\varphi_{2,min}$  Nostokäytön kerroin. Saadaan taulukosta 2

$v_h$  Kuorman nostonopeus (m/s).

(SFS-EN 13001-2. 2021, 13.)

Nostoluokka	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Taulukko 2. (Hietaniemi ym. 2017)

Kohteissa, joissa nosturin toimintatapa perustuu äkillisen kuorman irrottamiseen esim. magneettisella nostoelimellä, on otettava dynaamiset vaikutukset huomioon. Hyötykuorma on tässä tapauksessa kerrottava  $\varphi_3$  dynaamisuuskertoimella. Kerroin  $\varphi_3$  voi olla negatiivinen tässä tapauksessa nosturiin kohdistuu nostavaa voimaa. (SFS-EN 13001-2. 2021, 14.)  $\varphi_3$  kerroin saadaan kaavalla 3.

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m_H}{m_H} (1 + \beta_3) \quad (3)$$

missä

$\Delta m_H$  Irrotettavan nostokuorma massa

$m_H$  Nostettava massa kokonaisuudessaan

$\beta_3 = 0,5$  Hitaasti kuorman irrottava nostoelin

$\beta_3 = 1,0$  Äkillisesti kuorman irrottava nostoelin.

(SFS-EN 13001-2. 2021, 15.)

Nosturin liikkuessa kiskoilla on huomioitava alustan epätasaisuus nosturin omalle painolle ja hyötykuormalle. Raot kiskoissa tai askelmat kiskojen välillä aiheuttavat liikkuvaan nosturiin dynaamista kuormitusta. Materiaalin joustavuus on otettava huomioon, jos pyörät ovat joustavia esim. kumipintaisia. Sileäpintainen ajorata ei aiheuta dynaamisia kuormia

nosturille täten dynaamisuuserroin  $\varphi_4=1,0$ . Ratakiskot voidaan asentaa jatkuvana tai liitokset voidaan hioa portaattomiksi. (SFS-EN 15011. 2020, 14.)

Nosturin kiihtyvyyden tai jarrutuksen tasaisuudesta aiheutuvat kuormitukset lasketaan jäykän kappaleen mallina. Jäykän kappaleen mallissa nosturin joustamista ei oteta huomioon ja ajovoima kerrotaan dynaamisuuskertoimella  $\varphi_5$ . (SFS-EN 13001-2. 2021, 15.) Dynaamisuuserroin  $\varphi_5$  saadaan seuraavasti kaavalla 4.

$$\varphi_5 = 1 \quad \text{Keskipakovoimat} \quad (4)$$

$$1 \leq \varphi_5 \leq 1,5 \quad \text{Ajokoneisto, jossa voimat muuttuvat pehmeästi}$$

$$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2 \quad \text{Ajokoneisto, jossa voimat muuttuvat äkillisesti}$$

$$\varphi_5 = 3 \quad \text{Ajokoneisto, jossa on suuri välys.}$$

(SFS-EN 13001-2. 2021, 18.)

Nosturi on koekuormitettava käyttäen dynaamista ja staattista koekuormaa ja kerrottava se dynaamisuuskertoimella  $\varphi_6$ . Dynaamisella koekuormituksella kuorman suuruutena käytetään 110 % hyötykuormasta ja staattisessa koekuormituksessa kuorman suuruutena käytetään vähintään 125 % hyötykuormasta. (SFS-EN 13001-2. 2021, 32.) Dynaamisuuserroin  $\varphi_6$  saadaan seuraavasti kaavalla 5.

$$\varphi_6 = 0,5(1 + \varphi_2) \quad \text{Dynaamiselle koekuormitukselle} \quad (5)$$

$$\varphi_6 = 1 \quad \text{Staattiselle koekuormitukselle.}$$

(Hietaniemi ym. 2017, 142.)

Nosturin törmäyksessä puskuriiin käytetään jäykän kappaleen mallia ja lasketut ajovoimat kerrotaan dynaamisuuskertoimella  $\varphi_7$ . Puskimen kuorma vaikuttaa puskin vasteeseen ja rakennuksen kantavan rungon mitoittamiseen. (SFS-EN 13001-2. 2021, 32; Hietaniemi ym. 2017, 146.) Dynaamisuuserroin  $\varphi_7$  saadaan seuraavasti kaavalla 6.

$$\varphi_7 = 1,25 \quad \text{Puskurit, joilla on lineaarinen ominaiskäyrä esim. jousipuskurit} \quad (6)$$

$$\varphi_7 = 1,25 + 0,7(\xi - 0,5) \quad \text{Puskurit, joilla on tasainen ominaiskäyrä esim. hydrauliset puskurit (0,5 \leq \xi \leq 1).}$$

(SFS-EN 13001-2. 2021, 32.)

Taulukkoon 3 merkittynä kuormitusryhmät murtorajatilassa, koekuormana ja onnettomuuskuormana. Kuormat lasketaan taulukon mukaisesti käyttämällä oikeita

dynaamisuuskertoimia kuormitusryhmien sisällä. Näin huomioidaan nosturin jokainen ääri-  
asento oikeilla dynaamisilla kertoimilla.

	Merkintä	Viittaus	Kuormitusryhmä									
			Murtorajatila							Koe- kuorma	Onnet- tomuus	
			1	2	3	4	5	6	7		8	9
1 Nosturin omapaino	$Q_c$	2.6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2 Hyötykuorma	$Q_h$	2.6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	–	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^1$	–	1	1
3 Nosturisillan kiihdytys	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	–	–	–	$\varphi_5$	–	–
4 Nosturisillan vinoonajo	$H_S$	2.7	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
5 Nostovaunun kiihdytys tai jarrutus	$H_{T3}$	2.7	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–
6 Käyttötuuli	$F_W^*$	Liite A	1	1	1	1	1	–	–	1	–	–
7 Koekuorma	$Q_T$	2.10	–	–	–	–	–	–	–	$\varphi_6$	–	–
8 Puskinvoima	$H_B$	2.11	–	–	–	–	–	–	–	–	$\varphi_7$	–
9 Törmäyskuorma	$H_{TA}$	2.11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1

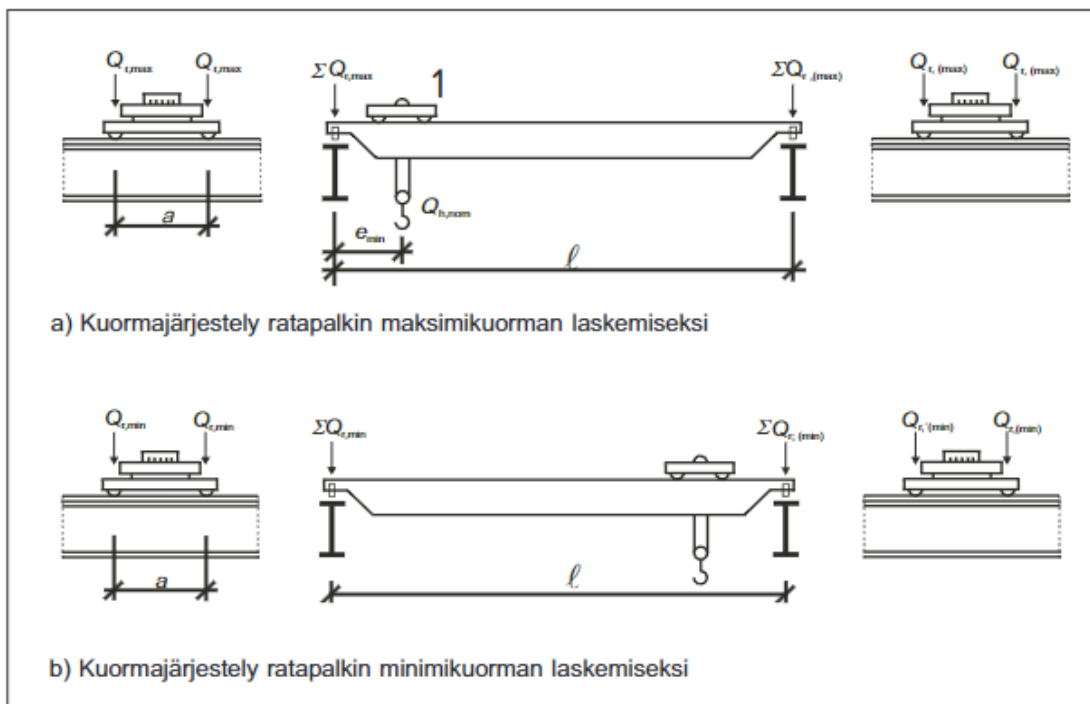
Taulukko 3. Kuormitusryhmät (Hietaniemi ym. 2017)

#### 4.3 Muuttuvat kuormat

Muuttuvat kuormat jaetaan pystykuormiin ja vaakakuormiin, josta pyöräkuormat lasketaan eri kuormitusryhmissä muodostuvista kuormista dynaamisuuskertoimilla. Pystykuormiin kuuluu mm. nosturin omapaino ja hyötykuorma, kun taas vaakakuormiin kuuluvat nosturin tai hyötykuorman liikkeen aiheuttamat kuormitukset vaakasuunnassa (Hietaniemi ym. 2017, 137.) Tutkimuksen kohteena olevassa hallissa nosturirata on irrallinen hallin kantavasta rungosta ja näin ollen lumi ei kuormita lainkaan nosturiradan rakenteita.

#### Pystykuormat

Nosturin pystykuormat ovat nosturin omasta painosta ja hyötykuormasta tulevaa staattista kuormitusta. Pystykuormat jakautuvat ratapalkeille nosturin pyörien kautta. Nostovaunun sijainti ja painopiste vaikuttaa kuormien jakautumisesta ratapalkeille. Kuvassa 5 näytetään nostovaunun sijainnit minimi- ja maksimikuormien saamiseksi. Eri kuormaryhmät ja dynaamisuuskertoimet varmistavat, että nosturin hetkelliset minimi- ja maksimikuormat tulevat tarkasteltua. (Hietaniemi ym. 2017, 140–142.)



Kuva 5. Nostovaunun sijoittelu minimi- ja maksimikuormien laskentaan (Hietaniemi ym. 2017)

Nosturin minimipyöräkuormat kuormitusryhmille 1 ja 2 saadaan kaavoista 7–12.

$$Q_{c1,k} = \varphi_1 * Q_{c1} \quad (7)$$

$$Q_{c2,k} = \varphi_1 * Q_{c2} \quad (8)$$

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{Q_{c1,k}}{2} + \frac{Q_{c2,k} * e_{max}}{L_N} \quad (9)$$

$$\Sigma Q_{r,(min)} = \frac{Q_{c1,k}}{2} + \frac{Q_{c2,k} * e_{min}}{L_N} \quad (10)$$

$$Q_{r,min} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} \quad (11)$$

$$Q_{r,(min)} = \frac{\Sigma Q_{r,(min)}}{2} \quad (12)$$

Nosturin minimipyöräkuormat kuormitusryhmille 3–6 saadaan kaavoista 13–18.

$$Q_{c1,k} = \varphi_4 * Q_{c1} \quad (13)$$

$$Q_{c2,k} = \varphi_4 * Q_{c2} \quad (14)$$

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{Q_{c1,k}}{2} + \frac{Q_{c2,k} * e_{max}}{L_N} \quad (15)$$

$$\Sigma Q_{r,(min)} = \frac{Q_{c1,k}}{2} + \frac{Q_{c2,k} * e_{min}}{L_N} \quad (16)$$

$$Q_{r,min} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} \quad (17)$$

$$Q_{r,(min)} = \frac{\Sigma Q_{r,(min)}}{2} \quad (18)$$

Nosturin maksimipyöräkuormat kuormitusryhmälle 1 saadaan kaavoista 19–23.

$$Q_{h,k} = \varphi_2 * Q_h \quad (19)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = \Sigma Q_{r,(min)} + \frac{Q_{h,k*e_{max}}}{L_N} \quad (20)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = \Sigma Q_{r,min} + \frac{Q_{h,k*e_{min}}}{L_N} \quad (21)$$

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} \quad (22)$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} \quad (23)$$

Nosturin maksimipyöräkuormat kuormitusryhmälle 2 saadaan kaavoista 24–28.

$$Q_{h,k} = \varphi_3 * Q_h \quad (24)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = \Sigma Q_{r,(min)} + \frac{Q_{h,k*e_{max}}}{L_N} \quad (25)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = \Sigma Q_{r,min} + \frac{Q_{h,k*e_{min}}}{L_N} \quad (26)$$

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} \quad (27)$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} \quad (28)$$

Nosturin maksimipyöräkuormat kuormitusryhmälle 3–6 saadaan kaavoista 29–33.

$$Q_{h,k} = \varphi_3 * Q_h \quad (29)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = \Sigma Q_{r,(min)} + \frac{Q_{h,k*e_{max}}}{L_N} \quad (30)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = \Sigma Q_{r,min} + \frac{Q_{h,k*e_{min}}}{L_N} \quad (31)$$

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} \quad (32)$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} \quad (33)$$

missä

$L_N$

Nosturin jänneväli

$e_{min}$	Nostovaunun ja hyötykuorman minimietäisyys tuesta
$e_{max}$	Nostovaunun ja hyötykuorman maksimietäisyys tuesta
$Q_{c1}$	Nosturin paino
$Q_{c2}$	Nostovaunun paino
$Q_h$	Hyötykuorma, mukaanluettuna nostoelimen paino
$Q_{c1,k}$	Nosturin sillan laskennallinen arvo
$Q_{c2,k}$	Nostovaunun laskennallinen arvo
$Q_{h,k}$	Hyötykuorman laskennallinen arvo
$\Sigma Q_{r,min}$	Nosturin omapainon minimikuormitus ratapalkille
$\Sigma Q_{r,(min)}$	Nosturin omapainon maksimikuormitus ratapalkille
$\Sigma Q_{r,max}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman maksimikuorma ratapalkille
$\Sigma Q_{r,(max)}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman minimikuorma ratapalkille
$Q_{r,min}$	Nosturin omapainon minimikuormitus pyörälle
$Q_{r,(min)}$	Nosturin omapainon maksimikuormitus pyörälle
$Q_{r,max}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman maksimikuorma pyörälle
$Q_{r,(max)}$	Nosturin omapainon ja hyötykuorman minimikuorma pyörälle
$\varphi_{1-7}$	Dynaamiset kertoimet.

(Hietaniemi ym. 2017, 137.)

Pystykuormien epäkeskisyys täytyy huomioida jokaisessa kuormitusryhmässä. Epäkeskisyys saadaan yleensä nosturitoimittajalta, mutta se voidaan määrittää suositusarvoja käyttäen kaavaa 34.

$$e = 0,25 * b_r \quad (34)$$

missä

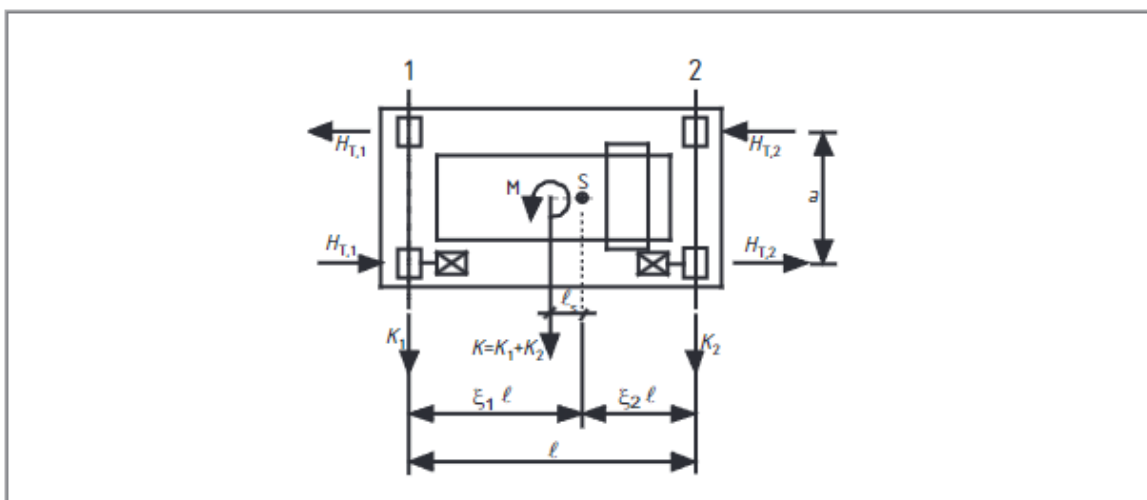
$e$  Pystykuorman epäkeskisyys

$b_r$  Ratakiskon leveys.

(Hietaniemi ym. 2017, 137.)

### Vaakakuormat

Radan suuntaisia vaakakuormia muodostuu nosturin kiihdytyksestä ja jarrutuksesta. Rataa vastaan kohtisuoria vaakavoimia tulee nosturin vinoonajosta, nostovaunun liikkeistä. Lisäksi rataa vastaa kohtisuora vaakavoimaa tulee nosturin liikkeessä radalla etummaiselle pyöräparille näiden tai tämän toimiessa ohjaavana pyöränä kuten kuvasta 6 huomaa. (SFS-EN 13001-2. 2021. 23)



Kuva 6. Nosturin vaakavoimat havainnoituna (Hietaniemi ym. 2017)

Nosturin ajovoimat saadaan kaavoilla 35 ja 36.

$$K = \mu * \Sigma Q_{r,min} = \mu * m_w * Q_{r,min} \quad (35)$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 * \frac{K}{n_r} \quad (36)$$

missä

$\mu$  Kitkakerroin (teräspyörät = 0,2)

$m_w$  Ajokoneistojen määrä

$K$  Nosturin ajovoima

$n_r$  Ratapalkkien lukumäärä.

(Hietaniemi ym. 2017, 155.)

Nosturin kiihdytyksen ja jarrutuksen aiheuttamat ajoradan suuntaiset vaakavoimat saadaan kaavoista 37–41.

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)} \quad (37)$$

$$\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{\Sigma Q_r} \quad (38)$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 \quad (39)$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) * L_N \quad (40)$$

$$M = K * l_s \quad (41)$$

Vaakavoimat  $H_{T,1}$  ja  $H_{T,2}$  tasapainottavat painopisteen epäkeskisyydestä aiheutuvan momentin.  $H_{T,1}$  ja  $H_{T,2}$  arvot saadaan kaavoilla 42 ja 43.

$$H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a} \quad (42)$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} \quad (43)$$

missä

$\Sigma Q_r$  Siltanostimen maksimikuormitus kuormitusryhmittäin ratapalkeille.

$\xi_1$  Massakeskiön maksimietäisyyden pituuskerroin tuesta.

$\xi_2$  Massakeskiön minimietäisyyden pituuskerroin tuesta.

$l_s$  Massakeskiön epäkeskisyyden pituus.

$M$  Momentti.

$a$  Nosturin pyörien väli.

(Hietaniemi ym. 2017, 143.)

Vinoonajosta tulevien vaakakuormien laskennassa käytetään kuormitusryhmän 5 pyöräkuormia.  $\lambda$  kerronnaiset laskettuna laipallisilla pyörillä ilman erillistä ajokoneistoa, jolloin liikkuemissuunnan etummainen pyöräpari toimii ohjauslaitteena. Näin voidaan todeta, että hetkellisen kääntökeskiön etäisyys ohjauslaitteesta =  $a$ . Vinoonajo kertoimet saadaan kaavoilla 44 ja 45.

$$f = 0,3 * (1 - \exp(-250 * \alpha)) \leq 0,3 \quad (44)$$

$$\lambda_s = 1 - \frac{\Sigma e_j}{n * h} \quad (45)$$

Pyöräparin 1 kuormat saadaan kaavoilla 46–51.

$$\lambda_{S,1,1,T} = \left(\frac{\xi_2}{n}\right) * \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) \quad (46)$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \left(\frac{\xi_1}{n}\right) * \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) \quad (47)$$

$$\lambda_{S,1,1,L} = \lambda_{S,2,1,L} \quad (48)$$

$$S = f * \lambda_s * \Sigma Q_r \quad (49)$$

$$H_{S,1,1,T} = f * \lambda_{S,1,1,T} * \Sigma Q_r \quad (50)$$

$$H_{S,2,1,T} = f * \lambda_{S,1,1,T} * \Sigma Q_r \quad (51)$$

Pyöräparin 2 kuormat saadaan kaavoilla 52–56.

$$\lambda_{S,1,2,T} = \left(\frac{\xi_2}{n}\right) * \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) \quad (52)$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \left(\frac{\xi_1}{n}\right) * \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) \quad (53)$$

$$\lambda_{S,1,2,L} = \lambda_{S,2,2,L} \quad (54)$$

$$H_{S,1,2,T} = f * \lambda_{S,1,2,T} * \Sigma Q_r \quad (55)$$

$$H_{S,2,2,T} = f * \lambda_{S,2,2,T} * \Sigma Q_r \quad (56)$$

missä

$f$	Vierintäkitkakerroin
$\alpha$	Vinoonajokulma (oletettuna 0,008 rad)
$n$	Pyöräparien määrä
$h$	Hetkellinen kääntökeskiön etäisyys ohjauslaitteesta
$S$	Ohjausvoima
$\lambda_s, \lambda_{x,x,x,x}$	Kerroin.
$H_{S,1,1,T}$	Vinoonajon omapainon ja hyötykuorman minimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille
$H_{S,2,1,T}$	Vinoonajon omapainon ja hyötykuorman maksimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille
$H_{S,1,2,T}$	Vinoonajon omapainon ja hyötykuorman minimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan takimmaiselle pyöräparille

$H_{S,2,2,T}$  Vиноonajon omapainon ja hyötykuorman maksimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan takimmaiselle pyöräparille.

(Hietaniemi ym. 2017, 155–156.)

Nostovaunun kiihdytyksen ja jarrutuksen aiheuttamat poikittaissuuntaiset vaakavoimat saadaan olettamalla vähintään 10 % nostovaunun ja hyötykuorman arvosta (kaava 57). Kuorma jakautuu tasaisesti nostimen palkeille, jos vaunun pyörät ovat molemmin puolin laipallisia. Mikäli vain toisen puolen renkaat ovat laipallisia, sen puolen palkki siirtää kuorman kokonaisuudessaan.

$$H_{T,3} = 0,1(Q_{c2} + Q_h) \quad (57)$$

missä

$H_{T,3}$  Nostovaunun ja hyötykuorman kiihdytyksen ja jarrutuksen aiheuttama poikittaissuuntainen vaakakuorma.

(Hietaniemi ym. 2017, 144.)

### Onnettomuuskuormat

Nosturin puskimiseen ajosta aiheutuvat voimat saadaan kaavoilla 58 ja 59.

$$H_{B,1} = \varphi_7 * v_1 \sqrt{m_c * S_B} \quad (58)$$

$$H_{B,2} = 0,1(Q_{c2} + Q_h) \quad (59)$$

missä

$H_{B,1}$  Nosturin puskimiseen ajovoima

$H_{B,2}$  Vaunun puskimiseen ajosta aiheutuvat puskin kuormat

$v_1$  70 % nosturin ajovoimasta (m/s)

$m_c$  Nosturin omapaino ja hyötykuorma (kg)

$S_B$  Puskimen jousivakio.

(Hietaniemi ym. 2017, 147.)

## 4.4 Pyöräkuormat

Pyöräkuormat laskettiin käyttämällä tämän työn aikana tehtyä laskenta-alustaa. Käsien laskelmaa voi seurata liitteestä 2. Alla olevassa taulukossa 4 on ilmoitettuna pyöräkuormat kN

arvolla dynaamisuuskertoimilla laskettuna. Pyöräkuormat kattavat pystykuormat ja vaakakuormat.

Lasketusta taulukosta valitaan mitoittavimmat pyöräkuormat rakenteiden mitoitus varten. Maksimipystykuormat nosturin pyörille  $Q_{r,max} = 111$  kN ja minimipyöräkuormat  $Q_{r,min} = 26,6$  kN. Nosturin suuntainen vaakakuorma  $H_{L1}=H_{L2}=8$  kN. Nosturin rataa vasten kohtisuora kuorma tulee vinoonajosta  $H_{S,2,1,L} = 26,7$  kN.

Kuormitusryhmä			1	2	3	4	5	6
Dynaaminen kerroin			$\varphi_1=1,1$	$\varphi_1=1,1$	1	$\varphi_4=1,0$	$\varphi_4=1,0$	$\varphi_4=1,0$
			$\varphi_2=1,07$	$\varphi_3=1,0$	$\varphi_5=1,5$	$\varphi_5=1,5$	1	1
			$\varphi_5=1,5$	$\varphi_5=1,5$				
Pystykuormat/ pyörä	Nosturin omapaino	$Q_{r,(min)}$	32,2	32,2	29,3	29,3	29,3	29,3
		$Q_{r,min}$	26,6	26,6	24,2	24,2	24,2	24,2
	Nosturin omapaino + hyötykuorma	$Q_{r,(max)}$	33,1	32,7	30,3	30,3	30,3	30,3
		$Q_{r,max}$	110,9	106,2	103,2	103,2	103,2	103,2
Vaakakuormat/ pyörä	Nosturin kiihdytys ja jarrutus	$H_{L1}$	8	8	7,3	7,3	-	-
		$H_{L2}$	8	8	7,3	7,3	-	-
		$H_{T,1}$	6,6	6,6	6	6	-	-
		$H_{T,2}$	22,2	22,2	20,2	20,2	-	-
	Nosturin vinoonajon kuormat	$S$	-	-	-	-	34,6	-
		$H_{S,1,1,L} = H_{S,1,2,L}$	-	-	-	-	0	-
		$H_{S,2,1,L} = H_{S,2,2,L}$	-	-	-	-	0	-
		$H_{S,1,1,T}$	-	-	-	-	8	-
		$H_{S,2,1,T}$	-	-	-	-	26,7	-
		$H_{S,1,2,T}$	-	-	-	-	0	-
		$H_{S,2,2,T}$	-	-	-	-	0	-
	Vaunun kiihdytys ja jarrutus	$H_{T,3}$	-	-	-	-	-	8,3

Taulukko 4. Kohteen pyöräkuormalaskelmat taulukoituna

Liitteessä 1 olevassa kuvassa on annettuna vuonna 1988 lasketut nosturin minimi- ja maksimi pyöräkuormat. Vanhojen lähtötietojen maksimipyöräkuorma  $R_{max} = 105$  kN ja minimipyöräkuorma  $R_{min} = 27$  kN. Vanhat lähtötiedot eivät anna nosturin tuottamia vaakakuormia.

Maksimipyöräkuormat  $R_{max} = 105$  kN ja  $Q_{r,max} = 111$  kN. Minimipyöräkuormat  $R_{min} = 27$  kN ja  $Q_{r,min} = 27$  kN

Vertaamalla pyöräkuormia ja käsin laskennassa saatuja pyöräkuormia voidaan todeta, että laskelmat täsmäävät. Pienet heitot kuormissa voi tulla uusista mitoitusnormeista tai dynaamisuuskertoimien päivityksestä nykyisiin normeihin.

## 5 Rakenteiden mitoitus

Rakenteiden mitoituksessa noudatetaan ympäristöministeriön asetuksia kantavien rakenteiden mitoituksessa. Rakenteet mitoitetaan käyttämällä valmiita laskenta-alustoja ja ohjelmia, joita on rakennesuunnittelijoilla käytössä. Taulukossa 5 on ympäristöministeriön vaatimus nosturikuormien osavarmuuskertoimille.

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusilanteet		Yht.6.10a	Yht.6.10b
Pysyvät kuomat	Epäedulliset	$1,35K_{FI}G_{ki,sup}$	$1,15K_{FI}G_{ki,sup}$
	Edulliset	$1,0G_{ki,inf}$	$1,0G_{ki,inf}$
Jos nosturikuorma on määräävä muuttuva kuorma			$1,35K_{FI}Q_{k,l}$
Jos nosturikuorma on muuta samanaikaista muuttuvaa kuormaa			$1,35K_{FI}\psi_{0,i}Q_{k,i}$

Taulukko 5. Nosturikuormien osavarmuuskertoimet (Ympäristöministeriön asetus nostureiden tai muiden koneiden kuormista 11/16.)

Tässä tapauksessa nosturikuorma on määräävä muuttuva kuorma, joten nosturikuormille käytetään osavarmuuskertoimena 1,35. Nostinradan pysyville kuormille käytetään osavarmuuskertoimena 1,15.

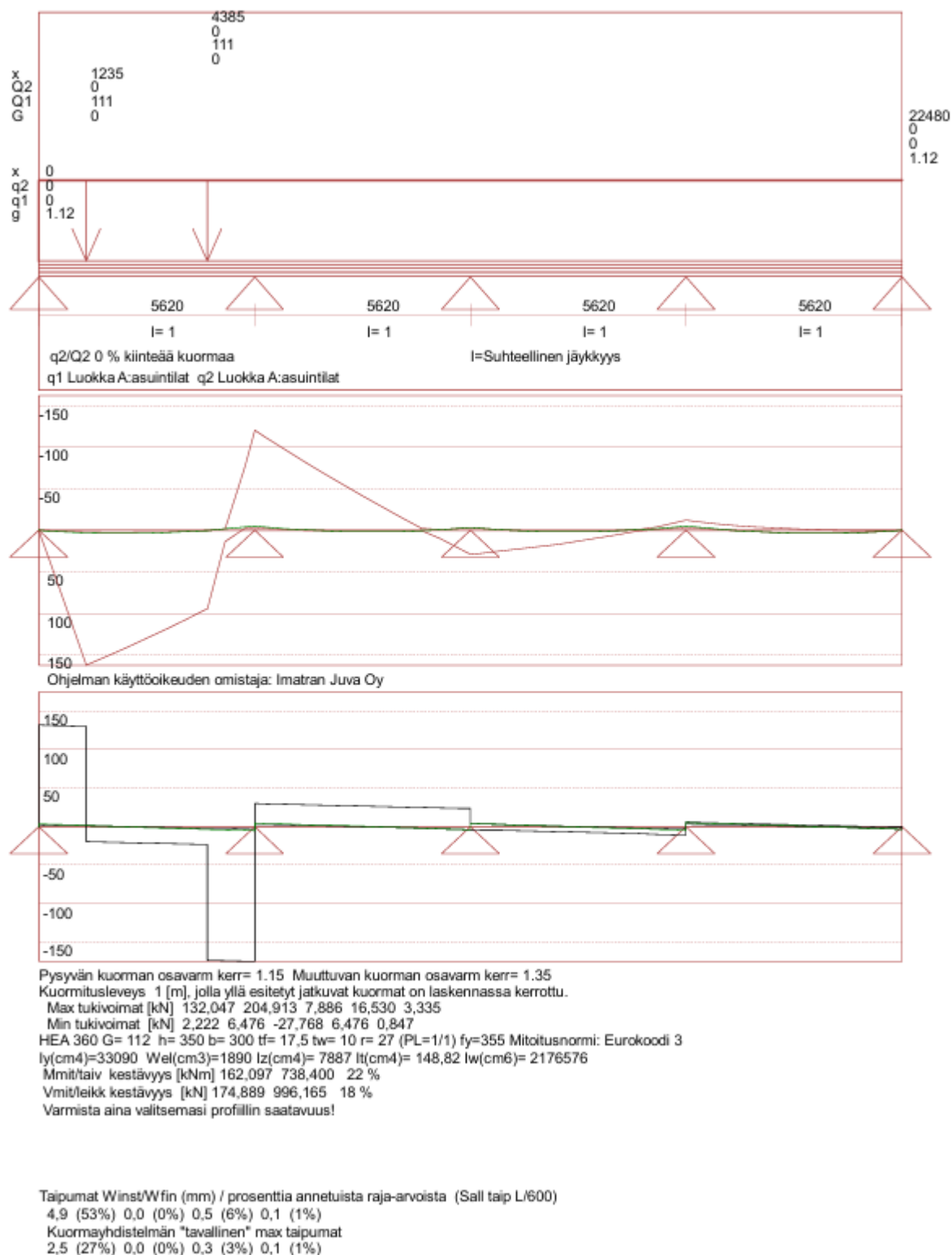
### 5.1 Ratapalkin mitoitus

Tässä opinnäytetyössä ratapalkin tarkempi väsymysmitoitus rajataan ulos, palkki mitoiteaan käyttäen PupaX5-ohjelmaa. Ratapalkin sallittu pysty- ja vaakasuuntainen taipuma saadaan kaavasta 51, joka syötetään PupaX5-ohjelmaan.

$$\frac{L}{600} \leq 25 \text{ mm} \quad (51)$$

(SFS-EN 1993-6 + AC EC3 OSA 6. 2007, 29–30.)

Arvioidaan nosturin ratapalkiksi kuumavalssattu HEA 360 lujuusluokaltaan S355J2 vanhojen piirustusten perusteelta (Liite 1). Alla olevassa kuvassa 7 on PupaX5-ohjelman suorittama mitoitus ratapalkista, kun nosturi on sijoitettuna pilareiden väliin luoden maksimikuormituksen ratapalkille. Kuormituksenä on käytetty taulukon 4 nosturin maksimikuormaa eli omapainon ja hyötykuorman suurinta arvoa kuormitusryhmässä 1. HEA 360 palkin oman painon arvoksi annetaan 112 kg/m. (Tuulissuon Rautavarasto Oy).



Kuva 7. Ratapalkin mitoituksen graafinen tuloste

Kuvan 7 ensimmäisessä kuviossa on kerrottuna kuormitukset määrät ja sijoitukset, tasainen kuorma  $G_{k, \text{hea360}} = 1,12 \text{ kN/m}$ , Pistekuormat  $Q_{r, \text{max}} = 111 \text{ kN/pyörä}$ . Toisessa kuviossa on ratapalkin momenttikuvio murtorajatilassa, jossa maksimiarvo  $M_{\text{max}} = 162,1 \text{ kNm}$  ja momentin

minimiarvo  $M_{\min} = -120,4$  kNm. Kolmannessa kuviossa on leikkausvoimakuvio murtorajatilassa, jossa maksimileikkausvoima  $V_{\max} = 132$  kN ja minimileikkausvoima  $V_{\min} = -175$  kN.

Kuvan 7 alareunassa saadussa tuloksessa selviää tukivoimat eli pilareille tulevat kuormat murtorajatilassa. Positiiviset arvot kuvaavat puristavaa voimaa ja negatiiviset arvot vetävää voimaa. Tämä kuormitustapaus ei ole kuitenkaan mitoittavin kuorma pilarin mitoituksessa. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että kyseisessä tapauksessa kolmannella tukipisteellä oleva negatiivinen voima tarkoittaa palkin nousemista irti pilarista ilman tarpeenmukaista liitosta pilariin. Mitoituksen tulokset seuraavasti.

- Taivutuskestävyys  $M_{Rd} = 738$  kNm, taivutusmurto  $M_{Ed} = 162$  kNm, käyttöaste 22 %.
- Leikkauskestävyys  $V_{Rd} = 996$  kN, leikkausmurto  $V_{Ed} = -175$  kNm. käyttöaste 18 %.
- Sallittu taipuma  $L/600 = 9,4$  mm  $\leq 25$  mm, Taipuma  $W_{inst} = 4,9$  mm, käyttöaste 53 %.

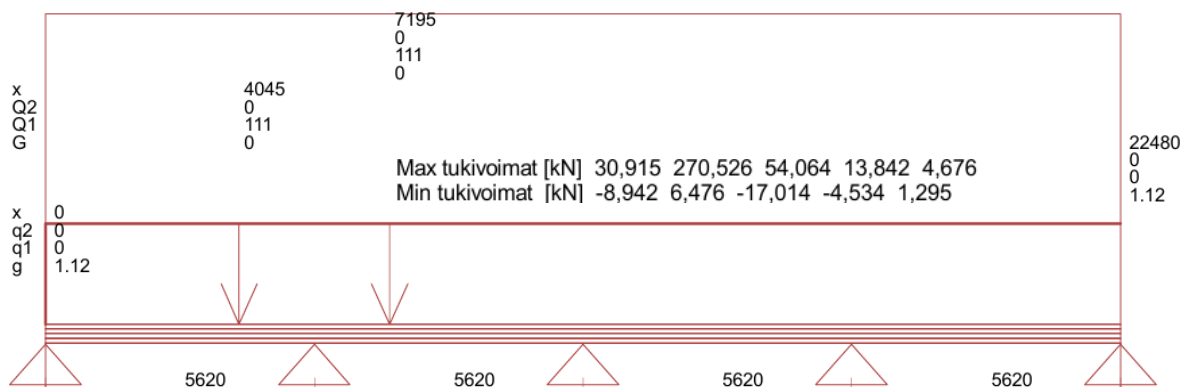
Mitoituksesta selviää, että palkki on ylimitoitettu kuormia vastaan. Palkkia ei kuitenkaan vaihdeta, koska palkki on geometrialtaan hyvä. Ylimitoitettu palkki antaa myös varmuutta puuttuvalle väsymysmitoitukselle.

## 5.2 Mastopilarin mitoitus

Mastopilarille tulevat kuormat saadaan sijoittamalla nosturista tulevat pystykuormat PupaX5-ohjelmaan, siten että nosturi sijaitsee kohdassa, joka aiheuttaa pilarille maksimaalisen kuormituksen. Kuormat kerrotaan taulukon 5 mukaisilla yhdistelmäkertoimilla. PupaX5-ohjelmasta saadut tukivoimat syötetään *SKOL B3 Kahteen suuntaan taivutettu teräsbetonipilari* mitoituslustralaan. Laskenta-alustalle syötetään murtorajatilan voimasuureet.

Mastopilarin nurjahduskerroin  $L_c$  on teoreettisesti  $2 * L$ . Betonirakenteiselle mastopilarille suositellaan kuitenkin nurjahduskerrointa  $2,2 * L$ . Mastopilarissa liitokset suunnitellaan niin jäykiksi, että kiertymä ja sivusiirtymä on estetty. (Järveläinen ym. 2017, 332.)

Pilarille tulevia kuormia on tässä kohteessa nosturin pysty ja vaakakuormat, sekä ratapalkin ja kiskon omapaino. Pystykuormana käytetään kuvassa 8 PupaX5-ohjelmalla saatua normaalivoiman maksimiarvoa. Normaalivoiman laskenta-arvoksi saadaan  $N_{Ed} = 271$  kN puristusta.



Kuva 8. Pilarille tuleva maksimikuorma on palkin tukireaktio

Nosturin vaakakuormat ja normaalivoiman epäkeskisyys aiheuttavat pilarille momenttirasitusta, joka pitää ottaa huomioon. Vaakakuormituksia tulee tässä tapauksessa ratapalkin suuntaisesti ja ratapalkkia kohtisuoraa vastaan. Käytetään ratapalkin suuntaisesti tulevaa momenttirasitusta y-y akselin suuntaisena ja ratapalkkia kohtisuoraa vasten tulevaa momenttia z-z akselin suuntaisena. Maksimimomenttirastitukset saadaan kertomalla pilarille tuleva vaakakuorma pilarin, ratapalkin ja rataakiskon korkeudelta (kaava 60). (Rakentajain kalenteri 2017. 321). z-z akselille lisätään myös normaalivoiman epäkeskisyydestä tuleva momentti.

Vaakakuormat saadaan nosturin kuormien laskelmista, jotka esitettyinä taulukossa 4. Maksimi y-y akselille tuleva vaakakuorma saadaan nosturin vinoonajon voimista. Kaikissa nosturimalleissa vinoonajo ei ole mahdollista, tässä tapauksessa suurin vaakakuorma tulee joko etummaisesta pyöräparin ohjausvoimasta tai nostovaunun kiihdytyksestä ja jarrutuksesta.

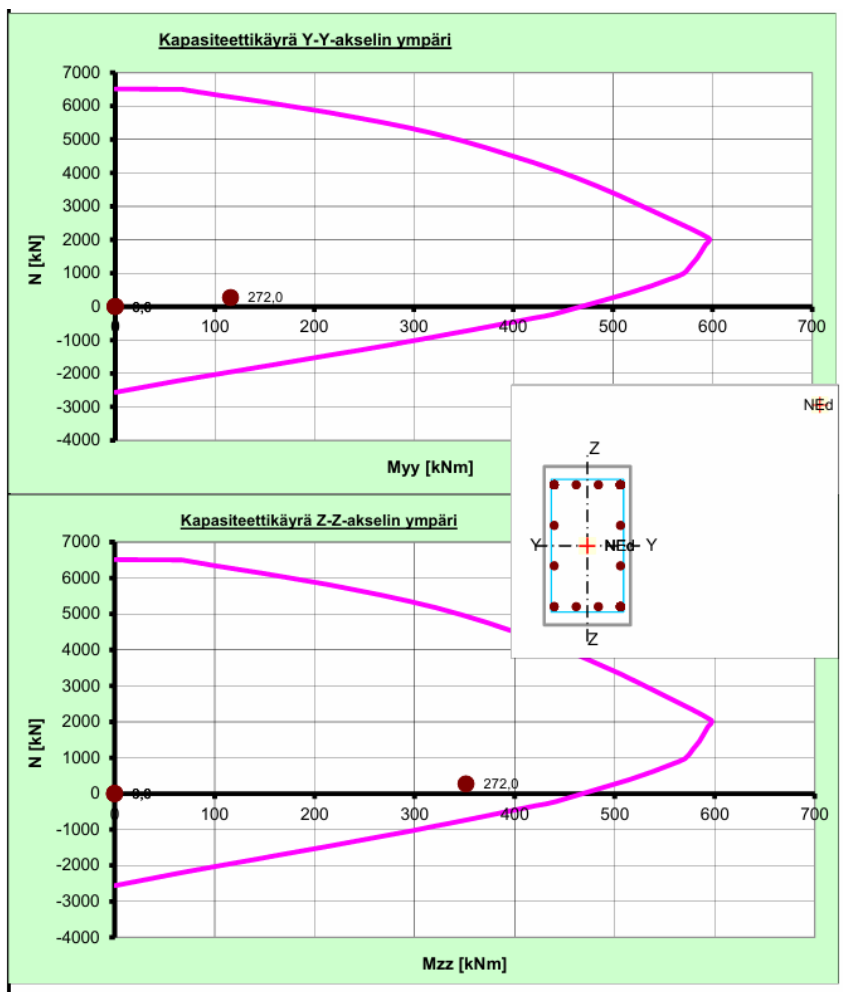
Lasketaan pilarille tulevat maksimimomentit pilarin, ratapalkin ja rataakiskon korkeudelta seuraavasti.

$$e = N_{Ed} * 0,25 * b_{rataakisko} = 2,8 \text{ kNm} \quad \text{käytetty kaavaa 34}$$

$$M_{max,y} = F * L * 1,35 = H_{T,1} * (L_{pilari} + h_{ratapalkki} + h_{rataakisko}) * 1,35 = 81,3 \text{ kNm} \quad (60)$$

$$M_{max,z} = F * L * 1,35 = H_{S,2,1,T} * (L_{pilari} + h_{ratapalkki} + h_{rataakisko}) * 1,35 = 275,3 \text{ kNm} \quad \text{sovellettu kaavasta 60.}$$

Syötetään alustalle tarvittavat lähtötiedot pilarista ja arvioidaan pilarin kooksi 480x480 mm. Pilarin pituus saadaan kohteen lähtötiedoista kappaleesta 3.1. Betonin lujuusluokaksi syötetään C35/45 ja rasisuusluokaksi XC1 sisätiloissa. Lasketut kuormat sijoitetaan murtorajatilassa alustalle.



Kuva 9. Mastopilarin mitoitettut kapasiteettikäyrät (Copyright: Citec Engineering Oy Ab, SWECO Finland Oy ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry. 2009 – 2023.)

Kuvassa 9 mastopilarin kapasiteettikäyrät y-y ja z-z akselin ympäri. Mastopilarin mitoittavimmaksi kuormaksi tulee vinotaivutus. Raudoituksena käytettiin pääteräksinä kummallakin sivulla 4 kpl halkaisijaltaan 25 mm harjateräksiä. Betoniteräksen vahvuutena käytetty  $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ . Mitoituksen tulokset liitteestä 3 seuraavasti.

Pilariin tulevien hakojen tulee olla halkaisijalta minimissään 6 mm tai neljäsosa pääterästankojen halkaisijasta. Hakaväli saadaan käytetyn pääteräksen poikkileikkauksesta kerrottuna 15. (Söderlund ym. 2011, 78.) Hakojen halkaisijaksi valitaan 8 mm harjateräs ja hakojen väliksi 350 mm.

- Taivutuskestävyys  $M_{Rd,y}= 490,5 \text{ kNm}$ ,  $M_{Ed,y}= 115,9 \text{ kNm}$ , käyttöaste 24 %.
- Taivutuskestävyys  $M_{Rd,z}= 490,5 \text{ kNm}$ ,  $M_{Ed,z}= 351,4 \text{ kNm}$ , käyttöaste 72 %.
- Vinotaivutuskestävyyden käyttöaste 95 %.

### 5.3 Maanvaraisen anturan mitoitus

Maanvaraiselle anturalle tulee kuormitusta nosturista, pilarista ja anturan omasta painosta. Kuormitus on luonteeltaan pystysuuntaista normaalivoimaa ja mastopilarista jäykän kiinnityksen vuoksi momenttikuormia, jotka pyrkivät kaatamaan anturan.

Kohteeseen ei ollut tehty pohjatutkimuksia, joten niihin perustuvaa tarkkaa anturan mitoitusta ei voida suorittaa. Laskentaa varten maanvaraisen anturan maaperän geotekninen kantavuus arvioidaan olevan 100 kPa käyttörajatilassa ja mitoitusarvoltaan  $R_d/A' = 150$  kPa.

Anturan mitoituksessa käytetään *SKOL B19 Maanvarainen antura* mitoituslaskentaa. Laskenta-alusta vaatii, että kuormat tulee sijoittaa erikseen rakenteen omana painona ja nosturin hyötykuormana käyttörajatilassa omille sarakkeilleen. Lasketaan seuraavaksi kuormat.

$N_{Ek} = \frac{N_{Ed}}{1,35} = 201,5 \text{ kN}$  Jakamalla normaalivoima osavarmuuskertoimella saadaan kuorma käyttörajatilassa.

$$G_{k,pilari} = b_{pilari} * h_{pilari} * L_{pilari} = 37 \text{ kN}$$

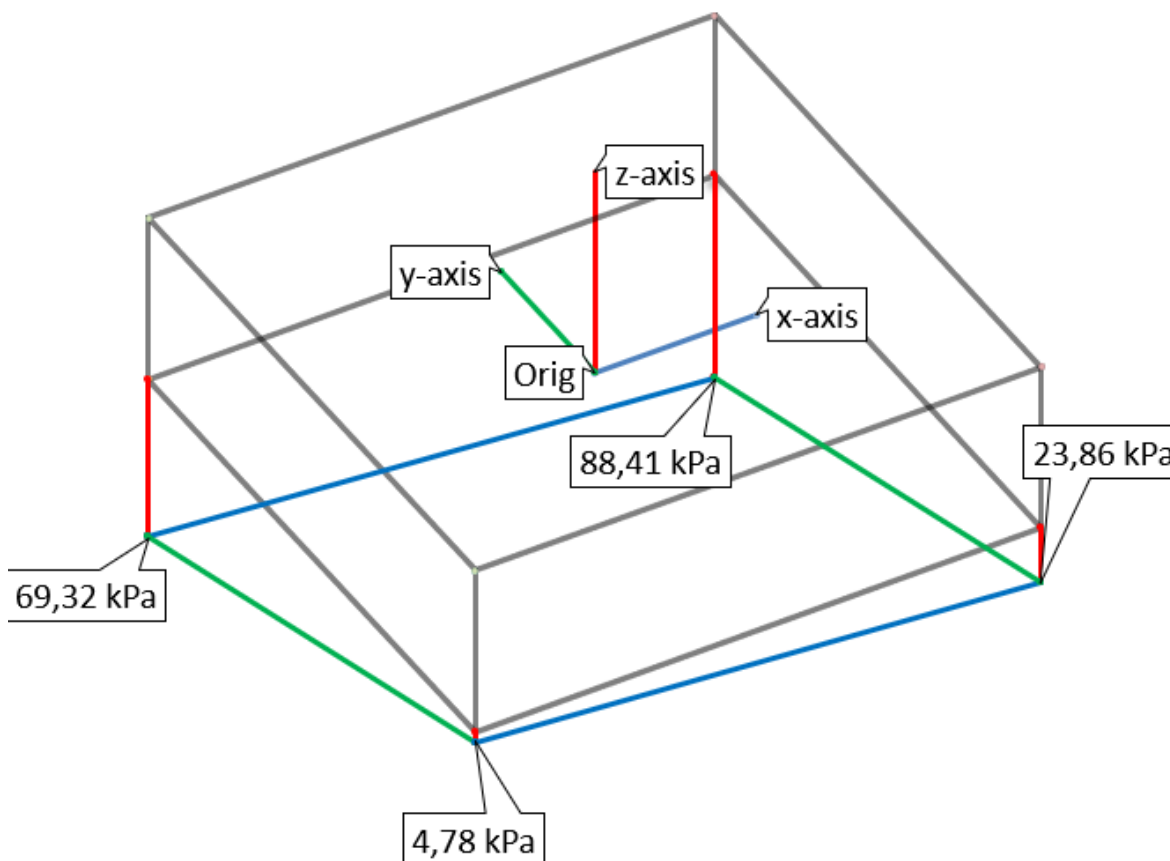
$$M_{max,y} = F * L * 1,35 = H_{T,1} * (L_{pilari} + h_{ratapalkki} + h_{ratakisko} + h_{antura}) = 68,2 \text{ kNm}$$

$$M_{max,z} = F * L * 1,35 = H_{S,2,1,T} * (L_{pilari} + h_{ratapalkki} + h_{ratakisko} + h_{antura}) = 230,6 \text{ kNm}$$

Syötetään alustalle saadut lähtötiedot mitoitusta varten. Betonin lujuusluokka anturoilla on C25/30 ja rasitusluokka XC2. Betoniteräksenä käytetään harjaterästä B500B. Suoritetaan tämän jälkeen laskenta.

Anturan pinta-alan mitoittaa käyttörajan sallittu pohjapaine. Liitteessä 4 laskenta-alusta suorittaa laskennan ja ilmoittaa käyttöasteet. Mitoituksessa anturan kooksi valikoitui leveydeltään 3500x3500 mm ja 800 mm korkeudeltaan. Raudoituksina toimivat pääteräkset anturan alapinnassa halkaisijoiltaan 16 mm. Teräkset ovat mitoitetuna molempiin suuntiin k/k jaolla 200 mm. Kuva 4 anturan mitoituksen ominaispohjapaineesta.

## Ominaispohjapaine



Kuva 10. Anturan mitoitus SKOL-pohjassa (Copyright: WSP Finland Oy ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry. 2009 - 2011, Sweco Finland Oy ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry. 2011-2023 versio 1.6 -1.9.)

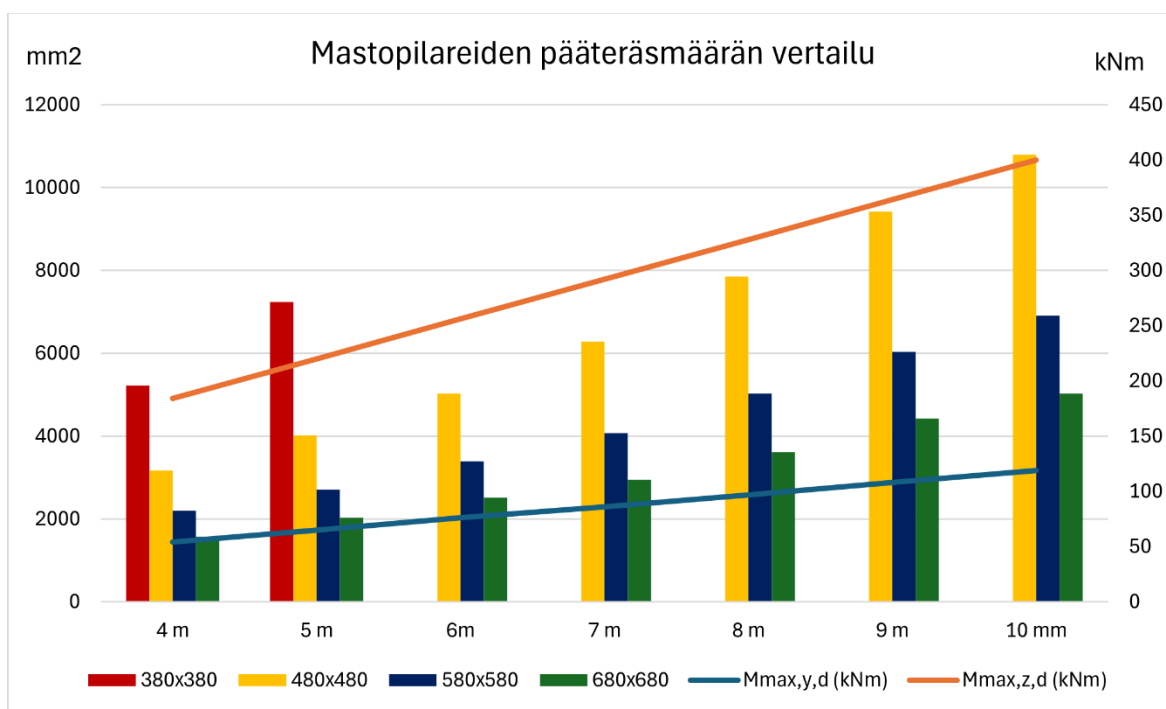
Kuvasta 10 voidaan havainnoida kahden akselin ympäri kuormittavien momenttien aiheuttama pohjapaine. Anturalle tulevat momenttikuormat pyrkivät yhdessä painamaan anturan yhtä nurkkaa runsaasti suhteessa muuhun osaa anturaa. Pohjapaineen maksimi arvo on 88,4 kPa. Maapohja kestää kuormituksen 100 kPa, jolloin käyttöasteeksi tulee 88 %. Mitoitetun anturan koko on riittävä.

## 6 Mastopilareiden pääteräsmäärän vertailu eri kokoisilla pilareilla

Suoritetaan vertailua mastopilarin korkeuden vaikutuksesta pääteräsmäärälle eri poikkileikkauksissa siltanosturista tulevaa kuormaa vastaan. Siltanosturina käytetään kaksipalkkisiltanosturia, jossa on kaksi nostovaunua 8+8 t hyötykuormalla. Vertailtavat pilarikoot ovat vakiokokoja 380x380 mm, 480x480 mm, 580x580 mm ja 680x680 mm. Korkeudet mastopilareiden vertailuun ovat 4–10 metriin. Korkeudet valikoituivat nosturin käytön tavanomaisista korkeuksista. Pilareiden kuormitusalueeksi valittiin 6 m. Pilarit mitoitettiin mahdollisimman lähelle 100 % käyttöastetta.

Nosturin pyöräkuormien laskentaan käytettiin tämän opinnäytetyön ohella tehtyä laskentalustaa. Nosturin lähtötietoina on käytetty kappaleen 5 arvoja. Mastopilareiden mitoitukseen käytettiin *B3 Kahteen suuntaan taivutettu teräsbetonipilari* SKOL-pohjaa, kuten kappaleessa 6.2.

Vertailussa on käytetty tämän kohteen aikaisemmissa laskuissa käytettyjä kuormia. Normaalivoima  $N_{Ed}=272$  kN (puristus positiivinen arvo SKOL-pohjassa). Momentin maksimiarvot pilarin Y- ja Z-akselin ympäri  $M_{max,y,d}=54\dots 119$  kNm ja  $M_{max,z,d}=183\dots 400$  kNm kuormat nousee pilareiden kasvaessa. Kaaviossa 1 laskennan tuloksia.



Kaavio 1. Mastopilareiden pääteräsmäärän vertailu.

Kaaviosta 1 nähdään eri pilaripoikkileikkausten vaatima pääteräsmäärä yllä oleville kuormille pilarin kasvaessa metrittäin. Kaavion vasemmalla sivuilla on esitetty teräsmäärät ja oikealla sivulla pilareihin kohdistuvien momenttien arvot.

Pilaripoikkileikkaus 380x380 ylittää vain noin viiden metrin korkeuteen, kunnes pilarin pääteräsmäärä ylittää raudoituksen laskennallisen maksimiarvon. Myös pienemmillä pituuksilla tarvittava pääteräsmäärä on kohtuuttoman suuri verrattuna toisiin poikkileikkauksiin. Voidaan täten todeta, että poikkileikkausta 380x380 kannattaa välttää vastaavissa tapauksissa.

Pilaripoikkileikkaukset 480x480-680x680 ovat kaikki toteutettavissa, mutta kuten kaaviosta 1 huomataan, 480x480 poikkileikkauksen teräsmäärä kasvaa suhteettoman paljon seitsemästä metristä ylöspäin. Kaavion 1 perusteella voidaan todeta, että optimaalisin poikkileikkaus tälle kuormitustapaukselle olisi 580x580 6–10 metrisinä.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea nosturin kuormitukset rakenteille ja mitoittaa nostinradan kantavat rakenteet. Samalla tuotettiin suunnittelua avustava laskenta-alusta nosturin pyöräkuormien laskentaan. Rakenteiden mitoituksessa käytettiin Excel-pohjaisia laskenta-alustoja, joiden tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa suunnittelua. Työssä käytiin läpi myös siltanosturin dynaamiset kuormitukset ja käsiteltiin näiden käyttökohteet ja vaikutukset tukirakenteiden mitoitukseen. Nosturimalleja ja niiden ominaisuuksia käytiin läpi yleisellä tasolla. Mastopilarista tehtiin pääteräsmäärän vertailuja suhteessa pilarin poikkileikkaukseen ja pituuteen.

Laskenta-alustan antamat pyöräkuormat vastasivat lähtötietoina saatuja minimi ja maksimi pyöräkuormituksia näin voidaan todeta alustan toimivuus. Alustalla voi laskea siltanosturin pyöräkuormat ja sijoittaa lasketut pyöräkuormat pilarin ja anturan mitoitukseen. Alustan ohjeistus opastaa käyttäjää antamaan lähtötiedot oikeisiin kohtiin. Alustaa voidaan jatkokehittää uusissa kohteissa, jos rakenteiden liitostavat poikkeavat alustan tämänhetkisestä mallista.

Aihe oli mielestäni haastava opinnäytetyöksi. Nosturikuormien laskeminen vaikutti aluksi monimutkaiselta ja suuritöiseltä. Tämä varmasti ainakin osittain johtui siitä, että SFS-standardien ja mitoitusnormien läpikäynti oli suhteellisen hidasta. Standardeissa viitataan usein muihin standardeihin. Opinnäytetyön edetessä työssä käytetyt normit ja standardit tulivat tutuimmiksi ja tiedon löytäminen nopeutui jatkuvasti opinnäytetyön edetessä.

Mastopilareiden vertailussa kävi ilmi, että kohteeseen kustannustehokkaampi pilarikoko olisi ollut 580x580, sillä teräsmäärä olisi ollut huomattavasti pienempi. Maanvaraisen anturan mitoituksessa olisi päästy todennäköisesti kustannustehokkaampiin ratkaisuihin, mikäli maaperän pohjatutkimustiedot olisi ollut käytettävissä. Mitoituksessa käytettiin pieniä kantavuuksia, mutta todellisuudessa nämä arvot voivat olla suurempia. Myös vanhan nosturin hyödyntämisellä voi olla kustannusvaikutuksia rakenteiden mitoitukseen, mikäli nosturin teknisiä tietoja ei ole saatavilla. Tällöin kuormien laskennassa suunnittelija joutuu olettamaan huonoimmat dynaamisuuskertoimet minkä takia pyöräkuormat kasvavat merkittävästi. Tämä voi aiheuttaa tarpeettoman ylimitoitettuja rakenteita. Ylimitoitetut rakenteet voivat maksaa tilaajalle enemmän, kuin selvitykset nosturin todellisista lähtötiedoista.

Mielestäni tämän opinnäytetyön vaatimusten tavoitteisiin päästiin. Vaadittu nosturin pyöräkuormien laskenta-alusta saatiin toimivaksi ja sitä voidaan käyttää hyödyksi Granlund Oy:n rakennesuunnittelussa. Alustalle lisättiin Granlund Oy:n värimaailmaan pohjautuva yrityslogo. Nosturikuormien laskennan myötä heräsi mielenkiinto perehtyä syvällisemmin

käytettyihin SFS-standardeihin ja mitoitusnormeihin. Näihin kerkesi nyt ajan kanssa keskittymään, mitä normaalissa suunnitteluarjessa ei välttämättä ehdi.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin kuitenkin vain rakennuskohteen kokonaisuuden pientä osaa. Jatkoa suunnittelulle voisi olla rakenteiden liitosten mitoitus, joka on tärkeä osa kokonaisuutta. Liitosten mitoitus olisi tuonut tämänkin opinnäytetyön mitoitettuihin rakenteisiin lisää suunniteltavaa. Toinen tärkeä osa suunnittelua olisi onnettomuuskuormien mitoitus rakenteille.

## Lähteet

Algol Technics Oy. Demag-vakionosturit. Viitattu 18.5.2025. Saatavissa [https://algolprod.blob.core.windows.net/image-container/docs/librariesprovider2/tuotteet-nosturit/demag-vakionosturit.pdf?sfvrsn=a4133e9d\\_2](https://algolprod.blob.core.windows.net/image-container/docs/librariesprovider2/tuotteet-nosturit/demag-vakionosturit.pdf?sfvrsn=a4133e9d_2)

Granlund Oy. 2024. Vuosikertomus 2023. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa <https://www.granlund.fi/vuosikertomus-2023/>

Hietaniemi, J. Tikanoja, T. Kemppi, M. Sumkin, H. & Åström, G. 2017. RIL 201-2-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Järveläinen, H. Rautiola, M. Autio, A. Koski, H. Laamanen, P. Sivén, M. & Säteri, J. 2017. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakennustieto Oy

KP-ServicePartner Oy. Siltanosturit. Viitattu 18.5.2025. Saatavissa <https://kp-servicepartner.com/nosturit/teollisuusnosturit/siltanosturit/>

KP-ServicePartner Oy. 2022. ABUS-yleisesite. Viitattu 18.5.2025. Saatavissa [https://kp-servicepartner.com/wp-content/uploads/2022/10/ABUS-yleisesite\\_suomeksi.pdf](https://kp-servicepartner.com/wp-content/uploads/2022/10/ABUS-yleisesite_suomeksi.pdf)

Söderlund, K. Aaltonen, J. Toivonen, S. & Salminen, R. 2011. RIL 202-2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

SFS-EN 13001-1. 2021. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 1: Yleiset periaatteet ja vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 13001-2. 2021. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 2: Kuormitukset. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 15011. 2020. Nosturit. Silta- ja pukkinosturit. Suomen standardisoimisliitto SFS.

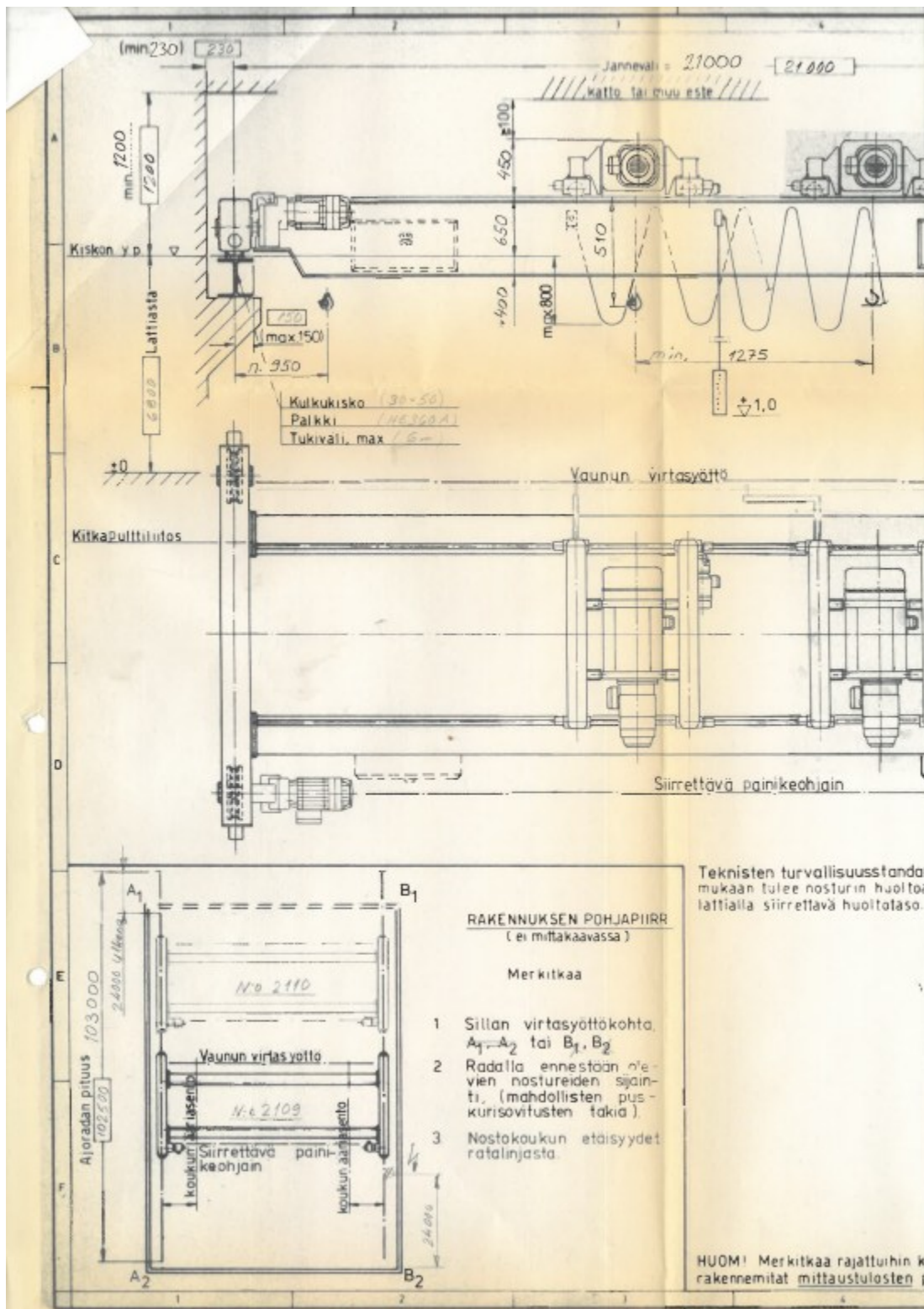
SFS-EN 1993-6 + AC EC3 OSA 6. 2007. Nosturia kannattavat rakenteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Tikanoja, T. Sumkin, H. & Åström, G. 2016. RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

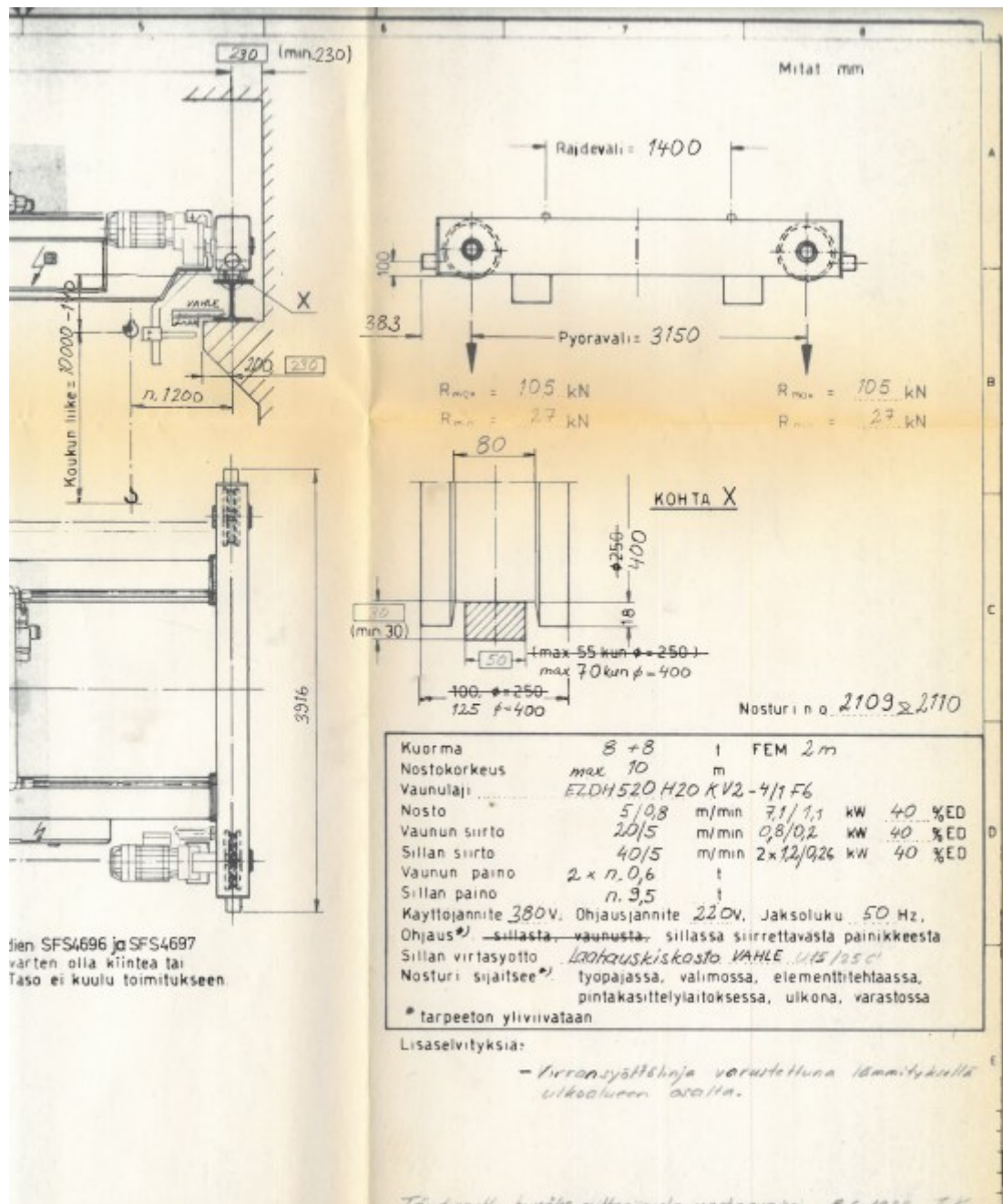
Tuotetekno Oy. 2025. Siltanosturit. Viitattu 19.5.2025. Saatavissa <https://tuotetekno.fi/tuote/siltanosturit/>

Ympäristöministeriön asetus nostureiden tai muiden koneiden kuormista 11/16.

Liite 1. Nosturin lähtötiedot




## Liite 1. Nosturin lähtötiedot



tien SFS4696 ja SFS4697  
varten olla kiinteä tai  
Taso ei kuulu toimitukseen.

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta



## Nosturin kuormien laskenta

Kohde: Päivämäärä:

Kohdenro: RIL 201 - 2 - 2017

Laskennan suoritti: SFS-EN 13001 - 2 : 2021

Laskenta-alustaan sijoitetaan lähtöarvot sinisiin ja keltaisiin laatikoihin. Siniset laatikot koskevat nosturin lähtötietoja ja keltaiset laatikot koskevat rakenteiden lähtötietoja. Punaisissa laatikoissa on mitoitettavia kuormitusarvoja.

### 1. Lähtötiedot

Nosturin jänneväli	Nostovaunun minimietäisyys tuesta	Nostovaunujen välinen minimietäisyys	
$L_N := 21 \text{ m}$	$L_{\min, \text{reuna}} := 0,95 \text{ m}$	$L_{\min, \text{vaunut}} := 1,275 \text{ m}$	
Nosturin pyöräväli	Noston vauhti	Nostovaunun vauhti	Siltanosturin vauhti
$L_{\text{pyöräväli}} := 3,150 \text{ m}$	$V_{\text{nosto}} := 5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$	$V_{\text{vaunu}} := 20 \frac{\text{m}}{\text{min}}$	$V_{\text{silta}} := 40 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
Nostovaunun paino	Siltanosturin paino	Nostovaunun max nosto kapasiteetti	
$g_{k, \text{vaunu}} := 6 \text{ kN}$	$g_{k, \text{silta}} := 95 \text{ kN}$	$q_{k, \text{nosto}} := 80 \text{ kN}$	
Nostovaunujen lukumäärä			
$vaunu_{kpl} := 2$			
<b>Valitaan jäykkyyksiluokka/nostoluokka: HC4</b>			
$e_{\min} := L_{\min, \text{reuna}} + \frac{L_{\min, \text{vaunut}}}{2} = 1,5875 \text{ m} \quad \text{2 vaunun min etäisyys}$			
$e_{\max} := L_N - e_{\min} = 19,4125 \text{ m}$			

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 2. Dynaamisuus kertoimet

Nosturin oman massan  
värähtelyn dynaamisuuskerroin

$$\varphi_1 := 1,1$$

Lepokuoman nostamisesta  
aiheutuvat dynaamiset  
vaikutukset

$$\beta_2 := 0,17 \quad \varphi_{2,min} := 1,05$$

$$v_h := \frac{V_{nosto}}{m} = 0,0833$$

$$\varphi_2 := \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,0642$$

	Dynaamisten kertoimien arvot
$\varphi_1$	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Arvot 1,1 ja 0,9 ovat värähtelyiden ala- ja yläraja-arvoja
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$ $v_h$ vakionostonopeus m/s $\varphi_{2,min}$ ja $\beta_2$ ks. taulukko 2.5
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \Delta m/m \cdot (1 + \beta_3)$ missä $\Delta m$ vapautettu tai pudotettu osuus kuormasta $m$ nostettu massa kokonaisuudessaan $\beta_3 = 0,5$ nosturit, jotka on varustettu kahmarilla tai vastaavalla hitaasti toimivalla laitteella $\beta_3 = 1,0$ nosturit, jotka on varustettu magneetilla tai vastaavalla nopeasti toimivalla laitteella
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ edellyttäen, että ratakiskot täyttävät standardin SFS-EN 1990-2 luokan 1 mukaiset toleranssivaatimukset

Nostoluokka	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Äkillisen kuoman irroittamisen  
dynaaminen kerroin

$$\beta_3 := 0,5 \quad \text{Hidas kuoman irroitus (kuoma sidottu koukkuun)}$$

$$\Delta m_H := 0 \text{ kN} \quad \text{Äkillisen irroituksen maksimikuoma (esim. magneetilla toimiva nosturi siirtämässä metalliromua)}$$

$$\varphi_3 := 1 - \frac{\Delta m_H}{v_{aunu_{kpl}} \cdot Q_{k,nosto}} \cdot (1 + \beta_3) = 1$$

Ratakiskojen epätasaisuuden  
aiheuttama dynaamisuuskerroin

+

$$\varphi_4 := 1 \quad \text{Ratakiskot suunnitellaan täyttämään SFS-EN 1991-2 luokan 1 mukaiset toleranssivaatimukset}$$

Nosturin käyttövoiman kiihtyvyyden  
dynaamisuuskerroimet

$$\varphi_5 := 1,5 \quad \text{ajokoneisto, jossa voimat muuttuvat pehmeästi}$$

Seuraavia kertoimen  $\varphi_5$  arvoja on käytettävä:

$\varphi_5 = 1$	keskipakovoimille
$1 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	välyksettömille käyttömekanismeille tai kun välykset eivät vaikuta dynaamisiin voimiin (esim. tyypillistä vaihteistolle) ja voimamuutokset tapahtuvat jouheasti
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2$	välyksettömille käyttömekanismeille tai kun välykset eivät vaikuta dynaamisiin voimiin (esim. tyypillistä vaihteistolle) ja voimamuutokset tapahtuvat äkillisesti
$\varphi_5 = 3$	käyttömekanismeille, joissa on huomattava välyys (esim. valovälitys) ja jos laskentaa ei tehdä tarkasti dynaamisella analyysillä käyttämällä jousi-massa-mallia.

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 3. Minimipyöräkuomat (oma paino)

Kuormaryhmät 1 - 2

$$Q_{c1,k} := \varphi_1 \cdot g_{k,silta} = 104,5 \text{ kN}$$

$$Q_{c2,k} := \varphi_1 \cdot g_{k,vaunu} = 6,6 \text{ kN}$$

$$EQ_{12,min,max} := \frac{Q_{c1,k}}{2} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{c2,k} \cdot e_{max}}{L_N} = 64,5 \text{ kN}$$

$$EQ_{12,min,max,pyörä} := \frac{EQ_{12,min,max}}{2} = 32,2 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 1 ja 2 Nosturin omapainon minimin maksimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna kuormittavimmin)

$$EQ_{12,min,min} := \frac{Q_{c1,k}}{2} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{c2,k} \cdot e_{min}}{L_N} = 53,2 \text{ kN}$$

$$EQ_{12,min,min,pyörä} := \frac{EQ_{12,min,min}}{2} = 26,6 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 1 ja 2 Nosturin omapainon minimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna vähiten kuormittavimmosti)

Kuormaryhmät 3 - 6

$$Q_{c1,36} := \varphi_4 \cdot g_{k,silta} = 95 \text{ kN}$$

$$Q_{c2,36} := \varphi_4 \cdot g_{k,vaunu} = 6 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,min,max} := \frac{Q_{c1,36}}{2} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{c2,36} \cdot e_{max}}{L_N} = 58,6 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,min,max,pyörä} := \frac{EQ_{36,min,max}}{2} = 29,3 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 3 - 6 Nosturin omapainon maksimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna kuormittavimmin)

$$EQ_{36,min,min} := \frac{Q_{c1,36}}{2} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{c2,36} \cdot e_{min}}{L_N} = 48,4 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,min,min,pyörä} := \frac{EQ_{36,min,min}}{2} = 24,2 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 3 - 6 Nosturin omapainon minimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna vähiten kuormittavimmosti)

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 4. Maksimipyöräkuomat (oma paino + hyötykuoma)

Kuormaryhmä 1

$$Q_{h,1} := \varphi_2 \cdot q_{k,nosto} = 85,1 \text{ kN}$$

$$EQ_{1,max,max} := EQ_{12,min,max} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,1} \cdot e_{max}}{L_N} = 221,8 \text{ kN}$$

$$EQ_{1,max,max,pyörä} := \frac{EQ_{1,max,max}}{2} = 110,9 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 1 Nosturin omapainon ja hyötykuoman maksimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna kuormittavimmin)

$$EQ_{1,max,min} := EQ_{12,min,min} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,1} \cdot e_{min}}{L_N} = 66,1 \text{ kN}$$

$$EQ_{1,max,min,pyörä} := \frac{EQ_{1,max,min}}{2} = 33,1 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 1 Nosturin omapainon ja hyötykuoman minimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna vähiten kuormittavimasti)

Kuormaryhmä 2

$$Q_{h,2} := \varphi_3 \cdot q_{k,nosto} = 80 \text{ kN}$$

$$EQ_{2,max,max} := EQ_{12,min,max} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,2} \cdot e_{max}}{L_N} = 212,4 \text{ kN}$$

$$EQ_{2,max,max,pyörä} := \frac{EQ_{2,max,max}}{2} = 106,2 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 2 Nosturin omapainon ja hyötykuoman maksimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna kuormittavimmin)

$$EQ_{2,max,min} := EQ_{12,min,min} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,2} \cdot e_{min}}{L_N} = 65,3 \text{ kN}$$

$$EQ_{2,max,min,pyörä} := \frac{EQ_{2,max,min}}{2} = 32,7 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 2 Nosturin omapainon ja hyötykuoman minimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna vähiten kuormittavimasti)

Kuormaryhmät 3 - 6

$$Q_{h,36} := \varphi_3 \cdot q_{k,nosto} = 80 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,max,max} := EQ_{36,min,max} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,36} \cdot e_{max}}{L_N} = 206,5 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,max,max,pyörä} := \frac{EQ_{36,max,max}}{2} = 103,2 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 3 - 6 Nosturin omapainon ja hyötykuoman maksimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna kuormittavimmin)

$$EQ_{36,max,min} := EQ_{36,min,min} + vaunu_{kpl} \cdot \frac{Q_{h,36} \cdot e_{min}}{L_N} = 60,5 \text{ kN}$$

$$EQ_{36,max,min,pyörä} := \frac{EQ_{36,max,min}}{2} = 30,3 \text{ kN}$$

Kuormaryhmän 3 - 6 Nosturin omapainon ja hyötykuoman minimiarvo yhdelle pyöräparille (Nostovaunut sijoitettuna vähiten kuormittavimasti)

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 5. Nosturin kiihdytyksestä ja jarrutuksesta aiheutuvat vaakavoimat

$\mu := 0,2$  kitkakerroin     $m_w := 2$  ajokoneistojen määrä

$K := \mu \cdot m_w \cdot \Sigma Q_{12, \min, \min, \text{pyörä}} = 10,6 \text{ kN}$  Ajovoima (Huom vaihda  $\Sigma Q_{12, \min, \min, \text{pyörä}}$  saadaksesi kuormitusyhmän 3 – 6 laskelmat)

$n_x := 2$  ratapalkkien lkm

$H_{D,1} := \varphi_S \cdot \frac{K}{n_x} = 8 \text{ kN}$  Radan suuntainen vaakavoima

$H_{D,2} := H_{D,1} = 8 \text{ kN}$  Radan suuntainen vaakavoima

$\Sigma Q_x := \Sigma Q_{1, \max, \max} + \Sigma Q_{1, \max, \min} = 288 \text{ kN}$  +

$\xi_1 := \frac{\Sigma Q_{1, \max, \max}}{\Sigma Q_x} = 0,8$

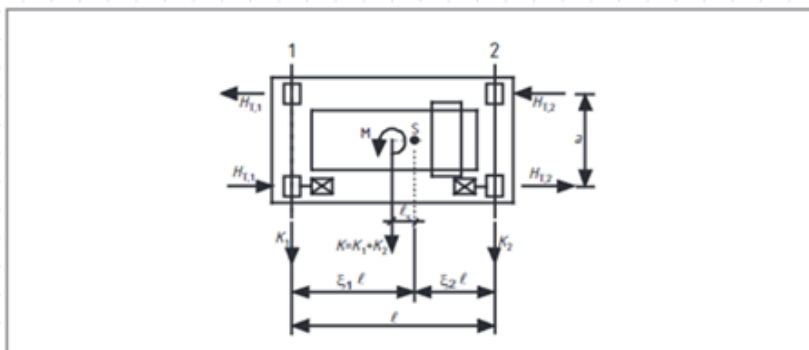
$\xi_2 := (1 - \xi_1) = 0,2$

$l_x := (\xi_1 - 0,5) \cdot L_N = 5,7 \text{ m}$

$M := K \cdot l_x = 60,5 \text{ kN m}$

$H_{T,1} := \varphi_S \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{L_{\text{pyörävälä}}}$  Rataa vastaan kohtisuorat vaakavoimat

$H_{T,2} := \varphi_S \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{L_{\text{pyörävälä}}}$  Rataa vastaan kohtisuorat vaakavoimat



## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 6. Nosturin vinoonajosta aiheutuvat vaakavoimat

$\alpha := 0,008 \text{ rad}$      $\alpha$  =vinoonajokulma, oletus     $n_1 := 2$     pyöräparien lukumäärä

$e_1 := 0 \text{ m}$      $e_2 := L_{\text{pyörävälili}} = 3,15 \text{ m}$     Etummainen rengas toimii ohjauslaitteena

$h_1 := L_{\text{pyörävälili}}$

$f := 0,3 \cdot (1 - \exp(-250 \cdot \alpha)) = 0,2594 < 0,3$

$\Sigma e_j := e_1 + e_2 = 3,15 \text{ m}$

$\lambda_s := 1 - \frac{\Sigma e_j}{(n_1 \cdot h_1)} = 0,5$

Pyöräparille 1

$\lambda_{s,1,1,T} := \left( \frac{\xi_1}{n_1} \right) \cdot \left( 1 - \frac{e_1}{L_{\text{pyörävälili}}} \right) = 0,1148$      $\lambda_{s,2,1,T} := \left( \frac{\xi_1}{n_1} \right) \cdot \left( 1 - \frac{e_1}{L_{\text{pyörävälili}}} \right) = 0,3852$

$\lambda_{s,1,1,L} := 0$

$\lambda_{s,2,1,L} := \lambda_{s,1,1,L}$

Pyöräparille 2

$\lambda_{s,1,2,T} := \left( \frac{\xi_2}{n_1} \right) \cdot \left( 1 - \frac{e_2}{L_{\text{pyörävälili}}} \right) = 0$      $\lambda_{s,2,2,T} := \left( \frac{\xi_2}{n_1} \right) \cdot \left( 1 - \frac{e_2}{L_{\text{pyörävälili}}} \right) = 0$

$\lambda_{s,2,2,L} := 0$

+

$\lambda_{s,1,2,L} := \lambda_{s,2,2,L}$

Nosturin vinoonajosta tulevat radan suuntaiset vaakavoimat

$H_{s,1,1,L} := 0$

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## Nosturin vinoonajosta tulevat rataa vastaan kohtisuorat vaakavoimat

Pyöräparille 1

$$EQ_{x,36} := EQ_{36,max,max} + EQ_{36,max,min} = 267 \text{ kN}$$

$$S_1 := f \cdot \lambda_s \cdot EQ_{x,36} = 34,6 \text{ kN}$$

Ohjausvoima

$$H_{S,1,1,T} := f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \cdot EQ_{x,36} = 8 \text{ kN}$$

Vinoonajon omapainon ja hyötykuoman minimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille

$$H_{S,2,1,T} := f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \cdot EQ_{x,36} = 26,7 \text{ kN}$$

Vinoonajon omapainon ja hyötykuoman maksimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille.

Pyöräparille 2

$$H_{S,1,2,T} := f \cdot \lambda_{S,1,2,T} \cdot EQ_{x,36} = 0 \text{ kN}$$

Vinoonajon omapainon ja hyötykuoman minimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille

$$H_{S,2,2,T} := f \cdot \lambda_{S,2,2,T} \cdot EQ_{x,36} = 0 \text{ kN}$$

Vinoonajon omapainon ja hyötykuoman maksimipoikittaiskuormitus liikkumissuunnan etummaiselle pyöräparille.

## 7. Nostovaunun kiihdytyksestä ja jarrutuksesta aiheutuvat vaakavoimat

$$H_{T,s} := \frac{0,1 \cdot (Q_{c2,36} + Q_{h,36} \cdot \text{vaunu}_{kpl})}{2} = 8,3 \text{ kN}$$

Oletetaan olevan väh. 10 % hyötykuoman arvosta

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 8. Nostovaunun kiihdytyksestä ja jarrutuksesta aiheutuvat vaakavoimat

$$m_c := g_{k,silta} + g_{k,vaunu} \cdot vaunu_{kpl} + g_{k,nosto} \cdot vaunu_{kpl} = 267 \text{ kN} \quad \text{Sillan kokonaispaino}$$

$$S_B := 100000 \text{ N} \quad \text{Jousivakio puskurille (saadaan nosturivalmistajalta)}$$

$$\varphi_7 := 1,25$$

$$v_1 := \frac{V_{silta} \text{ s}}{m} \cdot 0,7 = 0,4667$$

$$H_{B,1} := \frac{\varphi_7 \cdot v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}}{n_x} = 47,6587 \text{ kN} \quad \text{Puskinkuoma ratapalkille}$$

Dynaamisuuuskertoimen $\varphi_7$ arvo	Puskimen ominaisuus
$\varphi_7 = 1,25$	$0,0 \leq \xi_b \leq 0,5$
$\varphi_7 = 1,25 + 0,7(\xi_b - 0,5)$	$0,5 \leq \xi_b \leq 1$

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 9. Kuormat pilareille

Kuormittavin tapaus nosturi on suoraan pilarin päällä

Pilarin korkeus      Pilarin leveys      Pilarin leveys      Pilareiden kannatinjako

$$L_{\text{pilari}} := 6,54 \text{ m} \quad b_{\text{pilari}} := 480 \text{ mm} \quad h_{\text{pilari}} := 480 \text{ mm} \quad B_{\text{väli}} := 5,62 \text{ m}$$

$h_{\text{hea}} := 0,35 \text{ m}$       Ratapalkin korkeus

$$h_{\text{ratakisko}} := 0,65 \text{ m} \quad b_{\text{ratakisko}} := 55 \text{ mm} \quad \text{A 55 ratakisko}$$

$$g_{k,\text{pilari}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot b_{\text{pilari}} \cdot h_{\text{pilari}} \cdot L_{\text{pilari}} = 37,6704 \text{ kN}$$

$$g_{k,\text{HEA},360} := 1,120 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Syötetty Pupaxiin maksimipyöräkuoman kanssa}$$

$$N_{\text{Ek}} := 201,5 \text{ kN} \quad \text{Saatu Pupaxista (laskettu 4 aukkoisena)}$$

$$N_{\text{Ed}} := N_{\text{Ek}} \cdot 1,35 = 272 \text{ kN} \quad \text{Normaaliavoima pilarille}$$

$$e_s := N_{\text{Ek}} \cdot 0,25 \cdot b_{\text{ratakisko}} = 2,8 \text{ kN m} \quad \text{Epäkeskiyys pilarille}$$

Pilarin yläpäähän tuleva momentti murtorajatilassa y-akselin ymp.

$$M_{\text{max},y,\text{top}} := H_{L,1} \cdot (h_{\text{hea}} + h_{\text{ratakisko}}) \cdot 1,35 = 10,8 \text{ kN m}$$

Pilarin alapäähän tuleva momentti murtorajatilassa y-akselin ymp.

$$M_{\text{max},y,\text{btm}} := H_{L,1} \cdot (L_{\text{pilari}} + h_{\text{hea}} + h_{\text{ratakisko}}) \cdot 1,35 = 81,3 \text{ kN m}$$

Pilarin yläpäähän tuleva momentti murtorajatilassa z-akselin ymp.

$$M_{\text{max},z,\text{top}} := \left( (H_{S,2,1,T}) \cdot (h_{\text{hea}} + h_{\text{ratakisko}}) + e_s \right) \cdot 1,35 = 39,8 \text{ kN m}$$

Pilarin alapäähän tuleva momentti murtorajatilassa z-akselin ymp.

$$M_{\text{max},z,\text{btm}} := \left( (H_{S,2,1,T}) \cdot (L_{\text{pilari}} + h_{\text{hea}} + h_{\text{ratakisko}}) + e_s \right) \cdot 1,35 = 275,3 \text{ kN m}$$

## Liite 2. Nosturin kuormien laskenta

## 10. Kuormat anturalle (krt) exceliin (skol)

$h_{\text{antura}} := 800 \text{ mm}$  arvioidaan anturan korkeus (momenttia varten)

$$N_{Gk} := g_{k,\text{pilari}} = 37,7 \text{ kN}$$

$$N_{Qk} := N_{Ek} = 201,5 \text{ kN}$$

Anturan alapintaan tuleva momentti käyttörajatilassa y-akselin ymp.

$$M_{\text{max},y} := H_{L,1} \cdot (L_{\text{pilari}} + h_{\text{heh}} + h_{\text{ratakisko}} + h_{\text{antura}}) = 66,6 \text{ kN m}$$

Pilarin alapäähän tuleva momentti käyttörajatilassa z-akselin ymp.

$$M_{\text{max},z} := \left( (H_{S,2,1,T}) \cdot (L_{\text{pilari}} + h_{\text{heh}} + h_{\text{ratakisko}} + h_{\text{antura}}) + e_s \right) = 225,3 \text{ kN m}$$