

Topias Harjunpää

Telineiden ankkuroinnin mitoituksen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

19.4.2013

Tekijä Otsikko	Topias Harjunpää Telineiden ankkuroinnin mitoituksen kehittäminen
Sivumäärä Aika	36 sivua 19.4.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jouni Kalliomäki Telinesuunnittelija Jyrki Furuholm
<p>Insinööritö tehtiin Telinekataja Oy:lle. Tavoitteena oli tutkia rakenteiden kuormien määrittämistä olemassa olevien standardien pohjalta, sekä arvioida niiden soveltuvuutta erityisesti sääsuojarakenteiden suunnittelun kannalta. Rakenteiden kuormien pohjalta tavoitteena oli myös vertailla kahden toisistaan poikkeavan ankkurointivoimien mitoitusmenetelmän tuloksia SCIA Engineering -ohjelmasta saatuihin arvoihin.</p> <p>Mitoituksen lähtötietoja varten luotiin tyypillinen esimerkkikohde pitkän jännevälän sääsuojarakenteesta, jolloin rakenteisiin vaikuttavat kuormat ja niiden kuormayhdistelmien suuruus tarjoaisi totuudenmukaiset ankkurointivoimat. Mitoituksen suunnitteluperusteena pidettiin eurokoodiin pohjautuvia standardeja, joista käytettäväksi valittiin sääsuojarakenteiden suunnitteluun soveltuvimmat menetelmät. Samalla arvioitiin eurooppalaisen sääsuojastandardin luonnosversion käyttökelpoisuutta telinesuunnittelun yhteydessä.</p> <p>SCIA Engineering -ohjelmalla mallinnettiin esimerkkikohdetta vastaava sääsuojarakenne, johon sijoitettiin aiemmin määritetyt rakenteiden kuormat. Tietomallipohjaiseen mitoitukseen sisältyi muun muassa rakenneosien materiaaliarvojen sekä teknisten ominaisuuksien mallintaminen, joiden lähtötietoina käytettiin telinevalmistaja Layherin ilmoittamia arvoja.</p> <p>Vertailtavien mitoitusmenetelmien tulokset eivät vastanneet riittävän tarkasti tietomallista saatuja arvoja. Näin ollen työssä todettiin molempien menetelmien olevan epäluotettavia esimerkiksi vastaavissa sääsuojauskohteissa. SCIA Engineering -ohjelma osoittautui kuitenkin toimivaksi työkaluksi telineen ankkurointivoimien mitoittamisessa. Myös rakenteiden kuormien määrittämiseen löydettiin sääsuojusrakentamisen näkökulmasta soveltuvat ohjeet, joita noudattamalla saavutettiin luotettavat lopputulokset.</p>	
Avainsanat	telinesuunnittelu, sääsuojaus, tuulikuormat, ankkurointi

Author(s) Title	Topias Harjunpää Anchoring improvements in scaffolding design
Number of Pages Date	36 pages 19 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Jouni Kalliomäki, Lecturer Jyrki Furuholm, Scaffolding Designer
<p>Thesis was carried out for Telinekataja Oy. The objectives were to determine structural forces for temporary works equipment on the basis of existing standards and estimate their suitability in design of encapsulated constructions. SCIA Engineering program was used to calculate reliable anchoring forces under the basis of defined structural loads. These anchoring forces were used to compare results from two different design methods.</p> <p>Initial data for the design were from typical construction of aluminum weather protection roof supported by scaffoldings. Performance requirements and general design were based on Eurocodes together with the draft version of encapsulation constructions standard.</p> <p>The example structure was modeled with SCIA Engineering program which consisted material values and technical attributes from the given data of scaffolding producer Wilhelm Layher GmbH & Co. KG.</p> <p>The results from the designing methods did not match together with the results from SCIA Engineering model. However SCIA Engineering program turned out to be workable tool for the scaffolding design. Suitable standards on the aspect of temporary weather protection were also found and the results were proven to be reliable.</p>	
Keywords	Scaffold planning, Weather protection, Wind loads, Anchoring

Sisällys

Sanasto

1	Johdanto	1
2	Telinesuunnittelu ja -rakentaminen	2
2.1	Keskeiset asiakirjat	2
2.2	Telinesuunnittelu	3
2.3	Telineiden pystytys- ja purkutyöt	5
3	Telineen ankkurointi	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Seinäankkurointi	6
3.3	Muita ankkurointi- ja tuentamenetelmiä	8
4	Rakenteiden kuormat ja suunnitteluperusteet	9
4.1	Tuulikuormat	10
4.2	Lumikuormat	10
4.3	Pysyvä kuorma ja hyötykuormat	11
4.4	Kuormayhdistelmät ja osavarmuuskertoimet	12
5	Rakenteiden kuormien määrittäminen	14
5.1	Tuulikuormat	16
5.1.1	Puuskanopeuspaine	16
5.1.2	Painekertoimet	17
5.1.3	Kokonaiskuormat tapausittain	21
5.2	Lumikuormat	22
5.3	Pysyvä kuorma ja hyötykuormat	22
5.4	Kuormayhdistelmät	24
5.4.1	Suurin mahdollinen noste	24
5.4.2	Tuulikuorma määräävänä	25
5.4.3	Lumikuorma määräävänä	26
5.4.4	Ankkurointivoimien mitoittavat kuormayhdistelmät	26
6	Ankkurointivoimien mitoitus	27
6.1	Yksinkertaistettu laskentamenetelmä	27
6.2	Mitoitus jäykkänä rakenteena	29

6.3	Tietomallipohjainen mitoitus	30
7	Tulosten käsittely	33
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Sanasto

Ankkurointipiste	Paikka, josta telinerakenne kiinnitetään kiinteään rakenteeseen.
Elementtiteline	Työteline, joka kootaan määrämittaisista, esivalmisteisista rakenneosista ja näihin pääosin pysyvästi kiinnitetyistä liittimistä.
Layher	Saksalainen telinevalmistaja, jonka telinemateriaalia työn tilaajayritys käyttää.
Sääsuoja	Rakennuskohdetta sään vaikutuksilta suojaava tilapäinen telinerakenne, joka koostuu yleensä peitetystä runkotelineestä sekä kattorakenteesta.
Työteline	Ihmisten työskentelyalustaksi tai kulkutieksi koottu rakenne.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Telinekataja Oy:lle, joka on erikoistunut rakennustelineiden ja sääsuojaratkaisujen sekä muiden tilapäisrakenteiden suunnitteluun, myyntiin, vuokraukseen ja asennustoimintaan. Vuonna 1965 perustetussa yrityksessä työskentelee tällä hetkellä noin 200 henkilöä. Se on osa Telinekataja-konsernia, johon kuuluvat lisäksi tytäryhtiöt AS Telinek Virossa, OOO Nevarend Venäjällä sekä tapahtumarakentamiseen erikoistunut Kataja Event Oy.

Sääsuojarakentaminen on yleistynyt viimeisen vuosikymmenen aikana runsaasti ja niiden käyttö lisääntyy varmasti myös tulevaisuudessa. Kysyntä kasvaa korjausrakentamisen lisäksi myös uudis- sekä infrarakentamisessa. Syynä tähän ovat muun muassa sääsuojaratkaisujen kehittyminen sekä rakentamismääräysten tiukentuminen. Tilaajat haastavat telineyrityksiä vaativilla sääsuojauskohteilla, mikä on pakottanut telinevalmistajat sekä -rakentajat kehittämään entistä parempia sääsuojausratkaisuja ja -järjestelmiä.

Yksi merkittävistä ratkaisuista on saksalaisen telinevalmistaja *Wilhelm Layher GmbH & Co. KG*:n markkinoima Keder Hall XL -sääsuojausjärjestelmä, joka mahdollistaa jänneväliä jopa 40 metrin sääsuojarakenteiden toteuttamisen. Sääsuojan mittojen kasvattaminen tarjoaa haasteita telinerakentajalle, sillä myös rakenteiden kuormat lisääntyvät huomattavasti. Tämän seurauksena muun muassa sääsuojatelineen ankkurointitapaan sekä -voimiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Sääsuojarakenteiden suunnittelun kannalta haasteelliseksi asian tekee se, että suoranaisia sääsuojarakentamiseen liittyviä standardeja ei ole Euroopassa vielä julkaistu. Tämä johtuu osittain siitä, että sääsuojarakentaminen ei ole muualla Euroopassa yleistynyt samalla tavalla kuin Pohjoismaissa. Kuvassa 1 esitetään Keder Hall XL -sääsuoja, jonka alumiininen kattorakenne liittyy teräksiseen runkotelineeseen vastaanottotukien avulla.

Tässä insinööri työssä tarkastellaan rakennustelineen ankkuroinnin mitoitusprosessia sääsuojauskohteissa, joissa ankkurointivoimat ovat poikkeuksellisen suuria. Edellä mainittuja tapauksia ovat muun muassa suuren jännevälin sääsuojat sekä kohteet, joissa ankkurointipisteiden määrää on rajoitettu esimerkiksi rakenteellisten syiden perusteella. Työn tavoitteena on tutkia rakenteiden kuormien määrittämistä olemassa olevien standardien pohjalta, sekä pohtia niiden soveltuvuutta sääsuojarakenteiden

suunnittelun kannalta. Työssä määriteltyjen kuormien perusteella vertaillaan kahden erilaisen ankkuroinnin mitoitusmenetelmän lopputuloksia ja arvioidaan niiden luotettavuutta verrattuna SCIA Engineer -ohjelmasta saatuihin tuloksiin.



Kuva 1. Layher Keder Hall XL -sääsuoja Espoossa.

2 Telinesuunnittelu ja -rakentaminen

2.1 Keskeiset asiakirjat

Telinetyön päätoteuttajan on huolehdittava siitä, että teline on suunniteltu määräysten mukaisesti. Telineestä on toimitettava tilaajalle vähintään elementtitelineiden käyttöohje, mutta kohteesta riippuen on tarpeellista toimittaa myös telineen rakenne- ja käyttösuunnitelmat.

Valtioneuvosto määrittelee paikallarakennettavien telineiden lujuuden osoittamisen asetuksessa VNa 205/2009 51 § seuraavasti [1, s. 31]:

Telineiden lujuus osoitetaan riittäväksi standardien, elementtitelineiden käyttöohjeiden tai muiden vastaavien asiakirjojen sisältämien kokonais- tai osaratkaisujen perusteella.

Jos tällaisia kokonais- tai osaratkaisuja ei käytetä, on oltava asiantuntijan laatimat telineiden ja kulkuteiden lujuuslaskelmat ja piirustukset.

Elementtitelineiden käyttöohje on ensisijainen telinerakentamisen apuväline. Siinä määritellään muun muassa telineen rakenne-, kokoamis-, ja ankkurointiratkaisut eri käyttökohteissa sekä työtasojen sallitut kuormat. Telineityön päätoteuttajan on perehdyttävä tarkasti ohjeistukseen ja päätettävä, onko käyttöohjeen lisäksi laadittava erillinen rakennesuunnitelma. [1, s. 31-32.]

Telineityön rakennesuunnitelma on syytä laatia esimerkiksi, kun suunniteltu teline tai työkohte poikkeaa käyttöohjeesta. Rakennesuunnitelmassa käsitellään yksityiskohtaisesti työtelineen rakennetta ja suunnittelun perusteita. Suunnitelmassa määritellään muun muassa työtelineen rakenneosien materiaalit, rungon ja työtasojen mitat sekä putoamissuojarakenteet, kuten kaiteet ja jalkalistat. Suunnittelun perusteiden yhteydessä määritetään lisäksi muun muassa työtelineen käyttötarkoitus, mitoituksen kuormayhdistelmät ja työtelineen lujuuden, jäykkyyden ja seisontavakauden laskelmat. [1, s. 32.]

Rakennesuunnitelman lisäksi työtelineestä on laadittava käyttösuunnitelma, jos työtelineellä suuren korkeutensa tai kokonsa, sijaintinsa, käyttötarkoituksensa tai muun vastaavan tekijän vuoksi on olennainen vaikutus työmaa-alueen käyttöön. Käyttösuunnitelmassa käsitellään muun muassa pystytyksen, käytön ja purkamisen aiheuttamia vaaroja sekä työtelineen käyttöä työmaan eri vaiheissa. [1, s. 33.]

2.2 Telinesuunnittelu

Telineitä suunniteltaessa suunnittelijan pätevyyteen vaikuttaa koulutuksen lisäksi myös käytännön kokemus telinesuunnittelusta ja -rakentamisesta. Rakenne- ja käyttösuunnitelmia laadittaessa on tunnettava tarkoin käytettävän telinejärjestelmän ominaisuudet. Jos työtelineen korkeus ylittää kymmenen metriä tai jos telineityössä on käytettävä ankkurointia, on vastaavalta telinesuunnittelijalta löydettävä vähintään jokin

seuraavista tutkinnoista: teknillisen alan ammattikorkeakoulututkinto, vastaava alempi tutkinto tai teknikkotason tutkinto. Koulutuksen lisäksi painotetaan aina aiempaa kokemusta telinerakenteisiin. Edellä mainittu koulutus vaaditaan myös, jos telinesuunnittelusta tekee haastavan esimerkiksi työtelineen peittämisestä johtuvat voimakkaat tuulikuormat. [1, s. 33-34.]

Työtelineitä suunniteltaessa on aina syytä pitää lähtökohtana työturvallisuutta. Suunnittelussa on otettava huomioon riittävän leveät ja esteettömät työtasot ja kulkutiet. Putoamissuojauksesta on varmistuttava erilaisilla kaide- ja jalkalistarakaisilla. Lisäksi nousutiet on suunniteltava turvallisiksi etenkin putoamissuojauksen kannalta. Edellä mainittujen seikkojen toteutumisesta tekee haastavan esimerkiksi ahtaat kohteet, joissa telineiden on väisteltävä olemassaolevia rakenteita ja muuta tekniikkaa. [1, s. 34.]

Telinesuunnittelussa erilaiset lujuuslaskelmat toteutetaan telineosien materiaaliarvojen ja suunnitteluohjeiden pohjalta. Laskennallisen suunnittelun perustana ovat rakenteiden mekaniikan ja lujuusopin periaatteet, joista mitoitus tehdään sallittujen jännitysten tai rajatilatarkastelujen perusteella. Laskennallisen mitoituksen apuna voidaan tarvittaessa käyttää koekuormitusta. Elementtitelineiden suunnittelussa noudatetaan valmistajan kuormitusohjeita. [1, s. 40-41.]

Telinesuunnittelussa käytettäviä keskeisiä suunnitteluohjeita ovat muun muassa:

- RIL 142-2010 Työtelineet ja putoamisen estävät suojarakenteet.
- RIL 147-2006 Tukitelineet ja muotit.
- RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.
- Telinevalmistajan suunnittelu-, asennus- ja käyttöohjeet.

RIL:n (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto) julkaisut perustuvat muun muassa eurooppalaisiin SFS-EN-telinestandardeihin, eurokoodin osiin sekä niiden kansallisiin liitteisiin. Näiden lisäksi kehitteillä on eurooppalainen telinestandardi, jonka luonnosversio DRAFT prEN 16508:2012 sisältää ohjeita sääsuojusrakenteiden mitoitukseen eurokoodiin perustuen.

2.3 Telineiden pystytys- ja purkutyöt

Valtioneuvosto antaa työtelineiden pystytyksestä ja purkamisesta asetuksessa VNa 205/2009 58 § muun muassa seuraavia määräyksiä [1, s. 35]:

Työteline on koottava ja rakennettava elementtitelineen käyttöohjeen taikka rakennesuunnitelman ja käyttösuunnitelman mukaisesti.

Työteline on pystytettävä ja purettava sellaisessa järjestyksessä tai muuten huolehdittava, että työntekijän putoamisvaara on torjuttu. Putoamisvaara on torjuttava rakenteellisilla toimenpiteillä tai putoamisen estävällä valjastyypisellä henkilönsuojaimella. Työtasot ja nousutiet on tehtävä valmiiksi heti, kun se on mahdollista, jotta ne ovat käytössä jo pystytystyön aikana.

Telineiden pystytyksestä vastaavan työnjohtajan ja asentajan tulee olla työhön perehtynyt. Telineiden asennustyö vaatii aina erityisosaamista ja kokemusta asennustyön eri vaiheista. Asennustyössä on tunnettava työturvallisuuteen liittyvät seikat jokaisessa työvaiheessa. Asentajan on tunnistettava henkilöiden ja esineiden putoamisvaara ja pystyttävä kiireellisessäkin telinetyössä mahdollistamaan riittävä putoamissuojaus. Lisäksi sääolosuhteiden vaikutus työturvallisuuteen on kyettävä arvioimaan aina tilannekohtaisesti. [1, s. 35.]

Keskeneräistä työtelinettä tai telineen osaa ei koskaan saa ottaa käyttöön työmaalla, olipa kyseessä sitten pystytys- tai purkutyö. Telineettä purettaessa ympäröivät alueet on tarkoin rajattava siten, että purkutyö ei aiheuta vaaraa sivullisille. Purkutyössä on muistettava oikeaoppinen työjärjestys. Työtelineen seisontavakautta ei saa heikentää esimerkiksi poistamalla ankkureita tai jäykistäviä telineosia liian aikaisin. [1, s. 35.]

3 Telineen ankkurointi

3.1 Yleistä

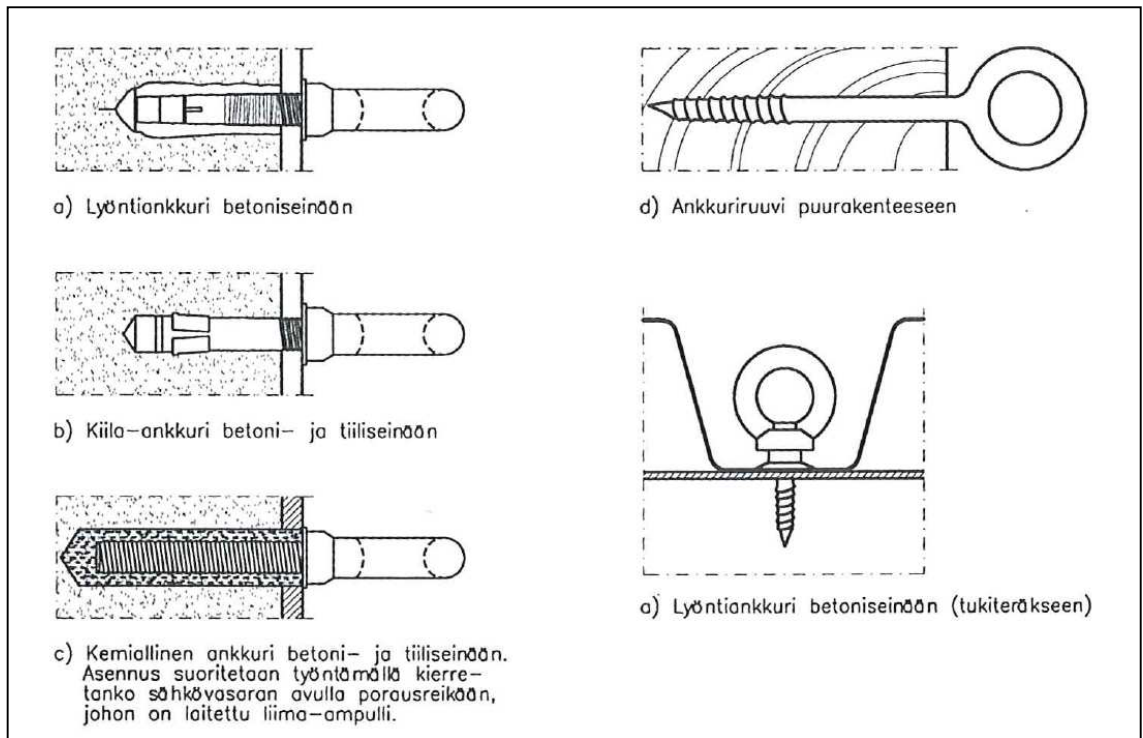
Ankkuroinnin tarkoituksena on estää telineen kaatuminen ja sen osien nurjahtaminen siirtämällä vaakavoimien aiheuttamia rasituksia tukirakenteeseen. Ankkureita on oltava niin paljon, ettei teline tai mikään sen osa pääse irtomaan tukirakenteista vaakakuormien vaikutuksesta. Lähtökohtaisesti ankkuroinnissa noudatetaan

elementtitelineen valmistajan antamia ankkurointiohjeita. Mikäli telinettä ei ankkuroida käyttöohjeen mukaan, on ankkurointi suunniteltava erikseen. Tällaisissa tapauksissa on laadittava työtelineen rakennesuunnitelma. [1, s. 50–52.]

RIL 142-2010 antaa ohjeita liittyen työtelineen ankkurointitapaan sekä ankkurointimäärän laskemiseen. Ankkurointimäärän laskentamenetelmät ovat kuitenkin edellä mainitussa julkaisussa erittäin yksinkertaistettuja, joten niiden käyttämisessä on noudatettava erityistä varovaisuutta. Tämä johtuu siitä, ettei ohjeessa huomioida esimerkiksi tuulenopeuspaineen eroja maastoluokittain. Sääsuojauskohteille, kuten tässä insinööriyössä tarkastellaan, ei ole erikseen annettu ohjeita ankkurointivoimien laskemiseen. Tästä johtuen ankkurointivoimat ovat sääsuojaus- sekä muissa erikoistelinekohteissa tarkasteltava tapauskohtaisesti.

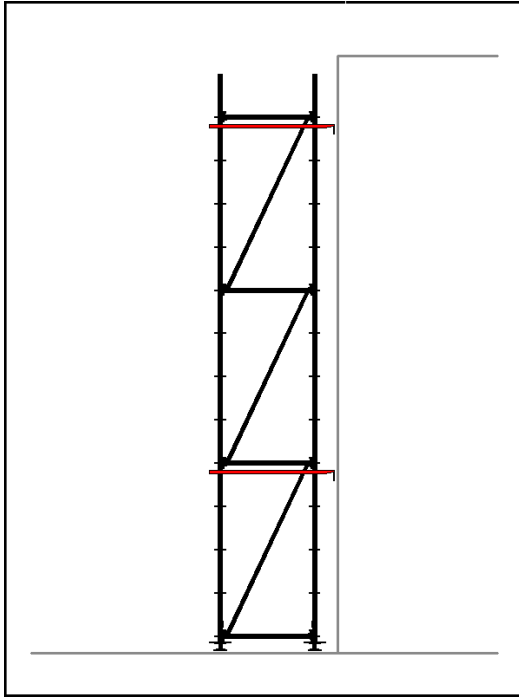
3.2 Seinäankkurointi

Seinäankkurointi toteutetaan yleensä ankkuriputkella ja tukirakenteeseen kiinnitettävällä seinäankkurilla. Ankkuriputken on oltava standarditelineputkea tai ominaisuuksiltaan vastaavaa putkea, jonka toinen pää on muotoiltu seinäankkurin kiinnitystä varten. Kuvassa 2 on esitetty valmiiseen rakenteeseen sopivia seinäankkureita. Seinäankkureina käytetään betoni- ja tiiliseinässä lyönti- tai kiila-ankkureita tai kemiallisia ankkureita, jotka asennetaan niitä varten porattuihin reikiin. Puu- ja peltiseinään käytetään esimerkiksi ankkuriruuveja. Näiden lisäksi voidaan ankkuroinnissa käyttää niin sanottuja työntöankkureita, joiden tarkoituksena on siirtää ainoastaan vaakasuuntaiset työntövoimat tukirakenteeseen. Työntöankkurit mahdollistavat suurempien voimien siirtämisen, sillä voiman vaikutuspinta-alaa tukirakenteeseen voidaan kasvattaa yksinkertaisin menetelmin. Poikkeuksellisen suurille ankkurointivoimille seinäankkuri voidaan pultata kokonaan tukirakenteen läpi. [1, s. 49, 51.]



Kuva 2. Valmiiseen rakenteeseen sopivia seinäankkureita, RIL 142-2010. [1]

Ankkurit on sijoitettava siten, että ne yhdessä jäykisteiden kanssa tukevat jokaista pystytukiparia riittävin välein. Tästä voidaan kuitenkin poiketa, mikäli ankkuroimattomat pystytukiparit ja niiden väliset tasot jäykistetään vaakavinojäykisteillä. Pystytukiparin tuentaväli määräytyy ankkureille tulevasta kuormasta sekä telinevalmistajan ohjeista. Ankkurit on kiinnitettävä mahdollisimman lähelle pystytukien ja vaakasiteiden liitosta, kuten kuvassa 3 on esitetty. Mikäli näin ei tehdä, vaakakuormat aiheuttavat pystytukiin taivutusrasituksen, jolloin pystytukien nurjahduskuorma ja kantokyky pienenee merkittävästi. [1, s. 51-52.]



Kuva 3. Periaatekuvassa punaisella piirrettyjen ankkuriputkien sijoitus lähelle liitoskohtaa.

Yleensä korjausrakentamisessa seinäankkurit joudutaan kiinnittämään jo olemassa olevaan vanhaan rakenteeseen, jonka kunnosta ja kiinnityskapasiteetista ei ole varmuutta. Tällöin on suoritettava riittävä määrä tartuntakokeita kiinnityksen varmistamiseksi. Tartunnat tulee myös tarkastaa säännöllisesti työskentelyn aikana. Seinäankkurit voidaan myös asentaa rakenteeseen betonivalun, muurauksen tai elementin valmistuksen yhteydessä. Tällöin seinäankkureille saadaan parempi kiinnityslujuus. Seinäankkureiden kiinnityslujuuden testaus tehdään tarvittaessa valmistajan tai suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. [1, s. 54–55.]

3.3 Muita ankkurointi- ja tuentamenetelmiä

Seinäankkuroinnin lisäksi yleisiä ankkurointi- ja tuentamenetelmiä ovat muun muassa harustaminen, tukitornit, lisäpainot sekä maakiila-ankkurointi. Tyypillisesti näitä menetelmiä käytetään, kun ankkurointi kiinteään rakenteeseen ei ole mahdollista tai kun ankkurointivoimat ovat yksinään liian suuria seinäankkureille. Käytettävän ankkurointi- tai tuentamenetelmän valitsemisessa on otettava huomioon, minkälaisia kuormia vastaan menetelmä toimii parhaiten. Esimerkiksi lisäpainoja voidaan käyttää tuulen aiheuttamaa nostetta vastaan, mutta ne eivät yksinään ole tehokkaita käytettäväksi vaakasuuntaisten voimien vaikutuksen pienentämisessä. Samalla

periaatteella esimerkiksi maakiila-ankkurointi ei yksinään vähennä merkittävästi tuulen nosteen vaikutuksia rakenteessa. Voidaan siis todeta, että edellä mainitut ankkurointi- ja tuentamenetelmät toimivat parhaiten yhdistämällä kaksi tai useampi tapa keskenään.

4 Rakenteiden kuormat ja suunnitteluperusteet

RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat johdannossa kerrotaan [2, s. 13]:

Eurokoodi-standardit on tarkoitettu käytettäväksi rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelussa. Tämä sovellusohjeen sisältö on kuitenkin rajattu siten, että se muodostaa kokonaisuuden käytettäväksi talonrakenteiden suunnittelussa Suomessa tehtäviin kohteisiin.

Eurokoodi-järjestelmää ei saa käyttää yhdessä muiden määräysten, normien tai ohjeiden kanssa, ellei tätä ole erikseen sallittu. Muiden suunnitteluohjeiden käyttö on sallittu, kunhan ne eivät ole ristiriidassa eurokoodien kanssa. Tällaisia tilanteita voi tulla vastaan esim. tapauksissa, joissa suunniteltava kohde on sellainen, ettei sitä koskevaa ohjeistusta suoranaisesti ole eurokoodissa.

Telinesuunnittelun rakenteiden kuormien määrittämisessä voidaan soveltaa kahta eri lähestymistapaa. Ensimmäinen tapa on noudattaa RIL 142-2010 mukaisia työtelineen suunnitteluperusteita, jotka perustuvat 2000-luvulla voimaan astuneisiin SFS-EN-telinestandardeihin. Edellä mainitut suunnitteluperusteet keskittyvät nimen omaan työtelineiden suunnitteluun ja mitoittamiseen, joten ne eivät ole suoraan sovellettavissa sääsuojatelineiden suunnitteluun. Toinen vaihtoehto on noudattaa RIL 201-1-2011 mukaisia suunnitteluperusteita, jotka on ensisijaisesti kohdistettu talonrakentamisen suunnitteluun, mutta yhdessä sääsuojastandardin luonnosversion kanssa tarjoavat riittävän kattavat perusteet myös sääsuojarakenteiden suunnittelua varten. Molemmat jälkimmäisenä mainituista ohjeista perustuvat eurokoodiin, joten sisällön kannalta ristiriitaa ei pääse muodostumaan. On kuitenkin huomioitava, että sääsuojastandardia ei ole virallisesti julkaistu, joten sen noudattamiselle on oltava riittävät perusteet.

Tässä luvussa käsitellään molempien RIL:n julkaisuiden suunnitteluperusteita erikseen työtelineiden sekä sääsuojatelineiden kannalta. Näiden pohjalta luvussa 5 käytetään sopivimmaksi valittua suunnitteluperustetta sääsuojatelineen suunnittelun kannalta rakenteiden kuormien määrittämisessä.

4.1 Tuulikuormat

RIL 142-2010 mukaan tuulikuorma *työtelineille* voidaan laskea kuten elementtitalineelle standardin SFS-EN 12811-1 perusteella tai Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti käyttämällä 75% tuulikuorman laskennasta saadusta arvosta. RIL 142-2010 tarjoaa myös likimääräisiä ohjeita peittämättömän telineen tuulipinnan laskentaan. Edellä mainittujen laskentamenetelmien tuloksia voidaan pitää riittävän luotettavana työtelineiden sekä tavallisten elementtitalineiden mitoittamiseen ja ankkurointitarpeen määrittämisessä, mutta sääsuojarakenteiden mitoittamisen kannalta niiden tuloksia on arvioitava varauksella. [1, s. 44.]

Tuulikuorman määrittäminen *sääsuojarakenteille* voidaan toteuttaa esimerkiksi Eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 mukaisilla menetelmillä kuten kiinteille rakennuksille. Tällöin laskennassa voidaan käyttää todennäköisyyskerrointa (c_{prop}), jonka suuruus riippuu tuulivoiman ääriarvon toistumisajasta. Tämän avulla huomioidaan väliaikaiseen rakennukseen kohdistuvien tuulikuormien suuruuseroa verrattuna esimerkiksi 50 vuoden suunnitellulla käyttöiällä olevaan kiinteään rakennukseen. Myös RIL 201-1-2011 sekä sääsuojastandardin luonnos tarjoavat eurokoodiin perustuvia menetelmiä, jotka sisältävät joitakin yksinkertaistuksia. [2, s. 133.]

Lisäksi tuulikuormat voidaan eurokoodin mukaan määrittää joko koko rakenteeseen tai rakenneosaan vaikuttavina. Koko rakenteeseen vaikuttavat kuormat saadaan laskettua eurokoodissa esitetyn menetelmän mukaisesti käyttämällä voimakertoimia (c_f). Rakenneosaan vaikuttavia tuulikuormia lasketaan eurokoodin tarjoaman toisen menetelmän mukaisesti käyttämällä painekertoimia (c_p). [2, s. 135.]

4.2 Lumikuormat

Väliaikaisten rakenteiden suunnittelussa käytetyt menetelmät poikkeavat standardin EN 1991-1-3 ohjeista rakennesuunnittelussa käytettävien lumikuorman arvojen määrittämisessä. *Työtelineissä* lumikuormaa ei oteta huomioon, mikä tarkoittaa, että työtasot ovat jatkuvasti oltava vapaana lumesta ja jäästä. [1, s. 44.]

Väli aikaisten *sääsuojarakenteiden* lumikuormien määrittämiseen ei ole erikseen annettu voimassa olevia ohjeita. Eurooppalaisen sääsuojastandardin luonnoksen mukaan lumikuormat voidaan jakaa taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. prEN 16508 sääsuojastandardin luonnoksen määrittelemät lumikuormaluokat

Lumikuormaluokka	Määritelmä	Kuorma [kN/m ²]
LK 1	Ei lumikuormaa (minimi kuorma)	0,1
LK 2a	Perustuen lumenpoiston hallintaan*	0,25
LK 2b	Perustuen lumenpoiston hallintaan*	0,6
LK 3	Täysi lumikuorma	EN 1991-1-3
*Lumenpoistohallinta saavutetaan lämmityksellä, lumenpudotuksella jne.		

Lumikuormaluokkaa 2 voidaan käyttää, mikäli lumenpoiston hallinnasta on sovittu urakoitsijan ja asiakkaan kanssa. Sääsuojastandardin luonnoksessa mainitaan, että lumikuormaluokan 2 käytöstä annetaan tarkemmat ohjeet kansallisessa liitteessä. Kuitenkaan näitä tarkennuksia ei ole vielä ainakaan Suomessa julkaistu. Käytännössä lumikuormaluokan 2a ja 2b arvot perustuvat sääsuojarakenteiden valmistajien ilmoittamiin lumikuormakestävyuden raja-arvoihin. Näin ollen lumikuormaluokka 2 tarjoaa suunnittelijalle mahdollisuuden käyttää pienennettyä lumikuorman laskenta-arvoa edellä mainituin perustein. Lumikuormaluokkaa 1 voidaan käyttää, mikäli lunta ei esiinny sääsuojarakenteen käytön aikana. Tällöin on kuitenkin käytettävä minimikuorman arvoa 0,1 kN/m². [4, s. 9-11.]

4.3 Pysyvä kuorma ja hyötykuormat

Telineen pysyvään kuormaan sisältyy sen oman painon lisäksi myös telinettä pysyvästi kuormittavien muiden rakenneosien paino, kuten telineen peittämiseen tai työtasojen levyttämiseen käytettävät rakenneosat yms. [1, s. 42.]

Telineen hyötykuormaksi lasketaan suurin mahdollinen telineen kaikkien työvaiheiden aikana esiintyvä käyttökuorma. Käyttökuorma sisältää sekä työstä että tavaravaroituksesta telineille aiheutuvat kuormat. Käyttökuorma voi suurimmillaan olla myös telineen asennus-, huolto- tai purkutöiden yhteydessä. Käyttökuorman ja käyttötarkoituksen perusteella telineelle valitaan sopiva kuormaluokka. [1, s. 42.]

Kuormaluokat jaetaan taulukon 2 mukaisesti kuuteen eri luokkaan muun muassa pintakuorman perusteella. Muita kuormaluokkaan vaikuttavia tekijöitä ovat keskitetyt kuormat eri pinta-aloille sekä vaaditut osa-aluekuorman kestävyysluokissa 5 ja 6. Mitoituksen kannalta on oleellista tietää suurin sallittu pintakuorma käytettävässä kuormaluokassa.

Taulukko 2. Julkaisun RIL 142-2010 määrittelemät elementtitelineen kuormaluokat.

Kuormaluokka	Määritelmä	Pintakuorma [kN/m ²]
1	Kevyt teline, jota käytetään työhön erittäin kevyillä työvälineillä.	0,75
2	Kevyt teline, jota käytetään työhön kevyillä työvälineillä esim. maalaus-, saumaus- ja asennustyö sekä näihin verrattava työ.	1,5
3	Keskiraskas teline, jota käytetään työhön, jossa materiaali varastoidaan telineelle välitöntä käyttöä varten esim. rappaustyö tai siihen verrattava työ.	2,0
4	Raskas teline, jota käytetään esim. muuraustyöhön tai vastaavaan.	3,0
5	Raskas teline, jota käytetään esim. muuraustyöhön tai vastaavaan	4,5
6	Raskas teline, jota käytetään esim. muuraustyöhön ja jossa materiaalia varastoidaan suurehkoja määriä telineelle.	6,0

4.4 Kuormayhdistelmät ja osavarmuuskertoimet

Kun *työtelineitä* mitoitetaan vaarallisimmalle kuormitusyhdistelmälle, otetaan aina huomioon kaikki telineeseen liittyvät työvaiheet työmaalla. Nämä työvaiheet ovat telineen pystytystyö, telineen käyttö työmaalla, mahdolliset telineen siirrot työmaan aikana sekä telineen purkutyö. Tämä pätee samalla tavalla myös *sääsuojarakenteiden* sekä muiden telinetyyppien mitoittamiselle. [1, s. 42.]

Osavarmuuskertoimien käytöstä telinesuunnittelun kannalta tarjotaan useita erilaisia vaihtoehtoja. RIL 142-2010 tarjoaa kaksi erilaista vaihtoehtoa osavarmuuskertoimien käytölle *työtelineitä* suunniteltaessa. Ensimmäinen vaihtoehto on eurooppalaisen telinestandardin SFS-EN 12811-1 mukaiset osavarmuuskertoimet, jotka ovat sekä pysyväälle kuormalle että muuttuvalle kuormalle 1,5. Toinen vaihtoehto on RakMK:sta löytyvät osavarmuuskertoimet 1,2 pysyväälle kuormalle ja 1,6 käyttö- ja henkilökuormalle. Sääsuojaustandardin mukaan osavarmuuskertoimen arvoina

käytetään 1,35 pysyväälle kuormalle ja 1,5 muille kuormille. Lisäksi RIL 201-2010 mukaan osavarmuuskertoimen arvoina käytetään 1,15 pysyväälle kuormalle ja 1,5 muuttuvalle kuormalle siten, että kuormitusyhdistelmän suuruus on kuitenkin vähintään 1,35-kertainen pysyvän kuorman ominaisarvosta. Hankalaksi oikean osavarmuuskertoimen valinnassa tekee se, että kuorman yhdistelykertoimien käyttöä ohjeistetaan vain EN 1990 kansallisessa liitteessä sekä sääsuojastandardin luonnosversiossa. [1, s. 45; 2, s. 38; 4, s. 13; 5, s. 32.]

Tässä insinööriyössä pyritään noudattamaan eurokoodiin perustuvaa mitoitus, joten tämän perusteella voidaan vaihtoehdoista poistaa ainakin RakMK:n mukaiset osavarmuuskertoimet. Jäljelle jäävät kolme muuta vaihtoehtoa, joista kaksi on nimenomaan suunnattu teline- ja sääsuojusrakentamiseen. Molemmissa käytetään saman suuruista muuttuvan kuorman osavarmuuskertoiminta, mutta pysyväälle kuormalle jää vaihtoehdoiksi 1,35 tai 1,5. Telinesuunnittelussa voidaan yleensä laskea tarkkaan käytetyn kaluston määrä ja sitä kautta myös niiden omapaino. Lisäksi telinevalmistaja Layher käyttää suunnitteluohjeissaan pysyvän kuorman osavarmuuskertoiminta 1,35. Näiden pohjalta voidaan perustellusti käyttää pysyvän kuorman osavarmuuskertoimena 1,35.

Kuormayhdistelmien laskemiseen voidaan käyttää muuttuvan kuorman yhdistelykertoimen arvoja, jotka ovat määritelty muun muassa EN 1990 kansallisessa liitteessä A1. Edellä mainittu liite ei kuitenkaan sisällä esimerkiksi hyötykuorman yhdistelykertoimia rakennustelineille, joten näin ollen liitteestä voidaan tutkia ainoastaan lumi- ja tuulikuorman määrittäviä vaikutuksia. Sääsuojastandardin luonnoksessa on annettu taulukon 3 mukaiset kuorman yhdistelykertoimet. Taulukossa on selkeästi esitetty kaikki määräävät kuormitustapaukset eri yhdistelmille. On kuitenkin syytä huomioida, että kyseessä on normaalit kuormitustilanteet ja mahdollisissa poikkeustapauksissa yhdistelykertoimien käyttö on tarkasteltava tilannekohtaisesti. [2, s. 49-50; 4, s. 12.]

Taulukko 3. Julkaisun prEN 16508 mukaiset kuorman yhdistelykertoimet. [4]

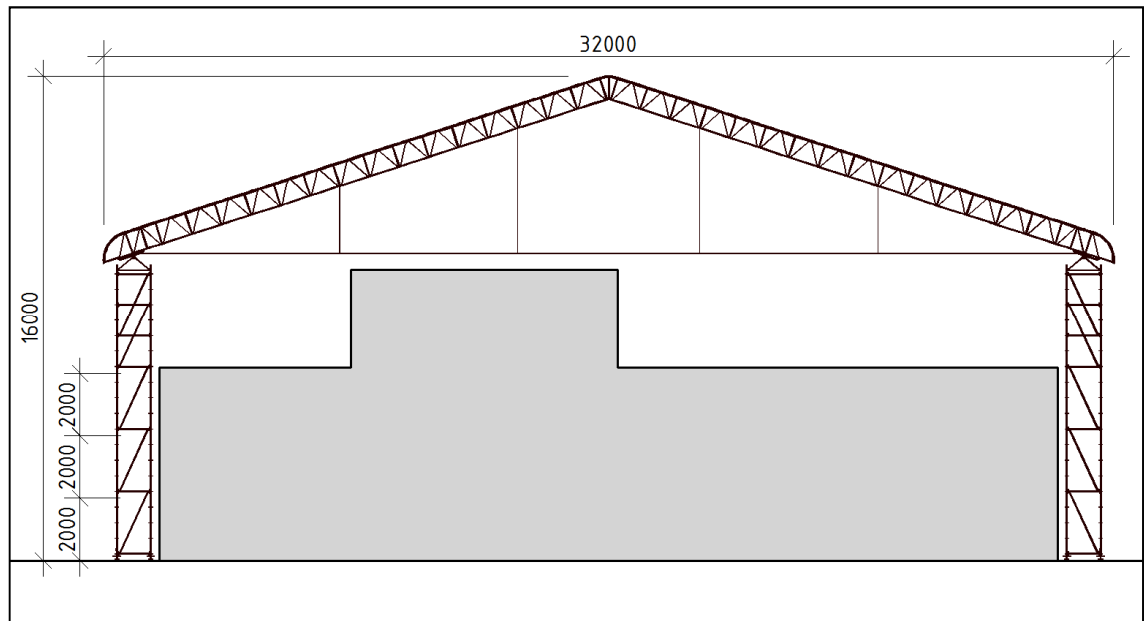
	KY 1	KY 2	KY 3	KY 4	KY 5	KY 6	KY 7	KY 8	KY 9
Pysyvät kuormat Q_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Telineen asennus- ja huoltokuormat Q_2	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Muut hyötykuormat Q_3	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Asennus- ja huolto-kuormat katolla* Q_4	-	1,0	-	-	-	-			
Täysi lumikuorma katolla Q_5	-						1,0	0,5	1,0
Vähennetty lumi-kuorma katolla Q_6				1,0	0,5	1,0			
Vähimmäiskuorma katolla** Q_7		1,0	1,0						
Maksimi tuulikuorma Q_8	1,0		1,0		1,0	0,5		1,0	0,5
Työnaikainen tuulikuorma*** Q_9		1,0		1,0			1,0		
Kuormayhdistelmät	Suurin noste	Suurin työnaikainen kuorma alaspäin	Tuulen ja vähimmäiskuorman yhdistelmä	Suurin työnaikainen kuorma alaspäin	Tuulen ja lumikuorman yhdistelmä	Tuulen ja lumikuorman yhdistelmä	Tuulen ja vähimmäiskuorman yhdistelmä	Tuulen ja lumikuorman yhdistelmä	Tuulen ja lumikuorman yhdistelmä
Lumikuormaluokka 1	x	x	x						
Lumikuormaluokka 2	x			x	x	x			
Lumikuormaluokka 3	x						x	x	x
* voidaan jättää huomioimatta, mikäli lumenpoistaminen tapahtuu ilman ihmisten työskentelyä katolla.									
** voidaan käyttää, mikäli lunta ei esiinny sääsuojarakenteen paikallaolon aikana.									
*** käytetään tapauksissa, joissa sääsuojarakenteen on osittain avattu esimerkiksi materiaalin kuljettamista varten.									

5 Rakenteiden kuormien määrittäminen

Rakenteiden kuormien määrittäminen aloitetaan selvittämällä rakennuskohteen tiedot. Sääsuojauskohteissa on ensisijaisen tärkeää tietää, minkälaista työtä rakennuskohteessa tehdään. Teline-toimittajan ja tilaajan on selvitettävä kaikki työskentelyn aikana sääsuojaus- ja telinerakenteisiin vaikuttavat rakenteiden kuormat ja sovittava millä menetelmillä niiden vaikutukset ohjataan esimerkiksi kiinteisiin rakenteisiin ja sitä kautta perustuksiin. Näiden perusteella telinesuunnittelija huolehtii siitä, että toteutettava ratkaisu kestää kaikki telinerakenteeseen kohdistuvat voimat ja niiden siirtämisen.

Tässä luvussa määritetään rakenteiden kuormat tyypilliseen suuren jännevälän sääsuojauskohteeseen esimerkin omaisesti. Luvussa 6 suoritettavissa mitoituksissa hyödynnetään tässä luvussa määriteltyjä rakenteiden kuormia. Ankkurointivoimien kannalta oleellisia tekijöitä ovat sääsuojusrakenteen mittojen lisäksi muun muassa tuulikuormat, telineen peittäminen sekä ankkurointipisteiden määrä ja sijainti.

Esimerkkikohteena on kuvan 4 mukainen sääsuojateline. Poikkileikkauksesta nähdään, että telineen runkoa on jouduttu korottamaan selvästi jo olemassa olevan rakennuksen kattotason yläpuolelle. Tällainen ratkaisu on tarpeellinen esimerkiksi silloin, kun pitkän jännevälin ansiosta sääsuojaan on asennettava vetopaarre. Kuvassa 4 syynä on rakennuksen katolla sijaitseva IV-konehuone, mutta vastaavanlaisia toimenpiteitä aiheuttavat muun muassa rakennuksen katon muoto, rakennustyön aikana kohteessa tapahtuvat muutokset, savupiiput tai muu tekniikka sekä työskentelytilan tarve.



Kuva 4. Poikkileikkaus suuren jännevälin sääsuojatelineestä.

Muita vaadittavia lähtötietoja esimerkkikohteesta rakenteiden kuormien määrittämisen kannalta ovat

- Rakennuspaikan maastoluokka III
- maaston kaltevuus (θ) alle 0,05
- kattokulma 18°
- pituus 51,44 m
- leveys 32 m
- korkeus 16 m
- kattoristikkoväli k2572
- peitetty teline, ei aukkoja.

5.1 Tuulikuormat

Tuulikuorman määrittämiseen käytetään RIL 201-1-2011 mukaisia menetelmiä, jotka pohjautuvat eurokoodissa EN-1991-1-4 esitettyihin tuulivoiman laskentamenetelmiin. Tuulen nopeuspaineen määrittämisessä sovelletaan yksinkertaistettua menetelmää. Lisäksi ulkopuolisten painekertoimien määrittämisessä käytetään sääsuojastandardin luonnosversion mukaista menetelmää, joka on suunnattu erityisesti sääsuojarakenteille. Ankkurointivoimien kannalta tulokset eivät edellä mainitulla menetelmällä yleensä poikkeava eurokoodin menetelmästä, mutta esimerkiksi sääsuojan kattorakenteiden mitoituksen kannalta tämä menetelmä mahdollistaa yksinkertaisemmän sekä varmalla puolella olevan tarkastelun.

5.1.1 Puuskanopeuspaine

Tuulikuorman määrittäminen aloitetaan selvittämällä tuulen puuskanopeuspaine. Puuskanopeuspaineen suuruus saadaan laskemalla kaavasta [2, s. 125-133]:

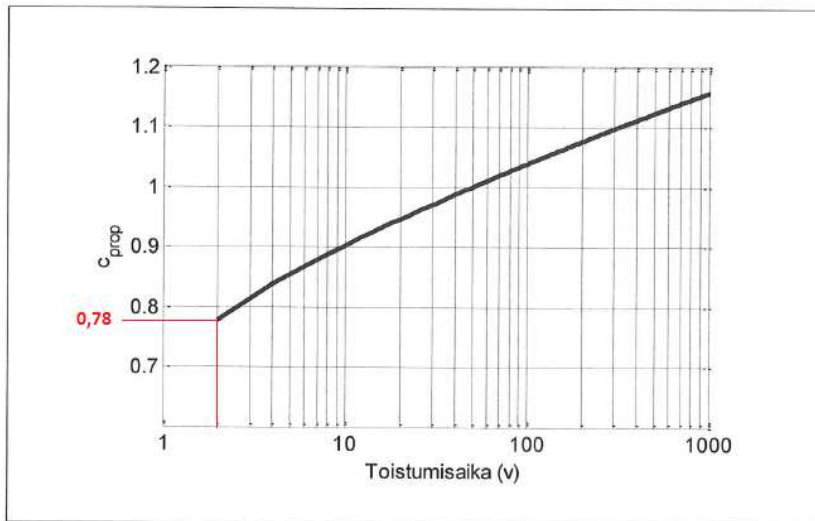
$$q_p(z) = \gamma_D \cdot q_{p0}(z) \cdot c_{prop} = 1,0 \cdot 0,56 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,78 = 0,437 \frac{kN}{m^2} \quad (1)$$

γ_D on rakennuspaikan sijainnista riippuva suurennuskerroin. Lähtötietojen mukaan maaston kaltevuus on alle 0,05, jolloin $\gamma_D = 1,0$

$q_{p0}(z)$ on tuulen nopeuspaineen ominaisarvo korkeusaseman (z) funktiona eri maastoluokissa. Esimerkkikohteen korkeus on 16 metriä ja maastoluokka on III, jolloin nopeuspaineen ominaisarvoksi saadaan $q_{p0}(16\text{ m}) = 0,56$ kuvan 5 mukaisesti

c_{prop} on todennäköisyyskerroin, joka riippuu tuulivoiman ääriarvon toistumisajasta. Todennäköisyyskerrointa käytetään, mikäli rakennuksen tai rakenteen käyttöikä poikkeaa eurokoodin perusteena olevasta tuulivoiman toistumisajasta 50 vuotta. Yleensä sääsuojatelineet toimivat väliaikaisina rakenteina, jolloin niiden suunniteltukäyttöikä on alle kaksi vuotta. Kuvasta 5 nähdään, että tällaisissa tapauksissa todennäköisyyskerroimelle voidaan käyttää arvoa $c_{prop} = 0,78$.

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60



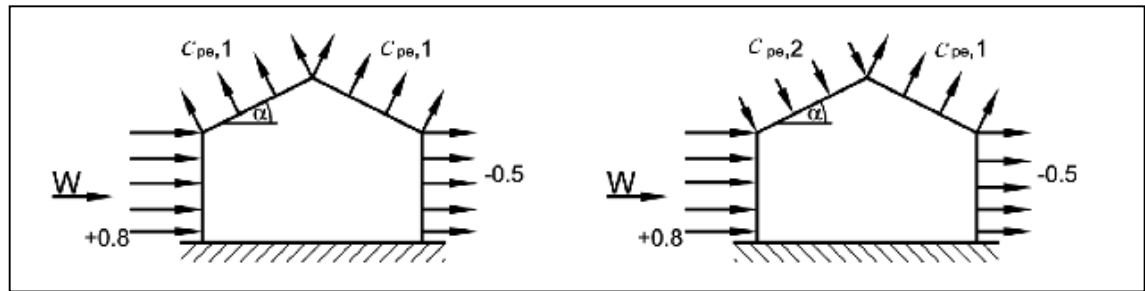
Kuva 5. Tuulennopeuspaineen sekä todennäköisyyskertoimen määrittäminen, RIL 205-1-2011. [2]

5.1.2 Paine kertoimet

Tuulen puuskanopeuspaineen laskemisen jälkeen valitaan tuulikuormien määrittämiseen käytettävä menetelmä. Telineen ankkuroinnin mitoituksen kannalta on syytä määrittää tuulikuormat painekertoimien avulla. Tämä tapahtuu selvittämällä ulko- ja sisäpuolisiin pintoihin vaikuttavat kuormat sekä kitkakuorma.

Ulkopuolisiin pintoihin vaikuttavien painekertoimien määrittämistä varten on tiedettävä sääsuojan leveys sekä katon muoto ja kaltevuus. Esimerkkikohde on harjakattoinen sääsuoja, jonka kattokulma on 18° . Tällöin ulkopuolisille pinnoille vaikuttaville painekertoimien arvoille löytyy kuvan 6 mukaisesti kaksi erilaista tapausta. Tuulen puoleisella lappeella voi esiintyä sekä negatiivista painetta ($c_{p,1}$) tai positiivista painetta ($c_{pe,2}$) kun katon kaltevuuskulma on välillä $\alpha = -5^\circ \dots +45^\circ$. Näiden painekertoimien määrittämiseen käytetään sääsuojastandardin prEN 16508 mukaista eurokoodista yksinkertaistettua menetelmää, joka soveltuu hyvin sääsuojarakenteiden mitoitukseen.

Pystyseiniin kohdistuvat painekertoimet ovat edellä mainitulla menetelmällä vakioita. [4, s. 17; 2, s. 152.]



Kuva 6. Harjakatolla vaikuttavat painekertoimet, kun kattokulma on alle 30°, prEN 16508. [4]

Katon lappeilla esiintyvä negatiivinen painekertoimen arvo saadaan ratkaistua kaavasta (kun sääsuojateltan leveys $L \geq 25 \text{ m}$):

$$c_{pe,1} = -0,55 + \frac{\alpha - 10}{100} = -0,55 + \frac{18 - 10}{100} = -0,47 \quad (2)$$

α on katon kaltevuuskulma asteina, eli $\alpha = 18$.

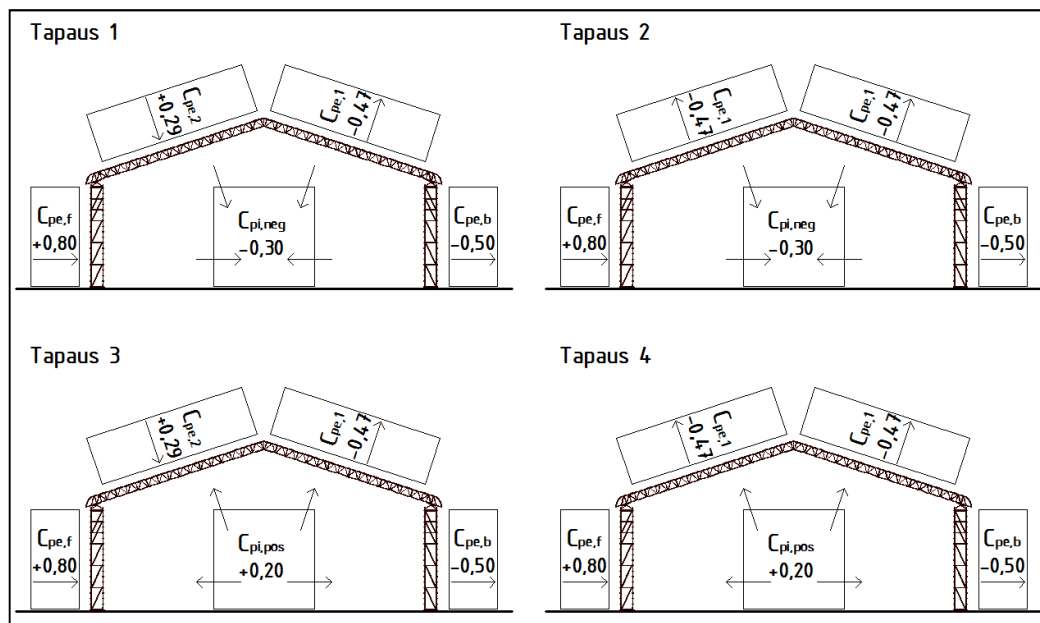
Katon tuulen puoleisella lappeella esiintyvä positiivinen painekertoimen arvo saadaan ratkaistua kaavasta [4, s. 18-19]:

$$c_{pe,2} = 0,03 \cdot \alpha - 0,25 = 0,03 \cdot 18 - 0,25 = +0,29 \quad (3)$$

Sisäisen paineen kerroin c_{pi} riippuu sääsuojateltan peittämisestä, aukoista ja niiden jakautumasta. Sisäisten ja ulkoisten paineiden katsotaan vaikuttavan samanaikaisesti. Sisäisen paineen kerroin voidaan määrittää niin sanotun aukkosuhteen funktiona, joka riippuu tämän lisäksi rakennuksen korkeuden ja tuulensuuntaisen mitan suhteesta. Kokonaan peitetyssä sääsuojatelineessä aukkosuhteen määrittäminen voi olla hankalaa, mutta voidaan olettaa peitteiden liitoksista syntyvien aukkojen jakautuvan suhteellisen tasaisesti ympäri sääsuojaa. Tällöin sisäisen paineen kertoimena voidaan käyttää vaarallisimman vaikutuksen tuottavaa arvoista +0,2 tai -0,3. Näiden arvojen perusteella määritetään sääsuojarakenteeseen vaikuttavan tuulen ulko- ja sisäpinnan paineiden erot eli nettopaineen kertoimet ($C_{p,net,i}$). [2, s. 157 – 159; 3, s. 86-90.]

Tuulesta syntyvät kitkan vaikutukset pintaan voidaan jättää huomioimatta, kun tuulen suuntaisten pintojen kokonaisala on enintään neljä kertaa kaikkien tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala. Lähes poikkeuksetta voidaan todeta, että tuulen vaikuttaessa kohtisuoraan lappeen puoleista seinää kohden, ei kitkan vaikutuksia tarvitse huomioida. Mikäli tarkastellaan sääsuojateltan päätyrunгон ankkurointivoimia tai muita mitoituksia, kitkan vaikutukset tuulen kokonaisvoiman määrittämisessä täytyy todennäköisesti huomioida. Tässä esimerkissä päätyrunгон ankkurointivoimia ei erikseen tarkastella, sillä yleensä päätyjen ankkurointi ja niissä vaikuttavat voimat eivät ole yhtä suuria kuin lappeen suuntaisilla sivuilla. [2, s. 139.]

Esimerkkikohteessa on yhteensä neljä erilaista tuulenpaineen vaikutustapausta. Näihin lasketaan kussakin tapauksessa vaikuttavat tuulen nettopaineen kertoimet, joista myöhemmin valitaan jokaiselle sääsuojarakenteen mitoistustarkastelulle vaarallisin vaihtoehto kuormitusyhdistelmien laskemista varten. Kuvassa 7 esitetään laskelmien pohjalta painekertoimet kaikissa vaikutustapauksissa.



Kuva 7. Tuulen painekertoimien vaikutustapaukset.

Nettopaineen kertoimet lasketaan ulko- ja sisäpinnan paineiden erosta. Laskennassa on huomioitava kertoimien etumerkit. Paine, joka suuntautuu pintaa kohti on positiivinen ja paine, joka suuntautuu pinnasta pois päin (imupaine), on negatiivinen. Poikkeuksena painekertoimien yhdistämiseen nettopaineiksi on, mikäli ulko- ja sisäpuolisen paineen nopeuspaine korkeuden arvot (z_e ja z_i) poikkeavat toisistaan, tai

jos rakennekertoimelle ($c_s c_d$) käytetään muuta arvoa kuin 1,0. Laskennan helpottamisen kannalta voidaan siis käyttää jo aiemmin lasketun tuulen nopeuspaineen ominaisarvon korkeusaseman (z) arvoa molemmissa tapauksissa. Tällöin laskennassa päästään tulokseen, joka on varmalla puolella. Rakennekertoimelle voidaan käyttää arvoa $c_s c_d = 1,0$, mikäli rakenneosien ominaistaajuus on yli 5 Hz, rakennuksen korkeus on pienempi kuin neljä kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta tai kun rakennuksen korkeus on alle 15 metriä. [2, s. 139; 3, s. 48.]

Kun tuulennopeuspaine ja nettopaineet kaikille tapauksille on tiedossa, voidaan sääsuojatelttaan laskea tuulesta aiheutunut kokonaiskuorma. Esimerkkikohteessa kattoristikoiden jakoväli on 2,572 metriä, jolloin käytännössä pienin pituussuuntainen ankkurointiväli on 2,572 metriä. Tämä johtuu siitä, että telinerungon pystytukiparit asennetaan yleensä samalla jaolla kattoristikoiden kanssa, jolloin niiden liitos voidaan toteuttaa helposti vastaanottotuen avulla. Laskennan kannalta on siis syytä tarkastella kokonaistuulikuorman vaikutusta yhtä ristikkoa ja pystytukiparia kohden. Tuulikuorman jakautuminen pystytukipareille voidaan olettaa olevan vakio koko sääsuojateltan pituussuunnassa, sillä telineosien liitokset eivät ole jäykkiä. Tällöin tuulesta aiheutunut kokonaiskuorma yhdelle pystytukiparille saadaan laskettua 2,572 metriä leveällä kentällä aiheutuvasta tuulikuormasta. Johdetaan kokonaistuulikuormien laskentakaavasta [2, s. 139-140]:

$$P_{k,i} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,i} \cdot b + q_p(z_i) \cdot c_{pi,i} \cdot b \rightarrow P_{k,i} = q_p(z) \cdot c_{p,net,i} \cdot b \quad (4)$$

$c_s c_d$ on rakennekerroin, jonka arvona käytetään 1,0*

z_e & z_i ovat nopeuspainekorkeuksien arvoja, jolle voidaan käyttää korkeusaseman ($z = 18 \text{ m}$) arvoa. Näin jo aiemmin laskettua puuskanopeuspainetta voidaan soveltaa sisä- että ulkopuolisen tuulikuorman laskennassa*

$c_{pe,i}$ on ulkoisen paineen kerroin

$c_{pi,i}$ on sisäisen paineen kerroin

$c_{net,i}$ on ulko- ja sisäpinnan paine-ero

b on pystytukiparien ja kattoristikoiden kenttäjako.

*Edelleytyksenä sille, että kokonaistuulikuormien laskentakaavan voi johtaa muotoon

$$P_{k,i} = q_p(z) \cdot c_{p,net,i} \cdot b$$

5.1.3 Kokonaiskuormat tapauksittain

Lasketaan tapauskohtaisesti kokonaistuulikuormat pystytukiparia kohti. Kuormat on laskettu esimerkin omaisesti ensimmäisessä tapauksessa. Kaikki kuormitustapaukset on esitetty taulukossa 4:

$$c_{p,net,11} = c_{pe,f} - c_{pi,neg} = 0,80 - (-0,30) = +1,10$$

$$c_{p,net,12} = c_{pe,2} - c_{pi,neg} = 0,29 - (-0,30) = +0,59$$

$$c_{p,net,13} = c_{pe,1} - c_{pi,neg} = -0,47 - (-0,30) = -0,17$$

$$c_{p,net,14} = c_{pe,b} - c_{pi,neg} = -0,50 - (-0,30) = -0,20$$

$$P_{k,11} = q_p(z) \cdot c_{p,net,11} \cdot b = 0,437 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,10 \cdot 2,572 m = 1,236 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{k,12} = q_p(z) \cdot c_{p,net,12} \cdot b = 0,437 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,59 \cdot 2,572 m = 0,663 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{k,13} = q_p(z) \cdot c_{p,net,13} \cdot b = 0,437 \frac{kN}{m^2} \cdot (-0,17) \cdot 2,572 m = -0,191 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{k,14} = q_p(z) \cdot c_{p,net,14} \cdot b = 0,437 \frac{kN}{m^2} \cdot (-0,20) \cdot 2,572 m = -0,225 \frac{kN}{m^2}$$

Taulukko 4. Kokonaistuulivoimat tapauksittain.

Tapaus 1				Tapaus 2			
$C_{p,net,11}$	1,10	$P_{k,11}$	1,236 kN/m	$C_{p,net,21}$	1,10	$P_{k,21}$	1,236 kN/m
$C_{p,net,12}$	0,59	$P_{k,12}$	0,663 kN/m	$C_{p,net,22}$	-0,17	$P_{k,22}$	-0,191 kN/m
$C_{p,net,13}$	-0,17	$P_{k,13}$	-0,191 kN/m	$C_{p,net,23}$	-0,17	$P_{k,23}$	-0,191 kN/m
$C_{p,net,14}$	-0,20	$P_{k,14}$	-0,225 kN/m	$C_{p,net,24}$	-0,20	$P_{k,24}$	-0,225 kN/m

Tapaus 3				Tapaus 4			
$C_{p,net,31}$	0,60	$P_{k,31}$	0,674 kN/m	$C_{p,net,41}$	0,60	$P_{k,41}$	0,674 kN/m
$C_{p,net,32}$	0,09	$P_{k,32}$	0,101 kN/m	$C_{p,net,42}$	-0,67	$P_{k,42}$	-0,753 kN/m
$C_{p,net,33}$	-0,67	$P_{k,33}$	-0,753 kN/m	$C_{p,net,43}$	-0,67	$P_{k,43}$	-0,753 kN/m
$C_{p,net,34}$	-0,70	$P_{k,34}$	-0,787 kN/m	$C_{p,net,44}$	-0,70	$P_{k,44}$	-0,787 kN/m

5.2 Lumikuormat

Oletetaan, että lumenpoiston hallinnasta voidaan sopia urakoitsijan ja asiakkaan kanssa. Tällöin lumikuorman arvona voidaan käyttää lumikuormaluokan (LK2a) mukaista kuormaa, joka on taulukon 1 mukaan $0,25 \text{ kN/m}^2$. Oletetaan myös, että urakoitsijan ja asiakkaan kanssa sovitulla lumikuorman arvolla $0,25 \text{ kN/m}^2$ tarkoitetaan kohtisuoraan sääsuojan kattorakennetta vastaan olevaa kuormaa. Tämä vastaa suuruudeltaan noin 6 cm paksuista märkää lumikerrosta, jonka tiheys on noin 4 kN/m^3 . [4, s. 9.]

Kohtisuoraan alaspäin vaikuttavan lumikuorman suuruus, kuten lumikuorman suuruus yleensä ilmoitetaan, on tällöin:

$$\frac{1}{\cos 18^\circ} \cdot 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,263 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Voidaan siis todeta, että edellä mainitun oletuksen perusteella saadaan laskennassa varmallalla puolella oleva lopputulos, mikäli lumenpoiston hallinta toteutetaan työmaalla sovituin perustein.

5.3 Pysyvä kuorma ja hyötykuormat

Pysyvä kuorma koostuu sääsuojateltan runkotelineen sekä kattorakenteen omasta painosta. Normaalisti telinerakenteiden omat painot voidaan laskea hyvin tarkasti

vaadittavan telinekaluston määrän perusteella. Esimerkin kannalta ei ole oleellista tarkastella pysyviä kuormia näin tarkasti (varsinkaan ankkurointivoimien mitoituksen yhteydessä). Normaalin runkotelineen painon, jossa suoritetaan kevyitä tai keskiraskaita julkisivutöitä (kuormaluokat 1-3), voidaan laskea olevan suuruusluokaltaan 25 kg julkisivuneliötä kohden. Sääsuojateltan kattorakenteiden painona voidaan käyttää 23 kg/m, kun kattoristikoiden jako on 2,572 m. Telineerungon oma paino pystytukiparia kohti on:

$$F_{k,ok} = 0,25 \frac{kN}{m^2} \cdot h \cdot b = 0,25 \frac{kN}{m^2} \cdot 9,0 m \cdot 2,572 m = 5,787 kN \quad (5)$$

h Runkotelineen korkeus maasta eli 9,0 m

b on pystytukiparien ja kattoristikoiden kenttäjako eli 2,572 m.

Kattorakenteiden omapaino kattoristikkoa kohti on:

$$P_{k,ok} = 0,23 \frac{kN}{m} \quad (6)$$

Hyötykuorman ominaisarvo riippuu telineen kuormaluokasta. Oletetaan esimerkkitelineen kuormaluokaksi 3, jolloin taulukon 2 mukaan hyötykuorman arvo on 2 kN/m². Oletetaan myös, että kattorakenteille kohdistuvat hyötykuormat (asennuksen tai huollon yhteydessä) eivät ulotu ajalle, jolloin kattorakenteisiin vaikuttavat suurimmat luonnonkuormat.

Lopullinen hyötykuorman suuruus riippuu samanaikaisesti kuormitettavien työtasojen määrästä. Elementtitelineiden kohdalla, toisin kuin esimerkiksi putkitelineillä, ei ole erikseen rajoitettu, kuinka montaa työtasoa voidaan kuormittaa samanaikaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että samanaikaisesti kuormitettavien työtason määrään vaikuttavat telineen käyttötarkoitus sekä rakenteiden kestävyudet. Mikäli tarkastelun hetkellä edellä mainittuja seikkoja ei voida huomioida riittävän luotettavasti, voidaan samanaikainen työtasojen käyttö rajata yhteen telinekerrokseen tai käyttää EN 12811-1-2003 mukaista laskenta menetelmää. [5, s. 25]

Tässä esimerkissä hyötykuorman ominaisarvon suuruudeksi on saatu kuormaluokan 3 mukainen arvo 2 kN/m². Lisäksi samanaikaisesti kuormitettavien työtasojen määrä on rajoitettu yhteen telinekerrokseen. Tällöin yhtä pystytukiparia kuormittaa:

$$F_{k,hyöty} = 2,0 \frac{kN}{m^2} \cdot a \cdot b = 2,0 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,088 \text{ m} \cdot 2,572 \text{ m} = 5,597 \text{ kN} \quad (7)$$

a on runkotelineen leveys eli 1,088 m

b on pystytukiparien ja kattoristikoiden kenttäjako eli 2,572 m.

5.4 Kuormayhdistelmät

Esimerkkikohteen lähtötietojen sekä aiemmin määriteltyjen oletusten perusteella tarkastellaan seuraavat kuormayhdistelmät:

- suurin mahdollinen tuulen aiheuttama noste
- kuormayhdistelmä, jossa tuulikuorma on määrävä
- kuormayhdistelmä, jossa lumikuorma on määrävä
- ankkurointivoimien mitoittavat kuormayhdistelmät.

5.4.1 Suurin mahdollinen noste

Taulukon 3 mukaan suurin mahdollinen tuulen aiheuttama noste lasketaan pysyvän kuorman sekä tuulikuorman yhdistelmänä. Epäedullisena osavarmuuskertoimena käytetään arvoa 1,5 sekä edullisena käytetään arvoa 0,9. Tuulikuormista suurimmat nosteen arvot löytyvät tapauksesta 4. Näin ollen tarkastellaan suurimmat mahdolliset tuulen aiheuttamat nosteen arvot sääsuojan kattoristikoilla:

$$P_{d,imu} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot P_{k,ok} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot c_{p,net,42} \quad (8)$$

$$= 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,23 \frac{kN}{m} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot \left(-0,753 \frac{kN}{m}\right) = -0,923 \frac{kN}{m}$$

Tuloksen perusteella voidaan tarkastella, kestävätkö kattoristikot tuulen imupaineesta aiheutuvat rasitukset. Seuraavaksi tarkastellaan, onko sääsuojatelineellä riittävästi omaa painoa tuulen imua vastaan:

$$F_{d,imu} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot F_{k,ok} + P_{d,imu} \cdot \frac{L}{2} = 0,9 \cdot 5,787 \text{ kN} + \left(-0,923 \frac{kN}{m} \cdot \frac{32m}{2}\right) \quad (9)$$

$$= -9,552 \text{ kN} / \text{ pystytukipari}$$

Tuloksen perusteella voidaan todeta, että sääsuoja on ankkurointava tuulen imusta aiheutuvalle pystysuuntaiselle voimalle vähintään $F_{d,imu}$:n itseisarvon suuruisella voimalla jokaista pystytukiparia kohden. Tarkemmassa tarkastelussa voidaan pienentävänä tekijänä huomioida pystysuuntaisen liikkeen osittainen estäminen seinäankkureilla.

5.4.2 Tuulikuorma määrävänä

Suurin mahdollinen alaspäin suuntautunut voima saadaan, kun tuulikuorman arvot otetaan tapauksesta 1. Kuten tuulen nosteen vaikutusten laskennassa, tarkastellaan suurimmat alaspäin suuntautuneet voimat erikseen kattoristikoidilla sekä koko sääsuojarakenteessa:

$$\begin{aligned} P_{d,tuuli,määr} &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot P_{k,ok} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot c_{p,net,12} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot P_{k,lumi} & (10) \\ &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot 0,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,663 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left(0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,572 \text{ m}\right) \\ &= 1,787 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Tuloksen perusteella voidaan tarkastella, kestävätkö kattoristikot alaspäin suuntautuvasta voimasta aiheutuvat rasitukset. Seuraavaksi tarkastellaan, kuinka paljon kuormaa on sääsuojatelineen perustoilla:

$$\begin{aligned} F_{d,tuuli,määr} &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot F_{k,ok} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot F_{k,hyöty} + P_{d,tuuli,määr} \cdot \frac{L}{2} & (11) \\ &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot 5,787 \text{ kN} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 5,597 \text{ kN} + 1,787 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{32 \text{ m}}{2} \\ &= 44,800 \text{ kN} / \text{ pystytukipari} \end{aligned}$$

Tämä lopputulos perustuu varmalla puolella olevaan oletukseen, jonka mukaan sääsuojan toisella lappeella vaikuttava imupaine ei vaikuta pienentävästi toisen puoliskon alaspäin suuntautuviin voimiin.

5.4.3 Lumikuorma määrävänä

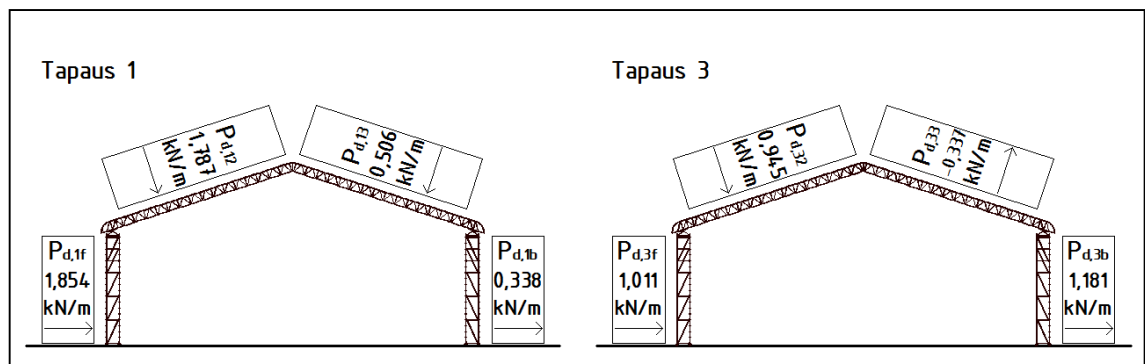
Tuulikuorman arvot valitaan edelleen tapauksesta 1, jolloin kuormayhdistelmän kokonaisvaikutus on mahdollisimman suuri. Tarkastellaan suurimmat alaspäin suuntautuneet voimat erikseen kattoristikkoilla sekä koko sääsuojarakenteessa:

$$\begin{aligned}
 P_{d,lumi,määr} &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot P_{k,ok} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot P_{k,lumi} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot c_{p,net,12} & (12) \\
 &= 1,0 \cdot 1,35 \cdot 0,23 \frac{kN}{m} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot \left(0,25 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,572 m \right) + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,663 \frac{kN}{m} \\
 &= 1,773 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Tuloksesta nähdään, että $P_{d,lumi,määr} < P_{d,tuuli,määr}$, jolloin rakenteet mitoitetaan tuulikuorman ollessa määrävänä. Näin ollen muita tarkasteluja lumikuorman ollessa määrävä ei tarvitse tehdä.

5.4.4 Ankkurointivoimien mitoittavat kuormayhdistelmät

Ankkurointivoimien kannalta mitoittavat kuormayhdistelmät löytyvät tuulikuorman tapauksista 1 ja 3. Lasketaan tapauksissa esiintyvien kuormayhdistelmien vaikutukset yhtä pystytukiparia sekä kattoristikkoa kohti. Vaakasuuntaisten voimien kuormat saadaan kertomalla tuulikuormatapausten $c_{p,net,i1}$ ja $c_{p,net,i4}$ arvot varmuuskertoimella 1,5. Kattoristikkoilla vaikuttavat kuormayhdistelmät lasketaan samalla periaatteella kuin kohdassa 5.4.2 laskettiin suurimmat alaspäin suuntautuneet voimat kattoristikkoille. Kuvassa 8 on esitetty molempien tapausten kuormien vaikutukset.



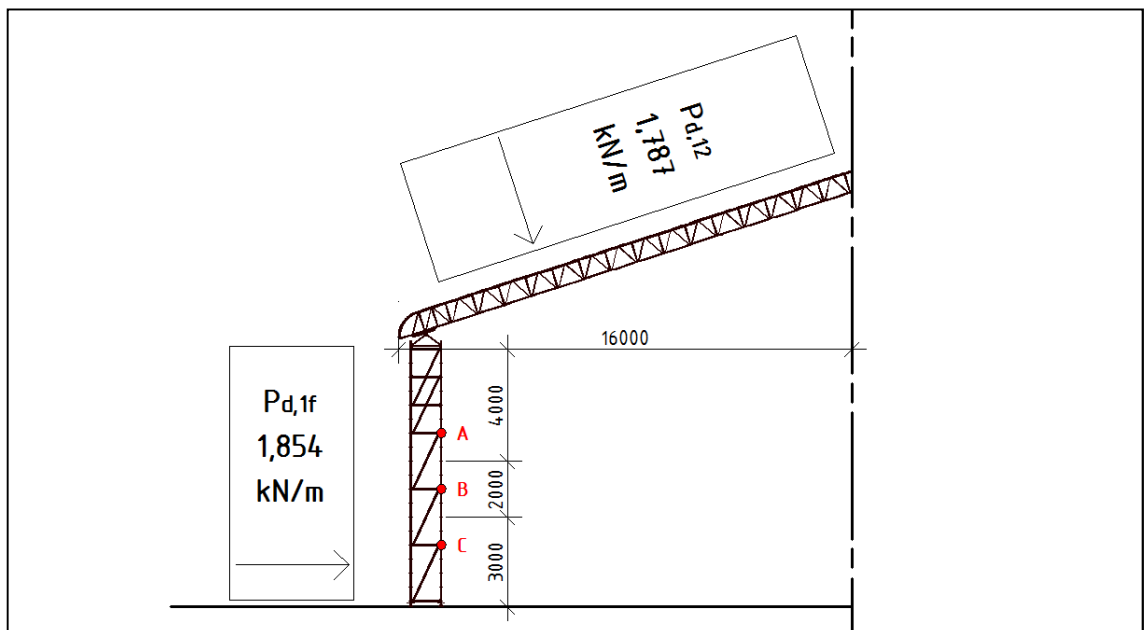
Kuva 8. Kuormayhdistelmien vaikutustapaukset.

6 Ankkurointivoimien mitoitus

Ankkurointivoimien mitoituksessa vertaillaan erilaisilla mitoitusmenetelmillä saatuja lopputuloksia ja arvioidaan niiden luotettavuutta. Luotettavuuden pohjana käytetään SCIA Engineering -ohjelmasta saatuja ankkurointivoimien mitoitusarvoja. Mitoitusmenetelmien lähtöarvoina käytetään kohdassa 5 saatuja kuormayhdistelmien arvoja sekä niiden sovelluksia vertailupohjan saavuttamiseksi.

6.1 Yksinkertaistettu laskentamenetelmä

Yksinkertaistetun laskentamenetelmän oletuksen perusteena on se, että telinerakenne toimii nivelellisesti ankkurointipisteiden kohdalla. Oletetaan myös, että telineen alin ankkuri vastaanottaa sen alapuolella vaikuttavan vaakasuuntaisen voiman. Lopuksi oletetaan, että telineen ylin ankkuri vastaanottaa katon lappeella vaikuttavan kuorman vaakakomponentin suuruisen voiman. Tässä menetelmässä siis tarkastellaan telinerakennetta kahdessa osakokonaisuudessa, jotka koostuvat yhden puolen telinerungosta sekä lappeesta. Tuloksena saadaan kussakin ankkurointipisteessä suurin mahdollinen veto- sekä puristusvoima. Kuvassa 9 on esitetty ankkuroiden puristusvoiman kannalta mitoittavat kuormien vaikutukset.



Kuva 9. Ankkureiden puristusvoiman laskenta.

Lasketaan ankkurointivoimat ankkureille A, B ja C:

$$F_{a,puistus} = 4 \text{ m} \cdot 1,854 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + \tan 18^\circ \cdot \left(1,787 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 16 \text{ m}\right) = 16,71 \text{ kN} \quad (13)$$

$$F_{b,puistus} = 2 \text{ m} \cdot 1,854 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3,71 \text{ kN}$$

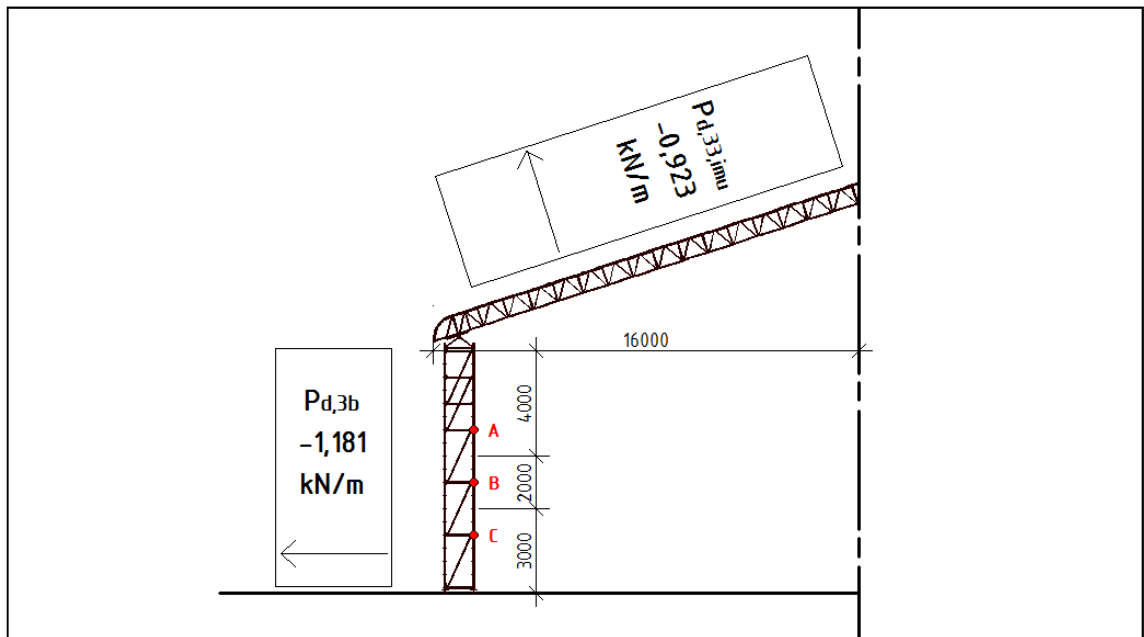
$$F_{c,puistus} = 3 \text{ m} \cdot 1,854 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5,56 \text{ kN}$$

Ankkuroiden vetovoiman tarkastelussa sovelletaan aikaisemmin laskettuja kuormayhdistelmiä. Suurin mahdollinen ankkureiden vetovoima saadaan tuulikuorman tapauksesta 3. Tässä tapauksessa lumikuorman sekä pysyvän kuorman osuus on edullinen, joten lasketaan katolla vaikuttava kuormayhdistelmä olettaen, ettei lumikuormaa esiinny sekä käyttäen pysyvän kuorman osavarmuuskertoimena arvoa 0,9. Tällöin katolla esiintyvä kuormayhdistelmä on:

$$P_{d,33,imu} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot P_{k,ok} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot c_{p,net,32} \quad (14)$$

$$= 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot \left(-0,753 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) = -0,923 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuvassa 10 on esitetty ankkuroiden vetovoiman kannalta mitoitettavat kuormien vaikutukset.



Kuva 10. Ankkureiden vetovoiman laskenta.

Lasketaan ankkurointivoimat ankkureille A, B ja C:

$$F_{a,veto} = 4 \text{ m} \cdot \left(-1,181 \frac{kN}{m}\right) + \tan 18^\circ \cdot \left(-0,923 \frac{kN}{m} \cdot 16 \text{ m}\right) = -9,52 kN \quad (13)$$

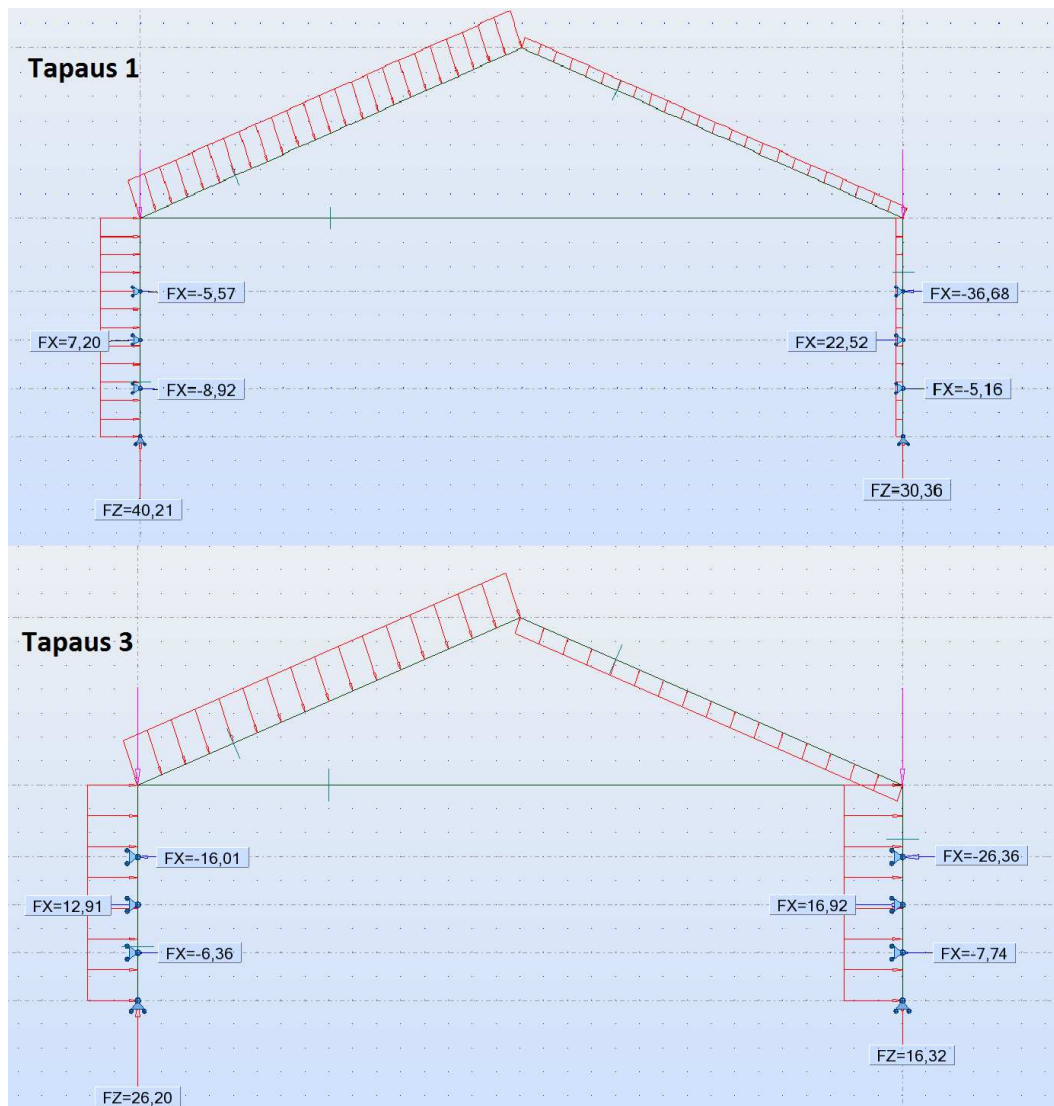
$$F_{b,veto} = 2 \text{ m} \cdot \left(-1,181 \frac{kN}{m}\right) = -2,36 kN$$

$$F_{c,veto} = 3 \text{ m} \cdot \left(-1,181 \frac{kN}{m}\right) = -3,54 kN$$

Laskentamenetelmän lopputuloksena saadaan ankkurointivoimat (veto ja puristus) ankkureille A, B ja C, joiden perusteella ankkurointitarve voidaan määrittää.

6.2 Mitoitus jäykkänä rakenteena

Vertailuna edelliseen laskentamenetelmään tarkastellaan, kuinka ankkurointivoimat poikkeavat kun koko telinerakenne oletetaan täysin jäykäksi. Kohdassa 5.4.4 määritetyt mitoittavat kuormayhdistelmät on asetettu Robot Structural Analysis -ohjelmaan tapauksittain. Kuvassa 11 on esitetty ohjelmasta saadut ankkurointivoimien arvot.



Kuva 11. Ankkurointivoimien laskenta jäykkänä rakenteena.

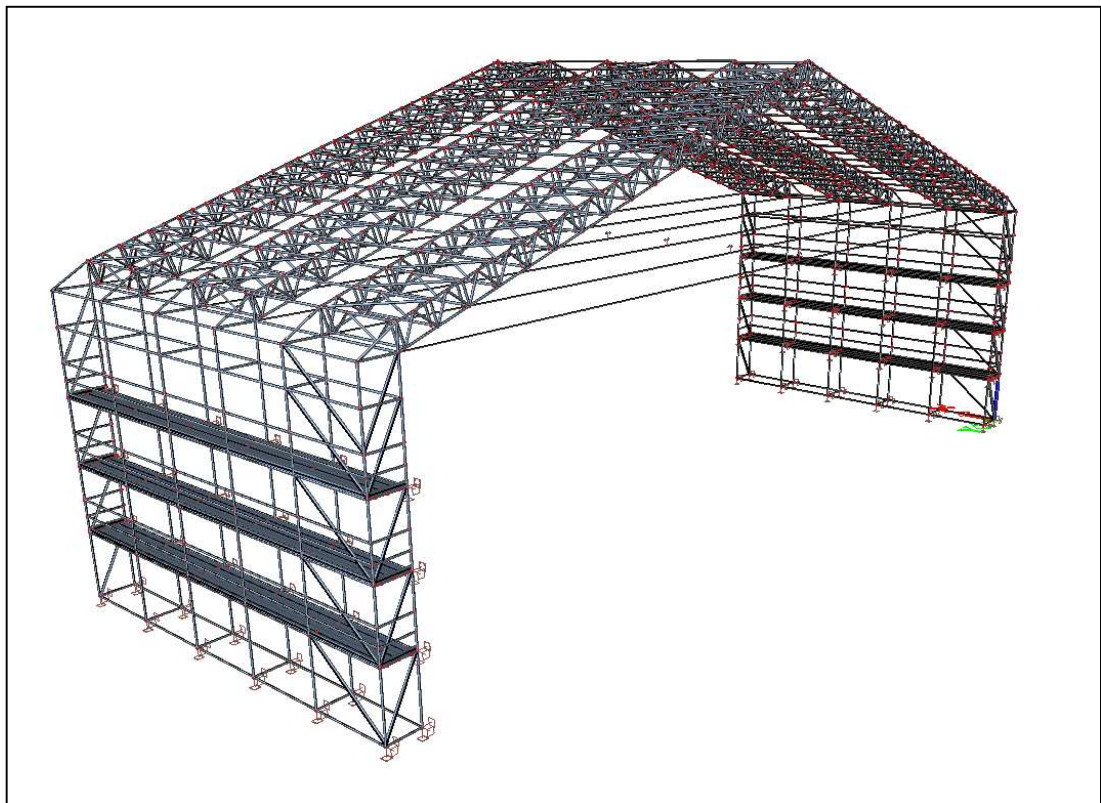
Kuvassa 11 nähtävät ankkurointivoimien arvot poikkeavat hyvin paljon kohdan 6.1 lopputuloksista. Käytännössä telinerakenne on kaukana täysin jäykän rakenteen oletuksesta ja näin ollen Robot-ohjelmasta saatuja tuloksia voidaan pitää vähintäänkin kyseenalaisina.

6.3 Tietomallipohjainen mitoitus

Tietomallipohjaisessa mitoituksessa käytetään SCIA engineering -ohjelmaa, jossa on erikseen telinemallintamiseen suunnattu Scaffold model IT -työympäristö. Näin ollen SCIA engineering -ohjelman tuloksia voidaan lähtökohtaisesti pitää luotettavana vertailupohjana ankkuroinnin mitoituksen muille menetelmille. Lisäksi valmistajan

kotisivuilta löytyy runsaasti opetusvideoita liittyen telinemallintamiseen, joita seuraamalla pystytään minimoimaan virheiden mahdollisuus.

Mallintaminen aloitetaan luomalla materiaalikirjasto käytettävistä telineosista. Kirjaston telineosille on annettu telinevalmistaja Layherin ilmoittavat materiaaliarvot sekä mitat. Poikkeuksena esimerkkitelineen lähtötietoihin, telinemallin leveytenä käytetään 15,432 metriä ($6 \cdot 2,572 \text{ m}$), jolloin mallin työstäminen tiedostokoon puolesta sujuu jouhevammin. Lisäksi mallintamisesta jätetään pois sääsuojateltan päätyrungot, jotka saattavat vaikuttaa telineen ankkurointivoimiin pienentävästi ja näin ollen vähentää mitoitusmenetelmien vertailukelpoisuutta. Kuvassa 12 on esitetty laskennassa käytetty lopullinen telinerakenne.



Kuva 12. Sääsuojatelineen rakenne mallinnettuna SCIA Engineering -ohjelmassa.

Tietomallissa tarkastellaan neljää erilaista kuormitustapausta, joissa kaikissa tuulikuorman vaikutukset ovat määrääviä muuttuvia kuormia:

- tuulikuorman tapaus 1, pysyvä kuorma, hyötykuormat sekä lumikuorma
- tuulikuorman tapaus 1 ja pysyvä kuorma

- tuulikuorman tapaus 3, pysyvä kuorma, hyötykuormat sekä lumikuorma
- tuulikuorman tapaus 3 ja pysyvä kuorma.

Kuormitustapauksista saadut ankkurointivoimat ovat esitetty taulukossa 5. Tulokset ovat poimittu siten, että jokaiselle ankkurointikorkeudelle A, B ja C on valittu suurin kaikista rakenteessa vaikuttavista pystytukiparien ankkurointivoimista. Pääsääntöisesti suurimmat ankkurointivoimat esiintyvät sääsuojateltan reunimmaisilla ankkureilla, mutta alimman sekä keskitason ankkureilla suurimmat voimat voivat vaikuttaa myös muilla pystytukipareilla.

Taulukko 5. Ankkurointivoimat tapauksittain.

Ankkuri A	Puristus (kN)	Veto (kN)
Tapaus 1.1	10,09	-16,98
Tapaus 3.1	12,43	-14,99
Tapaus 1.2	9,95	-14,63
Tapaus 3.2	12,30	-12,65
Ankkuri B		
Tapaus 1.1	4,90	-1,35
Tapaus 3.1	3,44	-2,43
Tapaus 1.2	4,05	-1,42
Tapaus 3.2	2,65	-2,43
Ankkuri C		
Tapaus 1.1	5,06	-2,02
Tapaus 3.1	2,68	-3,82
Tapaus 1.2	5,06	-1,42
Tapaus 3.2	2,68	-3,69

Taulukon 5 perusteella huomataan, että suurimmat ankkurointivoimat esiintyvät kohdassa 5.4.4 määritetyillä kuormayhdistelmillä. Tietomallin lopputuloksena saadaan ankkurointivoimat ankkureille A, B ja C, joiden perusteella ankkurointitarve voidaan määrittää. On kuitenkin syytä huomioida, että ankkurilla A vaikuttavat voimat esiintyvät telinerakenteen reunimmaisilla pystytukipareilla. Esimerkin kaltaisessa sääsuojauskohteessa päätyihin rakennetaan telinerunko, joka siirtää valtaosan reuna-ankkureille kohdistuvista voimista telineen perustuksille. Tietomallin perusteella puristusvoimat muissa pystytukipareissa ankkurin A kohdalla ovat noin puolet vähemmän ja vetovoimien osuus vieläkin pienempi. Ankkureiden B ja C ankkurointivoimat ovat kuitenkin samaa suuruusluokkaa niin reunoilla kuin keskelläkin.

7 Tulosten käsittely

Ankkurointivoimien laskentatulosten vertailun pohjana käytetään tietomallipohjaisen mitoituksen lopputuloksia. Vertailussa pyritään selvittämään, onko luvun 6 mukaisilla mitoitusmenetelmillä riittävää luotettavuutta esimerkkikohteiden kaltaisissa tapauksissa. Esimerkkitapaus on tyypillinen pitkän jännevälin sääsuojauskohde, mutta on kuitenkin huomioitava, että yhden esimerkin avulla ei voida luoda yhteneviä johtopäätöksiä.

Taulukossa 6 esitetään laskennassa saadut ankkurointivoimat eri menetelmillä. Taulukon perusteella mitoittamista täysin jäykkänä rakenteena, kuten myös kohdassa 6.2 todetaan, voidaan pitää epäluotettavana. Yksinkertaistetulla menetelmällä päästään varsinkin ankkurin B ja C voimissa hyvinkin lähelle tietomallipohjaisessa mitoituksessa saatuja arvoja. Myöskään tämän suuruusluokan ankkurointivoimissa ei tavallisesti esiinny toteutuksen puolesta ongelmaa. Ankkurin A kohdalla tulokset puolestaan poikkeavat selvästi tietomallipohjaisen mitoituksen arvoista. Voimien yhteenlaskettu summa on suuruusluokaltaan sama, mutta niiden jakautuminen puristukselle ja vedolle poikkeavat toisistaan. Voidaan siis todeta, ettei yksinkertaistetulla menetelmällä saavuteta riittävän luotettavaa lopputulosta ylimpien ankkurointivoimien jakautumisesta.

Käytännön kannalta yksinkertaistetulla menetelmällä saavutetaan esimerkkikohteessa riittävä varmuus, sillä kuten kohdassa 6.2 mainittiin, suurimmat ankkurointivoimat ankkurilla A esiintyvät ainoastaan reunimmaisilla pystytukipareilla. Kuitenkin tulosten poikkeavuus ei riitä osoittamaan mitoitusmenetelmän riittävää luotettavuutta, vaikkakin tässä esimerkissä tulokset jäisivätkin varmalle puolella. Kaiken lisäksi ankkurilla A esiintyvät ankkurointivoimat ovat suuruudeltaan haastavia tavalliselle seinäankkuroinnille, joten laskennallisesti ylimitoittaminen voi helposti aiheuttaa ylimääräisiä haasteita sekä kustannuksia toteutuksen kannalta.

Taulukko 6. Ankkurointivoimat eri mitoitusmenetelmillä.

Ankkuri A	Puristus (kN)	Veto (kN)
Tietomallipohjainen mitoitus	12,43	-16,98
Yksinkertaistettu menetelmä	16,71	-9,52
<i>Täysin jäykkä rakenne</i>	16,01	-36,68
Ankkuri B		
Tietomallipohjainen mitoitus	4,90	-2,43
Yksinkertaistettu menetelmä	3,71	-2,36
<i>Täysin jäykkä rakenne</i>	12,91	-16,92
Ankkuri C		
Tietomallipohjainen mitoitus	5,06	-3,82
Yksinkertaistettu menetelmä	5,56	-3,54
<i>Täysin jäykkä rakenne</i>	6,36	-7,74

Riittävän luotettavan ja yksinkertaisen ankkuroinnin mitoitusmenetelmän löytäminen on haastavaa. Telinerakennuskohteet ovat yksilöllisiä ja näin ollen valmiin laskentamallin käyttäminen toistuvasti on hyvin vaikeaa. Vaikkakin tietomallipohjainen mitoittaminen on aikaa vievää, sen hyödyt varsinkin haastavissa kohteissa ovat merkittävät. Luotettavien ankkurointivoimatarkastelujen lisäksi se mahdollistaa myös materiaalmäärien optimoinnin sekä muiden rakennelaskelmien toteutuksen. Toisaalta sääsuoja- ja telinesuunnittelun on oltava riittävän tehokasta ottaen huomioon, että pääasiallisesti kyseessä on tilapäisrakenne, johon tarvittavia muutoksia on esimerkiksi tilaajan pyynnöstä toteutettava nopeasti. Lisäksi on epätodennäköistä, että käytännön tasolla ideaalinen tietomalli pystytään toteuttamaan mittatarkasti ilman muutoksia esimerkiksi ankkuroinnin sijoituksen osalta. Tällöin yksinkertaisille ja varmallalla puolella oleville mitoitusmenetelmillä ankkurointivoimien laskemisen suhteen syntyy tarvetta.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli ankkuroinnin mitoituksen kehittäminen sekä erilaisten mitoitusmenetelmien luotettavuuden arviointi. Arviointi toteutettiin vertailemalla esimerkkitilanteen lähtötietojen perusteella laskettuja ankkurointivoimien arvoja eri mitoitusmenetelmillä. Ennen varsinaista ankkurointivoimien laskemista, työssä määriteltiin rakenteeseen vaikuttavia kuormia ja niiden kuormayhdistelmiä. Lisäksi kuormien määrittämisen yhteydessä analysoitiin erilaisten voimassa olevien standardien soveltuvuutta sääsuojatelineen mitoittamiseen.

Laskennalliseen lopputulokseen pääsemisen kannalta haastavaksi työn teki se, että väliaikaisen sääsuojauskohteen mitoittamiseen on vaikea soveltaa yksiselitteisesti vain yhtä standardia. RIL:n työtelineitä käsittelevä julkaisu ei ole täysin sovellettavissa sääsuojausrakentamiseen, eivätkä eurokoodiin perustuvat talonrakentamisen suunnittelun ohjeet ole kaikilta osin suoranaisesti sovellettavissa telinerakentamiseen.

Ankkurointivoimien mitoittaminen ja vertailun lopputulos vastasi suurinpiirtein odotettua vaikkakaan yksinkertaistetulla laskentamenetelmällä ei saavutettu riittävää tarkkuutta verrattuna tietomallipohjaiseen mitoitukseen. Tietomallipohjaisen mitoituksen menetelmä, tässä tapauksessa SCIA engineering -ohjelma, osoittautui kuitenkin suhteellisen helppokäyttöiseksi tavaksi selvittää telineen ankkurointivoimat rakennuskohteessa. SCIA engineering -ohjelmaa ja sen käyttöä voidaan pitää hyvänä lähtökohtana ankkurointivoimien tarkastamiseen ja mitoitusmenetelmien kehittämiseen.

Insinööriyössä asetetut tavoitteet saavutettiin kohtalaisesti ja niiden pohjalta tutkimus- ja vertailutyötä ankkurointivoimien mitoituksen kehittämisessä on syytä jatkaa. Mitoituksen kehittämisen osalta todettiin SCIA engineering -ohjelman olevan sopiva apuväline telinesuunnittelussa. Rakenteiden kuormien määrittämiseen löydettiin sääsuojausrakentamisen näkökulmasta soveltuvat ohjeet, joita noudattamalla saavutettiin luotettavat lopputulokset. Näitä ohjeita voidaan noudattaa ainakin siihen asti, kunnes eurooppalaisesta sääsuojastandardista julkaistaan lopullinen versio, mikäli yläpäättänsä julkaistaan.

Lähteet

- 1 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 142-2010 Työtelineet ja putoamisen estävät suojarakenteet. 2010.
- 2 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2011.
- 3 Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 1991-1-4 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. 2011.
- 4 Technical Committee CEN/TC 53. DRAFT prEN 16508:2012: E Temporary works equipment – Encapsulation constructions – Performance requirements and general design. 2012.
- 5 SFS-EN 12811-1. Temporary works equipment. Part 1: Scaffolds - Performance requirements and general design. 2004.