

Jätteenkuormauskatoksen teräsrakenteiden mitoitus

Ante Tolppanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Tolppanen Ante	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 26.04.2015
	Sivumäärä 92	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisu- lupa myönnetty: x
Työn nimi Jätteenkuormauskatoksen teräsrakenteiden mitoitus		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) Korpinen Jussi		
Toimeksiantaja(t) Ramboll Finland Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsitteli pohjaltaan 18 m x 18 m kokoisen ja noin 10 metriä korkean jätteenkuormauskatoksen teräsrungon mitoittamista. Osassa rakennusta teräsrunko alkoi 2,5 metriä korkeiden betoniseinien päältä ja osassa rakennusta lattiatasosta. Opinnäytetyö ei käsittele rakennuksen betonirakenteiden mitoitusta. Opinnäytetyön tehtävänä oli määrittellä kaikki rakennuksen rungolle tulevat kuormat ja mitoittaa runko niiden pohjalta. Työn tavoitteena oli saada aikaan luotettavat laskelmat rakennuksen teräsrungosta sekä perehtyä jonkin mitoitusohjelman toimintaan. Rungon mitoituksessa käytettiin Jigi mitoitusohjelmaa. Työ toteutettiin toimeksiantona Ramboll Finland Oy:lle.</p> <p>Ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin saatujen lähtötietojen pohjalta rakennuksen runkojärjestelmä ja rungon jäykistystapa. Kun rakennuksen runkojärjestelmä oli päätetty, määriteltiin rakennuksen rungon rakenneosille tulevat normienmukaiset tuuli- ja lumikuormat sekä rakennuksen lattiatasosta alkavalle rungon osalle mahdolliset törmäyksestä aiheutuvat onnettomuuskuormat.</p> <p>Kun rakenneosien kuormat olivat selvillä, mallinnettiin rakennuksen runko ja kuormat Jigi mitoitusohjelmaan johon luotiin myös tarvittavat kuormitusyhdistelmät ohjelman automaattisten kuormitusyhdistelmien lisäksi ja suoritettiin rakenteiden mitoitus.</p> <p>Työn lopputuloksena rakennuksen runko saatiin mitoittettua voimassaolevien määräysten mukaisesti siten että se kestää kaikki sille tulevat rasitukset kaikilla normien mukaisilla kuormitusyhdistelyillä. Rungon mitoituksen lisäksi opinnäytetyössä saatiin tietoa Jigin toimivuudesta kyseisen kaltaisten rakenteiden mitoituksessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) teräsrakenteet, mitoitus, runko, Jigi		
Muut tiedot		



Author(s) Tolppanen Ante	Type of publication Bachelor's thesis	Date 26.04.2015
		Language of publication:
	Number of pages 92	Permission for web publication: x
Title of publication Dimensioning of steel structures for waste loading shelter		
Degree programme Civil Engineering		
Tutor(s) Korpinen Jussi		
Assigned by Ramboll Finland Oy		
<p>Abstract</p> <p>The thesis discusses the dimensioning of the steel frame for a waste loading shelter. The area of the shelter was 18 m x 18 m and the height about 10 meters. In some parts the steel frame began above a 2.5 meters high concrete wall and in some parts it began from the floor level. The thesis does not deal with the concrete part of the building. The assignment of this thesis was to- identify all the loads for the buildings steel frame and to measure the frame. The aim of the study was to provide reliable calculations of the steel frame and become familiar with one of the dimensioning programs. The dimensioning of the frame was carried out using Jigi dimensioning program. The thesis was assigned by Ramboll Finland Ltd.</p> <p>At first the building's frame and stiffening system were decided based on the initial data. After deciding the frame system, all the wind, snow and accident loads were defined for each component of the frame.</p> <p>When all loads for each component were calculated, the frame and loads were modeled in the Jigi dimensioning program with all necessary additional load combinations along the program's own automatic load combinations. When the model was ready the calculation was performed.</p> <p>As a result the building's steel frame was dimensioned using valid regulations in a way that it can bear all the loads with all possible load combinations. In addition to that, the thesis- gives information about Jigi's suitability for dimensioning that kind of structures.</p>		
Keywords/tags (subjects) steel structures, dimensioning, frame, Jigi		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Työn lähtökohdat.....	4
2	Rakennushankkeen kuvaus	7
3	Runkojärjestelmä ja rungon jäykistys	9
4	Rajatilamitoitus	10
5	Kuormat.....	14
	5.1 Yleistä	14
	5.2 Lumi	14
	5.3 Tuuli.....	17
	5.4 Törmäyskuormat	27
6	Mitoitus.....	28
	6.1 Teräsrakenteet.....	28
	6.2 Jigi	39
	6.3 Rakenteiden kuormat.....	39
	6.4 Poimulevy	43
	6.5 Rungon mitoitus.....	44
7	Yhteenvedo ja pohdinta	53
	Lähteet.....	54
	Liitteet	56
	Liite 1. Rakennuksen runko mallinnettuna Jigissä.....	56
	Liite 2. Rakennelaskelmien yhteenvedoraportti Jigi- mitoitushjelmasta.....	57
	Liite 3. Yksinkertainen mitoitusraportti pilarin onnettomuusmitoituksesta.....	66
	Liite 4. Kattava mitoitusraportti palkin mitoituksesta.....	68
	Liite 5. Teräsrungon runkokaaviot.....	86

Kuviot

Kuvio 1. Rakennuksen pohjapiirustus.....	5
Kuvio 2. Rakennuksen julkisivu sivulta.....	5
Kuvio 3. Rakennuksen julkisivu edestä.....	6
Kuvio 4. Havainnekuva rakennuksen rungosta.....	6
Kuvio 5. Lumikuorman muotokerroin.....	15
Kuvio 6. Lumikuorma ominaisarvo S_k maassa.....	16
Kuvio 7. Pulttikaton, harjakaton ja sahakaton lumikuorman kuormituskaavio.....	17
Kuvio 8. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$	20
Kuvio 9. Tuulenpaineen vyöhykekaavio pystysuorille seinille.....	21
Kuvio 10. Pintoihin vaikuttavat paineet.....	23
Kuvio 11. Tehollisen hoikkuuden määrittäminen suorakulmaisen poikkileikkauksen omaaville rakennuksille.....	24
Kuvio 12. Esimerkki pulttikattoisen rakennuksen sisäpuolisista paineista eri tuulen suunnilla.....	26
Kuvio 13. Erillisten seinämien vyöhykejako.....	26
Kuvio 14. Törmäyskuormat kantaviin rakenteisiin.....	28
Kuvio 15. Poikkileikkausluokan määrittäminen.....	30
Kuvio 16. Rakennuksen sisäiset painekertoimet ja ulkoisen paineen suunnat eri tuulen suunnille.....	41
Kuvio 17. Poimulevyn jatkokset.....	43
Kuvio 18. Poimulevyn käyttöasteet.....	44
Kuvio 19. Yläpohjan oman painon kuormat yläpohjapalkeille.....	45
Kuvio 20. Lumikuorman kuormat yläpohjapalkeille.....	45
Kuvio 21. Tuulikuormat pilareille (kN/m) eri tuulensuunnilla ovien ollessa kiinni.....	46
Kuvio 22. Tuulikuormat pilareille (kN/m) eri tuulensuunnilla ovien ollessa auki.....	46
Kuvio 23. Tuulikuormat seinämän pilareille.....	47
Kuvio 24. Teräsrunko mallinnettuna jigissä.....	47
Kuvio 25. Automaattiset kuormitustapaukset ja yhdistelykertoimet jigissä.....	48

Kuvio 26. Kaikkien kuormitustapausten kuormat lisättynä malliin.....	49
Kuvio 27. Onnettomuustilanteen manuaaliset kuormitusyhdistelyt.....	52

Taulukot

Taulukko 1. Seuraamusluokkien määrittely.....	11
Taulukko 2. Yhdistelykertoimien ψ suositusarvot rakennuksille.....	13
Taulukko 3. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa tasaisessa maastossa.....	20
Taulukko 4. Ulkopuolisen paineen kertoimet rakennusten pystysuurille seinille.....	21
Taulukko 5. Voimakerroin c_f	24
Taulukko 6. Sisäisen paineen kertoimet rakennuksille joissa avoimia sivuja.....	25
Taulukko 7. Erillisten seinämien nettopainekertoimet.....	27
Taulukko 8. Taipumien ja siirtymien raja-arvot.....	35
Taulukko 9. Epätarkkuustekijät.....	37
Taulukko 10. Nurjahduskäyrän valinta.....	37
Taulukko 11. Teoreettisia nurjahduspituuksia L_{cr}	38
Taulukko 12. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet on kiinni....	41
Taulukko 13. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli ovien suunnasta.....	41
Taulukko 14. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli rakennuksen sivulta.....	42
Taulukko 15. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli rakennuksen takaa.....	42
Taulukko 16. Seinämän tuulikuormat eri vyöhykkeissä.....	43
Taulukko 17. Taipumien ja siirtymien suositellut raja-arvot teräsrakenteille.....	50

1 Työn lähtökohdat

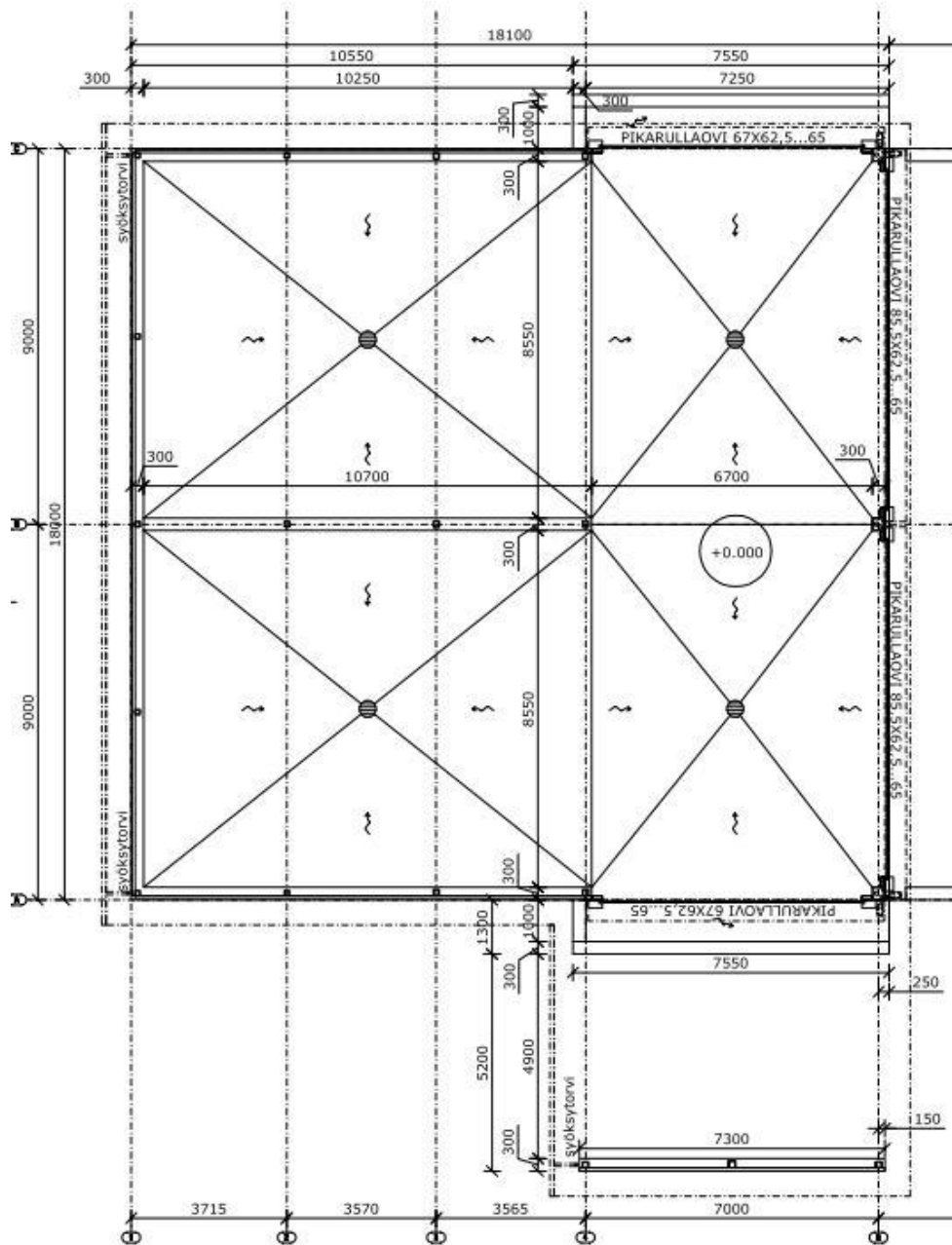
Opinnäytetyössä tarkastellaan jätteenkuormauskatoksen teräsrungon eurokoodien mukaista mitoittamista. Aiheen sain Ramboll Finland Oy:ltä. Aihe osoittautui mielenkiintoiseksi useista erilaisista rakennukseen kohdistuvista kuormituksista johtuen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä teräsrakenteiden eurokoodien mukaiseen mitoittamiseen. Työssä määriteltiin teräsrungolle tulevat tuuli-, lumi- ja onnettomuuskuormat sekä mitoitetiin jätteenkuormauskatoksen rungon teräsrakenteet. Teräsrakenteiden mitoitus oli tarkoitus suorittaa Jigi mitoitusohjelmalla.

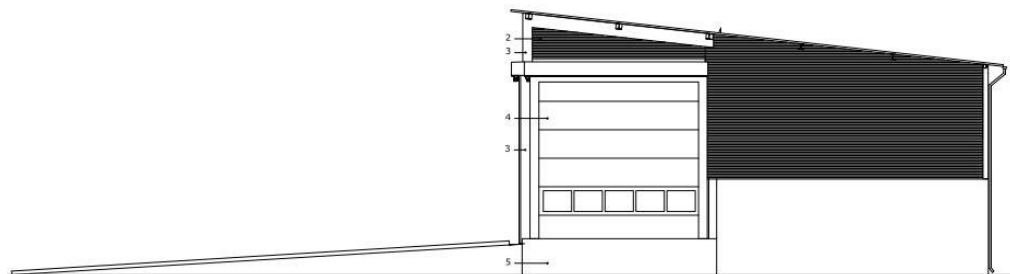
Toimeksianto oli suunnitella jätteenkuormauskatos. Suunnittelu piti sisällään sekä arkkitehti- että rakennesuunnittelun. Lähtötietoina saatiin karkea hahmotelma, jossa oli rakennuksen pohjan päämitat sekä leikkaus, jossa oli määritelty rakennuksen korkeus ja lattiankorko suhteessa ympäröivää maanpintaan sekä betonirungon minimikorkeus.

Rakennuksen suunnittelussa piti myös ottaa huomioon rakennuksessa tapahtuva pyöräkuormaajalla ja kuorma-autolla liikkuminen ja niillä mahdollisesti rakenteisiin aiheutuva kolhiminen. Siilorakenteiden betoniseinien osalta huomioon piti ottaa myös niissä varastoitavan jätteen paino sekä jätteen kuormaamisesta aiheutuva paine seinään. Opinnäytetyössä on keskitytty kuitenkin vain rakennuksen rungon teräsrakenteiden mitoittamiseen.

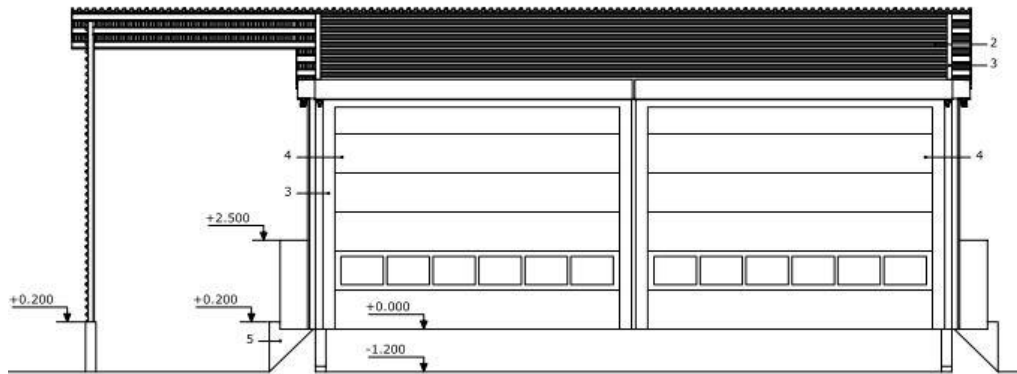
Katoksen ulkomitoiksi oli määritelty 18 m x 18 m. Katokseen tuli kaksi 9 m x 11 m kokoista siiloa, joihin tuli 2,5 m korkeat betoniseinät. Siilojen eteen tuli 7 m pitkä, koko rakennuksen levyinen pyöräkuormaajan työskentelyalue sekä las-tauslaiturit molemmille sivuille. Katoksen lattiapinta oli määritelty 1,2 m ympäröivän maanpinnan yläpuolelle. (Ks. Kuviot 1 - 3) Katokseen johtaa 19,8 m pitkä ajoluiska, jolloin luiskan kaltevuudeksi tulee n. 8 %.



Kuvio 1. Rakennuksen pohjapiirustus

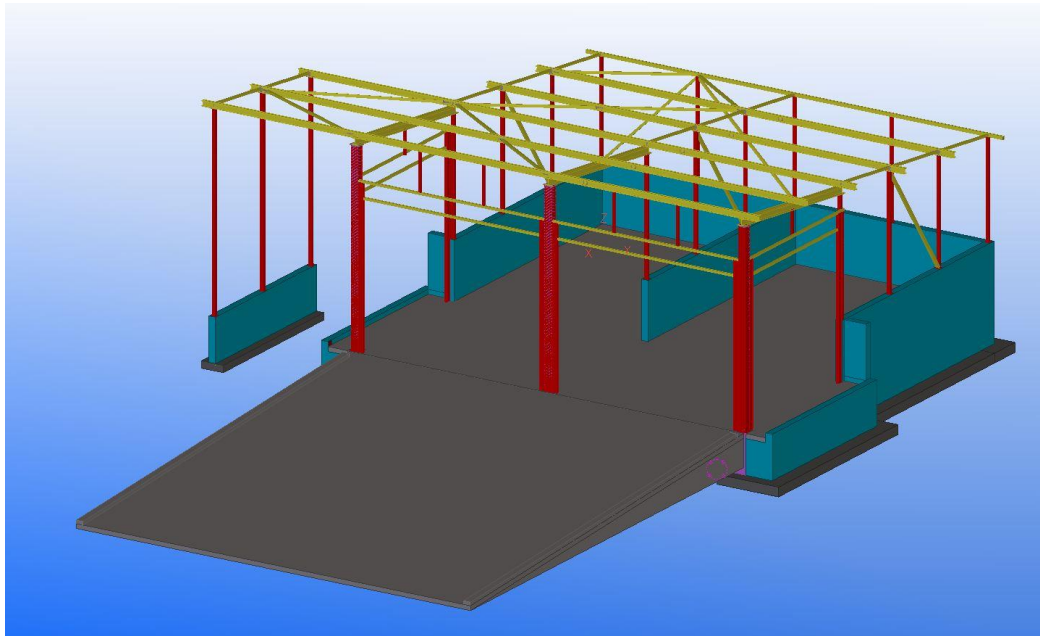


Kuvio 2. Rakennuksen julkisivu sivulta



Kuvio 3. Rakennuksen julkisivu edestä

Rakennuksen korkeudeksi lattiapinnasta oli alun perin määritelty 8 m mutta rakennusta jouduttiin korottamaan 70 cm suunnittelun edetessä, jotta halutunlaiset 6,25...6,5m korkeat nosto-ovet saatiin mahtumaan rakennuksen sivuille. Työn edetessä rakennuksen toisen puolen lastauslaiturille lisättiin katos ja mitoituksessa huomioitiin mahdollisuus lisätä katos myös toiselle puolelle. Kuviossa 4 on esitetty havainne kuva rakennuksen rungosta, teräsrunko mitoitettiin Jigi 2014 -ohjelmalla, ohjelmasta oli käytössä versio 3.7.



Kuvio 4. Havainnekuva rakennuksen rungosta

2 Rakennushankkeen kuvaus

Rakennushanke alkaa kun tila päätetään hankkia rakentamalla ja loppuu kun valmis tila otetaan käyttöön. Rakennushanke jaetaan useampaan osaan, joita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. Rakennushankkeen osapuolina ovat käyttäjä, rakennuttaja, suunnittelijat, rakentaja ja viranomaiset. Rakennushankkeessa sama taho voi edustaa yhtä aikaa useampaa osapuolta, esimerkiksi hankkeen käyttäjä voi toimia rakennuttajana. (RT 10-11128.)

Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushanke alkaa tarveselvityksellä. Tarveselvitys on vaihe jossa perustellaan rakentamisen tarve sekä arvioidaan eri ratkaisujen edullisuutta. Tarveselvitysvaiheessa määritellään myös vaatimukset tulevalle rakennukselle. Mikäli tarveselvitysvaiheessa päätetään jatkaa eteenpäin, syntyy hankepäätös ja siirrytään hankesuunnitteluvaiheeseen. Tarveselvityksen tekee käyttäjä, joka voi tarvittaessa käyttää apunaan rakennuttajaa arvioimaan hankkeen toteutusedellytyksiä sekä suunnittelijoita tilalle asetettavien vaatimusten arvioimiseen. (RT 10-10387.)

Hankesuunnitteluvaiheessa tarkoituksena on tarkentaa tarveselvitysvaiheen tietoja hankkeeseen liittyen. Tarkennettavia asioita ovat muun muassa rakennuksen laajuus, laatu, rakentamisen ajankohta ja näiden perusteella tarkentuvat kustannukset. Hankesuunnitteluvaiheessa syntyy hankesuunnitelma, tehdään mahdollinen investointipäätös ja siirrytään rakennussuunnitteluvaiheeseen. Hankesuunnitteluvaiheeseen osallistuu käyttäjä sekä rakennuttaja, joka hoitaa hankkeen organisointia. Arkkitehti olisi hyvä valita hankkeeseen jo hankesuunnitteluvaiheessa, myös eri alojen suunnittelijoiden osallistuminen voi olla tarpeellista. (RT 10-110387.)

Rakennussuunnitteluvaiheen alussa valitaan hankkeen suunnittelijat, mikäli niitä ei ole valittu jo hankesuunnitteluvaiheessa. Rakennussuunnitteluvaiheeseen kuuluu ensimmäisenä ehdotussuunnitteluvaihe, missä tarkoituksena on vertailla erilaisia perustoteutusratkaisuja ja valita perusratkaisut joilla saavutetaan hank-

keelle asetetut tavoitteet. Kun perusratkaisut on saatu valittua, siirrytään luonnosuunnitteluvaiheeseen jossa tarkemmin esitetään rakennuksen yleisratkaisut sekä sijoittuminen tontille. Luonnosvaiheessa määritellään myös rakennuksen vaatimat tekniset lisävaraukset sekä rakennejärjestelmän periaateratkaisut. Luonnosvaiheen jälkeen siirrytään tuottamaan lopullisia työpiirustuksia. Suunnitteluvaiheessa käyttäjä hyväksyy suunnitelmat omalta osaltaan, rakennuttaja huolehtii tarvittavien lupien ja tietojen hankkimisesta, seuraa suunnittelun etenemistä, valvoo suunnittelutavoitteiden toteutumisesta ja valmistele rakennusvaihetta. Suunnittelijat tuottavat asiakirjat joiden avulla rakennus voidaan toteuttaa. Viranomaisen tehtävä on tässä vaiheessa varmistaa suunnitelmien sääntösten ja määräysten mukaisuus. (RT 10-110387.)

Rakennusvaiheessa hankkeeseen osallistuvien tahojen määrä on suurimmillaan. Rakennusvaiheessa käyttäjä valmistele rakennuksen käyttöönottoa ja seuraa rakennushankkeen etenemistä haluamallaan tarkkuudella. Rakennuttaja koordinoi hankkeen etenemistä. Suunnittelijat täydentävät suunnitelmiaan sekä valvovat osaltaan toteutuksen suunnitelmien mukaisuutta. Rakentaja huolehtii osaltaan rakennuksen toteutuksesta sopimusten mukaisesti. Viranomaiset eli rakennusvalvonta hyväksyy vastaavan työnjohtajan sekä suorittaa tarvittavat katselmuksot työmaalla. (RT 10-110387.)

Käyttöönottovaiheessa rakennus siirtyy käyttäjän haltuun. Käyttöönottovaiheessa käyttäjän tehtävä on ilmoittaa havaitsemistaan korjaustarpeista, rakennuttaja valmistele siirtymisen rakentamisvaiheesta käyttöönottovaiheeseen. Suunnittelijat vastaavat siitä että rakennuksen käyttöohjeet tulevat käyttäjien tietoon, lisäksi rakentaja vastaa takuuajana ilmenneistä puutteista ja virheistä. (RT 10-110387.)

Rakennesuunnittelijan rooli rakennushankkeessa

Rakennesuunnittelijan tehtävät rakennushankkeessa painottuvat suunnitteluvaiheeseen. Rakennesuunnittelijan tehtävät määräytyvät suunnittelutoimeksianton mukaisesti. Rakennesuunnitteluun tyypillisesti kuuluvia tehtäviä ovat rakenteiden mitoittaminen, perustusten ja rungon suunnittelu sekä rakennuksen rakennusteknisestä toimivuudesta huolehtiminen.

Rakennesuunnittelijan tehtäviin kuuluu tuottaa sellaiset suunnitelmat joilla rakennuksen toteuttaminen on mahdollista. Rakennesuunnittelijan tyypillisesti tuottamia piirustuksia ovat muun muassa perustus- ja salaojapiirustus, tarvittavat taso- ja leikkauspiirustukset rakenteista sekä detaljit rakenneyksityiskohdista. Muta tyypillisiä rakennesuunnittelijan laatimia piirustuksia ovat valmisosien tuotantosuunnitelmat. Piirustusten lisäksi rakennesuunnittelija tuottaa työselityksen rakenteiden osalta sekä osallistuu rakenteiden kannalta oleellisiin katselmuksiin työmaalla.

3 Runkojärjestelmä ja rungon jäykistys

Rakennuksen rungon alaosa on siilojen kohdalla 2,5 metrin korkeudelle lattiasta teräsbetonia, joka toimii samalla yläpuolisen teräsrungon perustuksena. Rakennuksen etureunan kolme teräspilaria nousevat lattiatasosta ylöspäin.

Betonirunko

Teräsbetonirungon on kestettävä siiloissa varastoitavan jätteen paino, jätteen kuormaaminen pyöräkuormaajalla, mahdolliset törmäyskuormat sekä yläpuolisten rakenteiden kuormat. Rakennuksen lattiapinta on 1,2 m ympäröivää maanpintaa ylempänä, joten ulkopuolisesta maanpaineesta ei saada tukea seinille törmäyskuormia vastaan. Tästä johtuen lattialaatta on sidottu jäykästi betoniseiniin sekä etureunan pilareiden peruspilareihin, millä on saatu huomattavasti pienennettyä perustuksille tulevia kuormia ja siten pienennettyä perustuksia.

Teräsrunko

Betoniseiniä päällä teräsrunko on korkeudeltaan n. 4,5 m ... 5,5 m sekä etureunassa lattiapinnasta ylöspäin n. 9 m. Runko on toteutettu pilari-palkkirakenteella ja jäykistys on toteutettu ristikköjäykistykseenä. Etureunan pilareiden on kestettävä mahdolliset kuorma-auton ja pyöräkuormaajan törmäykset. Etureunan teräspilareissa on betonitäyttö estämässä pilarin lommahdusta mahdollisissa törmäyksissä.

Teräsrunгон liitokset betoniseinän päälle ja peruspilareihin toteutetaan sbkl- ja jpl- tartuntalevyillä sekä hitsiliitoksilla. Suurin osa muista rungon liitoksista toteutetaan pultiliitoksin.

4 Rajatilamitoitus

Rajatilamitoituksessa kaikki rakenteelle merkitykselliset murto- ja käyttörajatilat tulee tarkistaa. Murto- ja käyttörajatilat tulee käsitellä erikseen, eikä mikään rajatila saa ylittyä. Kaikkia tarkasteluja varten on valittava sopivat kuormitustapaukset selvittämällä yhteensopivat kuormituskaaviot, siirtymätilat ja epätarkkuudet, jotka otetaan huomioon samanaikaisesti muuttuvien ja kiinteiden kuormien kanssa. (RIL 201-1-2011.)

Mitoitustilanteita valitessa otetaan huomioon rakenteen toimintaolosuhteet. Mitoitustilanteita voivat olla normaalisti vallitseva tilanne, joka koskee normaalia käytönaikaista tilannetta, tilapäiset mitoitustilanteet kuten toteutuksen ja korjaamisen aikaiset tilanteet, onnettomuustilanteet, esimerkiksi törmäys, tulipalo tai räjähdys. (RIL 201-1-2011, 27.)

Murto-rajatila

Murto-rajatilat liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteen varmuuteen, joskus myös aineen tai tavaran suojaamiseen. Murto-rajatiloiksi luokitellaan väsymisen aiheuttama vaurioituminen, rakenteen murtuminen, vaurioituminen tai tasapainon menetys. Tarkasteltavia murto-rajatiloja ovat jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys, liian suuri siirtymätila, rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi, katkeaminen, rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetys sekä ajasta riippuva vaurioituminen. (RIL 201-1-2011.)

Käyttö-rajatila

Käyttö-rajatilat liittyvät rakenteen tai rakenneosan toimintaan normaalissa käyttötilanteessa ja vaikuttavat siten esimerkiksi ulkonäköön ja viihtyvyyteen. Käyt-

törajatilassa tarkasteltavia asioita ovat siirtymät, värähtelyt ja mahdolliset ulkoonäköön, säilyvyyteen ja teknisten järjestelmien toimintaan vaikuttavat vauriot. Palautuva ja palautumaton käyttörajatila tulee käsitellä erikseen. (RIL 201-1-2011.)

Kuormien yhdistely

Jokaisessa määräävässä kuormitustapauksessa tulee kuormien vaikutusten mitoitusarvot (E_d) määrittää sellaisten kuormien arvot, joiden katsotaan esiintyvän samanaikaisesti. Jokaisessa kuormitusyhdistelmässä tulee olla määräävä muuttuva kuorma tai onnettomuuskuorma. (SFS EN 1990.) Rakennuksen seuraamusluokka CC määrää kuormakertoimen K_{FI} . Seuraamusluokat on jaettu kolmeen eri luokkaan seuraamusten vakavuuden mukaan (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Seuraamusluokkien määrittely (RIL 201-1-2011, 52)

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

Murtorajatilan kuormitusyhdistely yleisessä muodossaan on kaavan 1 mukainen.

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,j} \quad (1)$$

Kuitenkin vähintään

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (2)$$

jossa

$G_{k,j}$	on pysyvät kuormat (epäedullisen tai edullisen vaikutuksen antava)
$Q_{k,1}$	on määräävä muuttuva kuorma
$Q_{k,j}$	on muut muuttuvat kuormat
ψ	on yhdistelykerroin (taulukko 2)
γ_P	on osavarmuuskerroin esijännitysvoimalle
P	on esijännitysvoima (RIL 201-1-2011.)

Taulukossa 2 on esitetty kansallisen liitteen mukaiset suositusarvot rakennusten kuormien yhdistelykertoimelle ψ .

Taulukko 2. Yhdistelykertoimien ψ suositusarvot rakennuksille (NA SFS EN 1990)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)*) kun $s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma **)	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

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

Onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmä, kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on lumi, jää- tai tuulikuorma saadaan kaavasta 3.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

Pääasiallisen kuorman ($Q_{k,1}$) ollessa muu kuin lumi- jää- tai tuulikuorma saadaan onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmä kaavasta 4.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{2,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

Kaavoissa yhdistetään epäedullisen kuorman muuttuvat arvot, edullisen kuorman muuttuvat arvot, esijännitysvoiman edustava arvo, onnettomuuskuorma, määräävän muuttuvan kuorman yhdistelyarvot sekä muiden samaan aikaan vaikuttavien kuormien yhdistelyarvot. (RIL 201-1-2011, 39)

Käyttörajaatilassa tulee osoittaa, että $E_d \leq C_d$

jossa

E_d on käyttökelpoisuuskriteereissä määriteltyjen kuormien vaikutusten mitoitussarvo, joka määräytyy asianomaisten kuormien perusteella.

C_d on asianmukaisten käyttökelpoisuuskriteerien mukainen rajoittava mitoitussarvo. (RIL 201-1-2011.)

5 Kuormat

5.1 Yleistä

Kuormat luokitellaan niiden ajallisen vaihtelun mukaan. Kuormat voivat olla joko pysyviä G, muuttuvia Q tai onnettomuuskuormia A. Esimerkkejä pysyvistä kuormista ovat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omat painot sekä epätasaisesta painumisesta sekä kutistumisesta aiheutuvat välilliset kuormat. Muuttuviksi kuormiksi luokitellaan esimerkiksi tuuli, lumi ja hyötykuormat. Esimerkkejä onnettomuuskuormista ovat ajoneuvojen törmäykset ja räjähdykset. (RIL 201-1-2011, 29.)

5.2 Lumi

Kattojen lumikuorma määritellään maassa olevan lumikuorman ominaisarvojen perusteella. Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo puolestaan perustuu keskimäärin kerran 50 vuodessa toteutuvaan lumikuormaan.

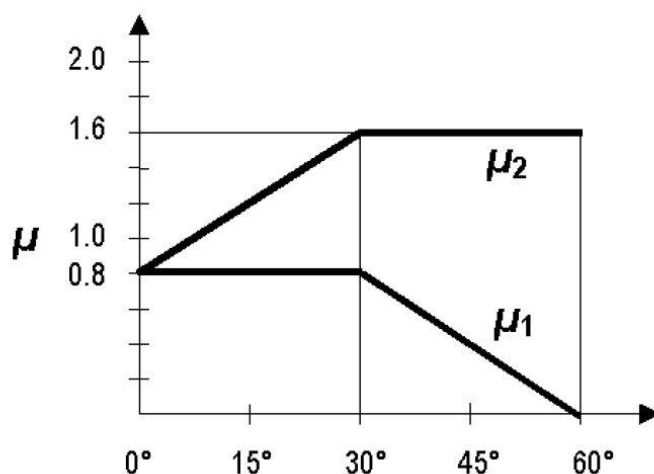
Katon lumikuorman mitoituksessa tulee ottaa huomioon sekä kinostumattoman että kinostuneen lumen aiheuttamat kuormakaaviot. Katon lumikuorma s määritellään kaavalla 5. (RIL 201-1-2011.)

$$s = \mu_i C_e C_t S_k \quad (5)$$

jossa

μ_i	on lumikuorman muotokerroin
C_e	on tuulensuojaiskerroin
C_t	on lämpökerroin
s_k	on maassa olevan lumikuorman ominaisarvo

Lumikuorman muotokerroin saadaan kuviosta 5, jossa μ_1 on kinostumattoman lumen muotokerroin ja μ_2 kinostuneen lumen muotokerroin. Arvot ovat voimassa pulpetti- harja- ja sahakatoille, kun lunta ei estetä liukumasta katolta. Jos lumen liukuminen on estetty alaräystäällä, on käytettävä vähintään arvoa 0,8. (RIL 201-1-2011.)

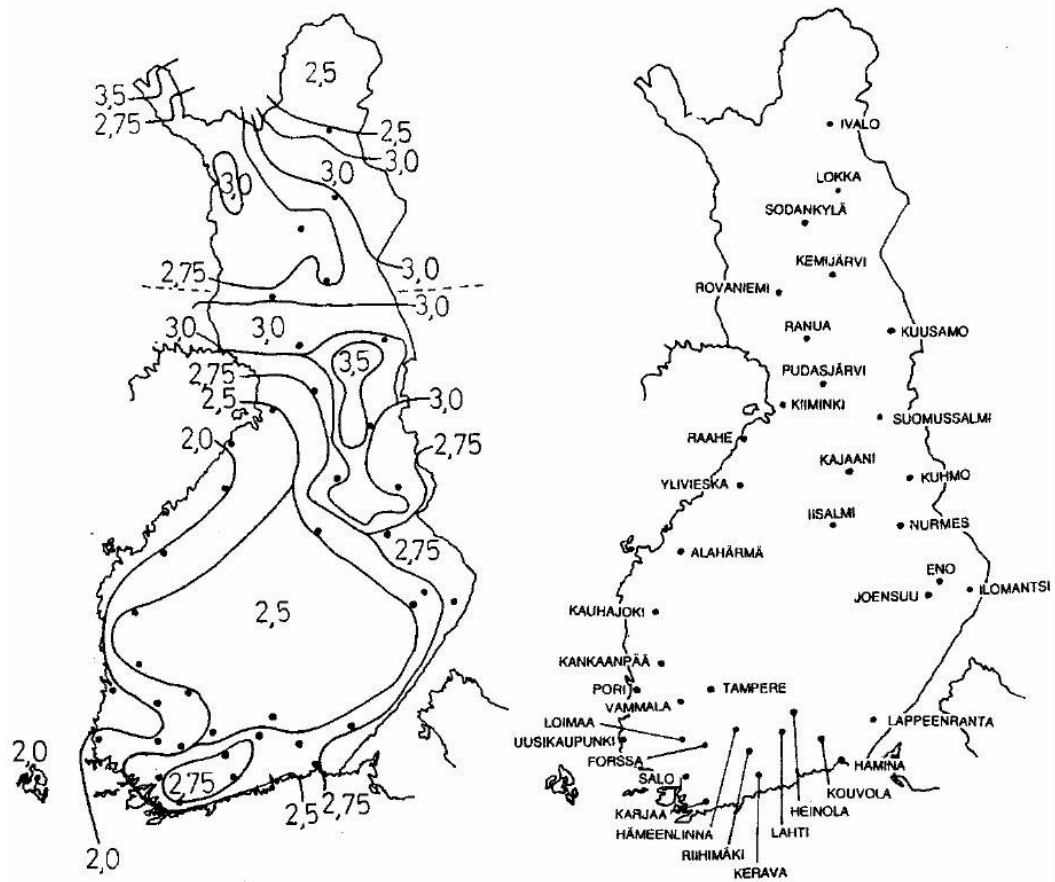


Kuvio 5. Lumikuorman muotokerroin (RIL 201-1-2011, 95)

Tuulensuojaiskerroimen arvo C_e on joko 1,0 tai 0,8. Arvoa 0,8 voidaan käyttää, mikäli maasto on avointa joka puolelle eikä maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut suojaa tai suojaavat vain vähän kattoa. Katon lyhyempi sivumitta saa kuitenkin olla korkeintaan 50 m. Muissa tapauksissa käytetään C_e :lle arvoa 1,0. (RIL 201-1-201, 94.)

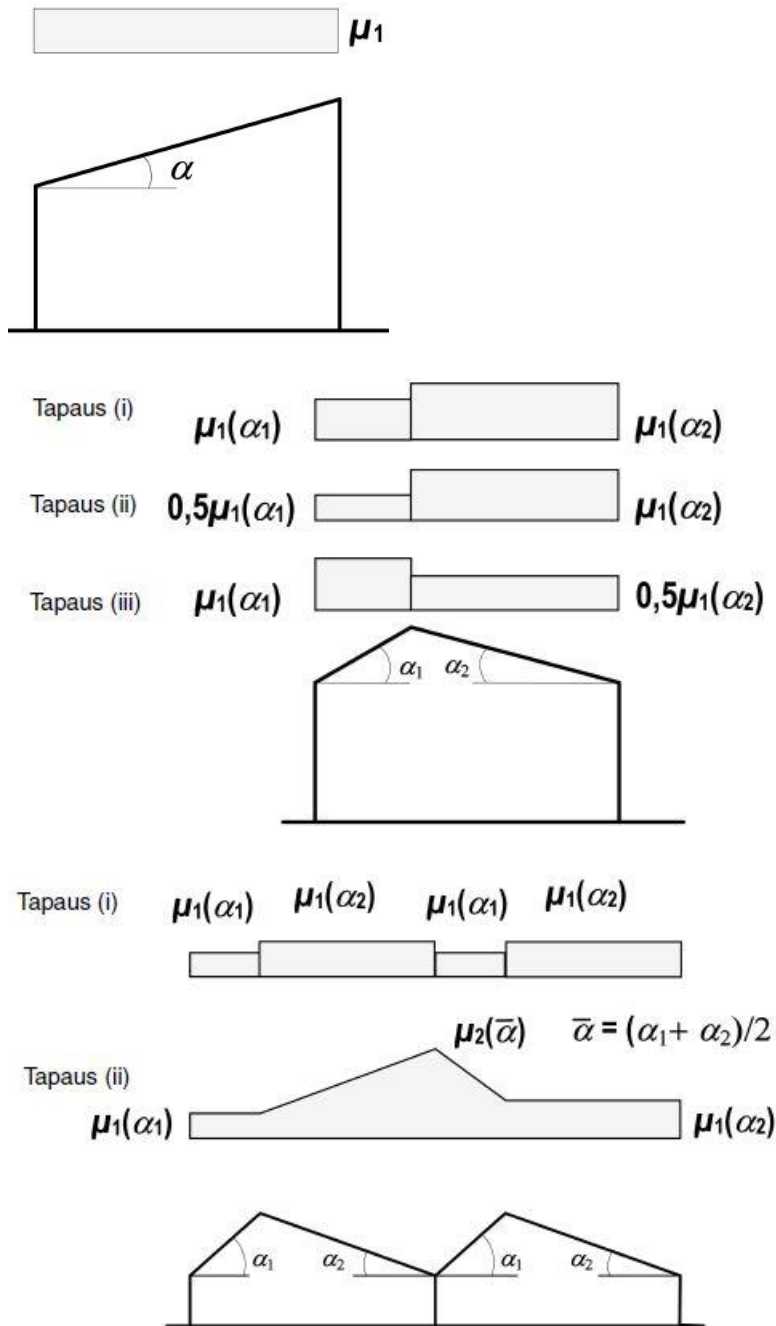
Lämpökertoimelle C_t käytetään tavallisesti arvoa 1,0. Jos kattorakenteen lämmöneristys on vähäinen, voidaan tarkempaan selvitykseen perustuen käyttää pienempää arvoa. Lumikuormana on kuitenkin käytettävä vähintään arvoa 0,5 kN/m². (RIL 201-1-201, 94.)

Maanpinnalla esiintyvän lumikuorman ominaisarvo S_k eri paikkakunnilla saadaan kuviosta 6.



Kuvio 6. Lumikuorma ominaisarvo S_k maassa (RIL 201-1-2011, 92)

Kuviossa 7 on esitetty kuormituskaaviot yleisimmille kattomuodoille.



Kuvio 7. Pulpettikaton, harjakaton ja sahakatonlumikuorman kuormituskaaviot (RIL 201-1-2011, 96)

5.3 Tuuli

Tuulikuormat ovat muuttuvia kuormia, jotka aiheuttavat painetta umpinaisten rakenteiden ulkopintoihin sekä välillisesti myös sisäpintoihin. Tuulikuormat voivat vaikuttaa myös suoraan avointen rakenteiden sisäpintaan. Tuulikuorman vai-

kuttaessa pinnan alueisiin se aiheuttaa rakenteisiin tai yksittäisiin verhousosiin pintaa vastaan kohtisuoria voimia. Suurien rakenneosien kyseessä ollessa myös kitkavoimat voivat olla merkittäviä. (RIL 201-1-2011.)

Maastoluokan valinta

Rakennusta ympäröivän maaston rosoisuus vaikuttaa tuulen voimakkuuteen. Eurokoodeissa maasto-olosuhteet jaetaan rosoisuuden mukaan viiteen eri luokkaan. Maastoluokat ovat sileimmästä karkeimpaan 0-IV. (RIL 201-1-2011.)

RIL 201-1-2011 mukainen maastoluokkien jaottelu on seuraavanlainen:

Maastoluokka 0

Maastoluokkaan 0 kuuluu meri ja avoimen meren rannalla olevat rannikkoalueet.

Maastoluokka I

Maastoluokkaan I kuuluvat järvet ja alueet joilla on vain vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.

Maastoluokka II

Maastoluokkaan II kuuluvat alueet joilla on matalaa kasvillisuutta kuten heinää tai ruohoa erillisiä esteitä kuten puita tai rakennuksia, jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan.

Maastoluokka III

Maastoluokkaan III kuuluvat alueet joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisistaan. Tähän maastoluokkaan kuuluvat yleensä kylät, esikaupunkialueet ja pysyvä metsä.

Maastoluokka IV

Maastoluokkaan IV kuuluvat alueet, joiden alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15m.

Tuulikuorman määrittäminen aloitetaan valitsemalla rakennuksen sijainnin mukaan sopiva maastoluokka edellä luetellun jaottelun mukaisesti.

Pinnanmuodon vaikutus

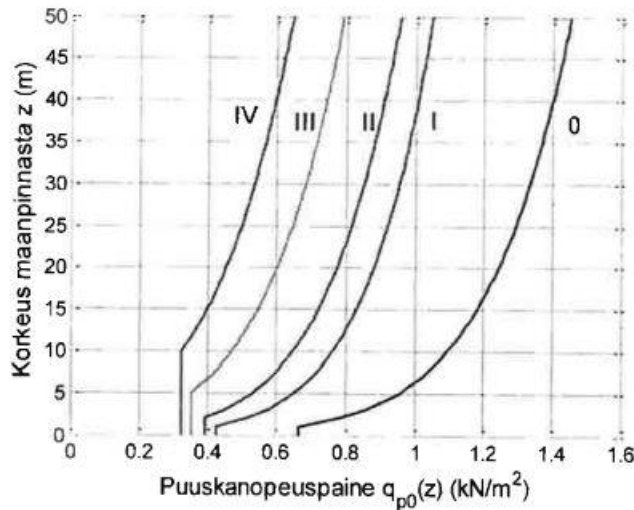
Kun oikea maastoluokka on valittu, tarkistetaan pinnanmuodon vaikutus tuulen nopeuspaineeseen. Maastoluokittelussa ei oteta huomioon yksitöisten mäkien tai harjanteiden vaikutusta tuulen nopeuspaineeseen, joten niiden vaikutus on otettava huomioon erillisellä mäen tai harjanteen kaltevuudesta ja rakennuspaikasta riippuvalla kertoimella. Korjauskerroin on huomioitava, mikäli maaston kaltevuus ylittää arvon 0,05. (RIL 201-1-2011, 129.)

Mikäli rakennuspaikan ympärillä olevan maaston kaltevuus ei ylitä asetettua raja-arvoa, voidaan tuulikuorman määrittämisessä siirtyä tuulen nopeuspaineen määrittämiseen. Pinnanmuodon vaikutuksen määrittämiseen on esitetty RIL 201-1-2011- julkaisussa varmallalla puolella oleva yksinkertaistus ja standardissa SFS-EN 1991-1-4 tarkempi menetelmä.

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo

Tuulen puuskanopeuspaine eli nopeuspaine perustuu tuulennopeuden modifioimattomaan perusarvoon 21 m/s. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ on lähtökohtana tuulikuorman laskemiselle. Nopeuspaineen arvoon vaikuttaa rakennuksen maastoluokka sekä rakennuksen korkeus.

Pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten seinillä, joiden korkeus on pienempi kuin sivumitta, katsotaan vallitsevan sama tuulenpaine koko seinän korkeudella. Korkeammat rakennukset käsitellään korkeuden mukaan kahdessa tai useammassa osassa. Nopeuspaineen arvo määritellään kuviosta 8 tai taulukosta 3. Mikäli rakennuksen tai rakenteen suunnittelu käyttöikä on yli 50 vuotta, se on otettava huomioon erillisellä kertoimella. (RIL 201-1-2011.)



Kuvio 8. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ (RIL 201-1-2011, 132)

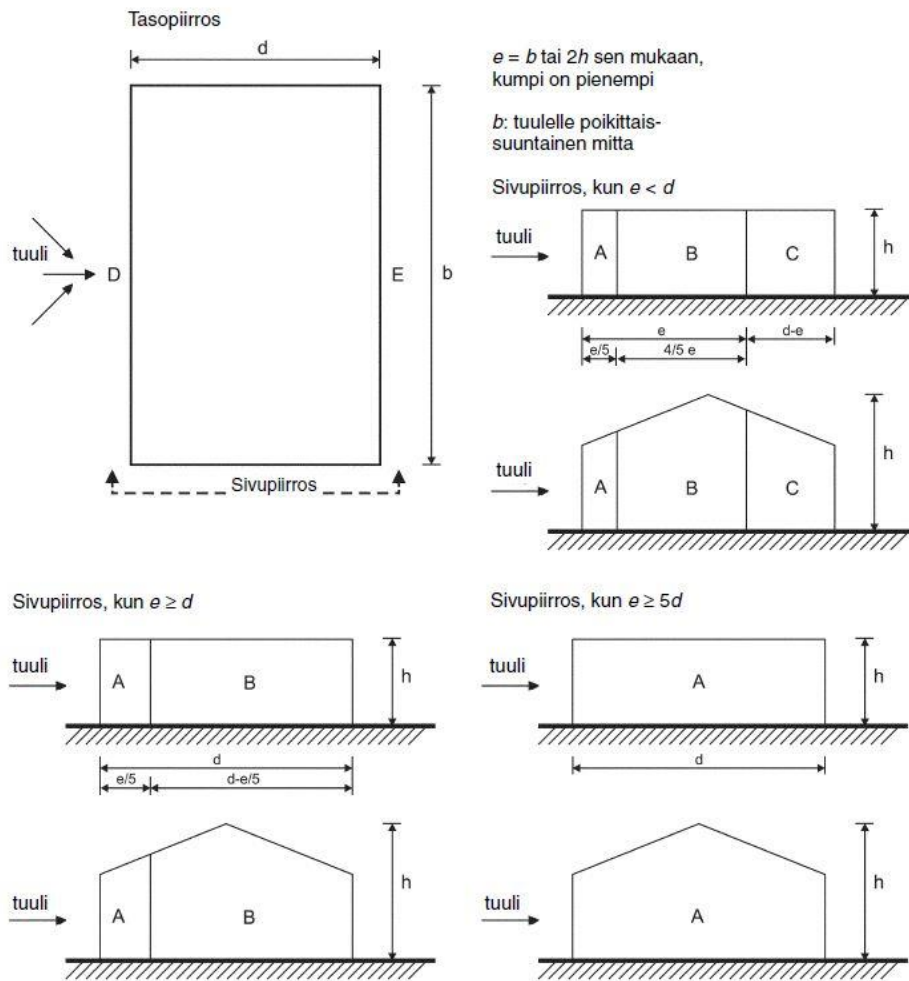
Taulukko 3. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa tasaisessa maastossa. (RIL 201-1-2011, 132)

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

Maastoluokan ja tuulen nopeuspaineen arvon määrittämisen jälkeen voidaan siirtyä laskemaan tuulikuormia.

Pintoihin vaikuttava tuulenpaine

Rakenteiden ja rakenneosien tuulikuormia määritettäessä tulee ottaa huomioon sekä ulko- että sisäpuoliset tuulenpaineet. Tuulenpaineen arvoja määriteltäessä rakennus jaetaan vyöhykkeisiin Kuvion 9 mukaisesti. Rakennusten kokonaistuu- livoimaa määritettäessä puolestaan voidaan käyttää joko voimakerroinmenetelmää tai määrittää kokonaisvoima osapintoihin kohdistuvien painevoimien summana. (RIL 201-1-2011, 134.)



Kuvio9. Tuulenpaineen vyöhykekaavio pystysuurille seinille (SFS EN 1991-1-4, 62)

Seinien ulkupuolisen paineen kerroin eri vyöhykkeille valitaan taulukosta 4. Kerroin valitaan tarkasteltavan pinta-alan mukaan, $c_{pe,10}$ arvoa käytetään pinta-alan ollessa yli 10 m^2 ja $c_{pe,1}$ pinta-alan ollessa alle 1 m^2 . väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. (RIL 201-1-2011.)

Taulukko 4. Ulkupuolisen paineen kertoimet rakennusten pystysuurille seinille (SFS EN 1991-1-4, 62)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Katot jaetaan vyöhykkeisiin kattotyyppin ja tuulensuunnan mukaan samankaltaisella periaatteella kuin seinät, tässä työssä ei käsitellä tarkemmin kattojen tuulikuorman määrittystä.

Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine W_e saadaan kaavasta 6.

$$W_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad (6)$$

jossa

W_e on yksittäiseen pintaan korkeudelle z_e vaikuttava ulkopuolinen paine
 $q_p(z_e)$ on puuskanopeuspaine
 c_{pe} on ulkopuolisen paineen painekerroin
 z_e on ulkoisen paineen nopeuspainekorkeus

Rakenteen sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine W_i saadaan kaavasta 7.

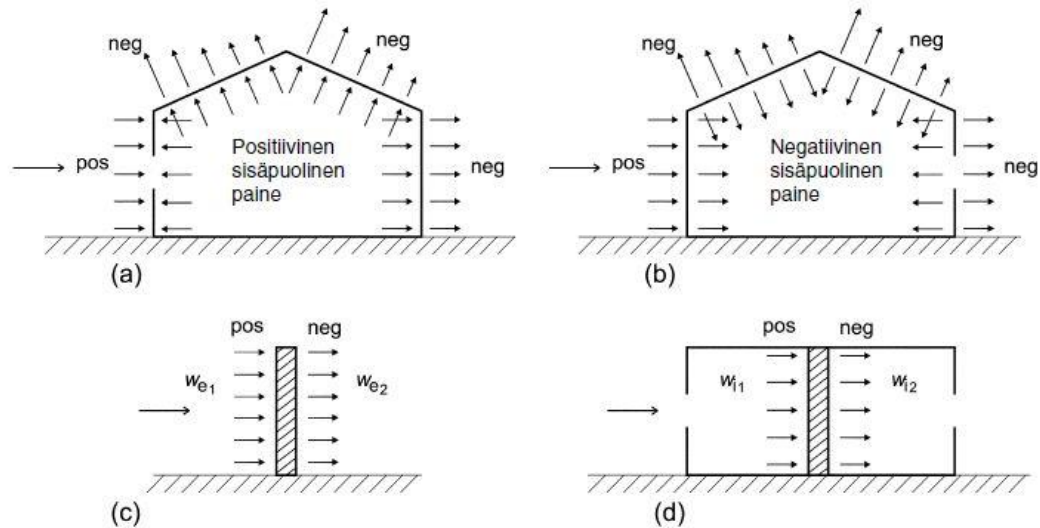
$$W_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (7)$$

jossa

$q_p(z_i)$ on puuskanopeuspaine
 c_{pi} on sisäisen paineen painekerroin
 z_i on sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus ($=z_e$)

Tuulen nettopaine on paine, joka vaikuttaa seinään tai elementtiin ulko- ja sisäpintaan ottaen etumerkit huomioon. Pintaa kohti kohdistuva paine on positiivista ja imu on negatiivista. (Ks. kuvio 10.)

Rakennuksen ollessa lähes neliömäinen eikä rakennuksen aukkosuhdetta voi tarkkaan arvioida käytetään sisäisen paineen kertoimelle vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoa vaihtoehdoista $c_{pi} = -0,3$ tai $c_{pi} = 0,2$. (RIL 201-1-2011, 159.)



Kuvio 10. Pintoihin vaikuttavat paineet (SFS EN 1991-1-4)

Kokonaistuulivoiman laskenta

Rakennuksen kokonaistuulivoima voidaan laskea käyttäen kokonaisvoimakerrointa c_f tai määrittää kokonaistuulikuorma pintapaineiden summana. Kokonaisvoimakerrointa käyttämällä saadaan varmalla puolella oleva arvo.

Kokonaisvoimakerrointa käytettäessä rakennuksen korkeuden ollessa pienempi kuin sen leveys voidaan kokonaistuulivoima määrittää kaavalla 8. Kaavassa oletetaan rakennuksen kaikissa korkeusasemissa vallitseva sama tuulenpaineen arvo kuin rakennuksen harjalla. (RIL 201-1-2011.)

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref} \quad (8)$$

jossa

F_w on kokonaistuulivoima (kN)

$c_s c_d$ on rakennekerroin

c_f on voimakerroin (sisältää kitkan vaikutuksen)

$q_p(h)$ on maaston pinnanmuodon mukaan modifioitu nopeuspaine harjan korkeudella

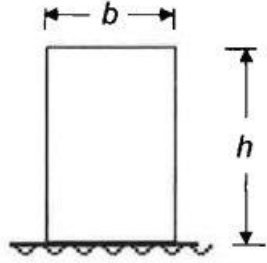
A_{ref} on tuulikuorman vaikutusala

Kertoimelle c_{sd} voidaan käyttää arvoa 1 alle 15 m korkeille rakennuksille, ulkoseinän ja vesikaton rakenteille joiden ominaistajuus on yli 5 Hz ja rakennuksille joiden rungossa on kantavat seinät ja niiden korkeus on alle 100 m ja pienempi kuin 4 kertaa rakennuksen tuulen suuntainen sivumitta. (RIL 201-1-2011, 141.)

Voimakeroon c_f valitaan taulukosta 5 rakennuksen sivumittojen suhteen mukaan missä b on tultavastaan kohtisuoran sivun pituus ja d tuulensuuntaisen sivun pituus. Tehollisen hoikkuuden arvo λ määritellään kuva 11 mukaan.

Taulukko 5. Voimakeroon c_f (RIL 201-1-2011, 137)

λ	Sivusuhteet d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	<p>kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$</p> <p>Välialueella 15 m $< h < 50$ m sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.</p>

Kuvio 11. Tehollisen hoikkuuden määrittäminen suorakulmaisen poikkileikkauksen omaaville rakennuksille (RIL 201-1-2011, 136)

Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulivoima F_w saadaan pintapaineiden avulla kaavasta 9.

$$F_w = \gamma_e F_{w,e} + F_{w,i} + F_{tr} \quad (9)$$

jossa

γ_e on kerroin, jolla otetaan huomioon se, ettei rakennuksen etupuolen paine- ja takapuolen imu kuormien huippuarvot esiinny yhtä aikaa.

$\gamma_e = 1,0$ jos $h/d \geq 5$ ja $\gamma_e = 0,85$ jos $h/d \leq 1$, väliarvot interpoloidaan lineaarisesti. (h = rakennuksen korkeus ja d rakennuksen pituusmitta tuulensuuntaan)

- $F_{w,e}$ on rakennuksen ulkopintaan vaikuttava painekuorma
 $F_{w,i}$ on rakennuksen sisäpintaan vaikuttava painekuorma
 F_{tr} on kitkavoima, kitkavoimaa ei tarvitse huomioida kun tuulensuuntaisten pintojen kokonaisala on enintään 4 kertaa kaikkien tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala. (RIL 201-1-2011.)

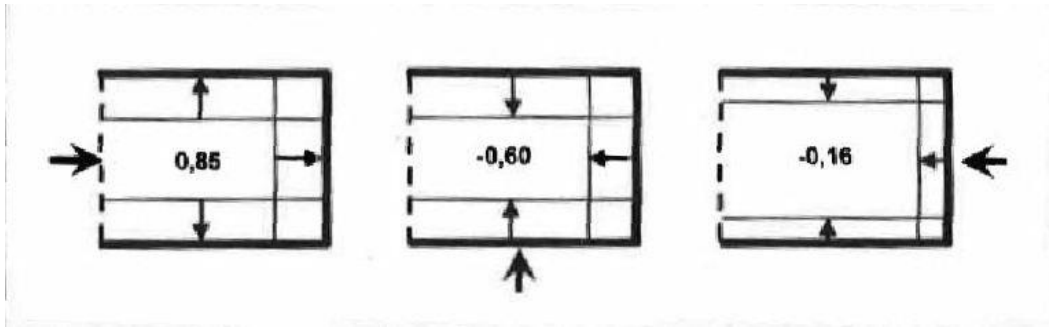
Avoimen sivun vaikutus painevoimiin

Pulpettikattoisessa rakennuksessa, jonka yksi sivu on täysin avoin, voidaan ulkoiset painekuormat laskea kuten vastaavassa rakennuksessa jonka kaikki sivut on suljettu. Sisäpuolisen paineen kertoimet saadaan taulukosta 6, josta voidaan havaita että sisäiset painekuormat ovat suuria. (RIL 201-1-2011, 182.)

Taulukko 6. Sisäisen paineen kertoimet rakennuksille joissa avoimia sivuja (RIL 201-1-2011, 159)

Tuulen suunta θ	Yksi avoin sivu ¹⁾		Kaksi vierekkäistä avointa sivua ²⁾	Kolme vierekkäistä avointa sivua ³⁾
	Lyhyempi sivu avoin	Pidempi sivu avoin		
$\pm 0^\circ$	+0,85	+0,68	+0,77	+0,60
$\pm 90^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77, -0,38	0
$\pm 180^\circ$	-0,16	-0,16	-0,30	-0,39
$\pm 270^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77	0

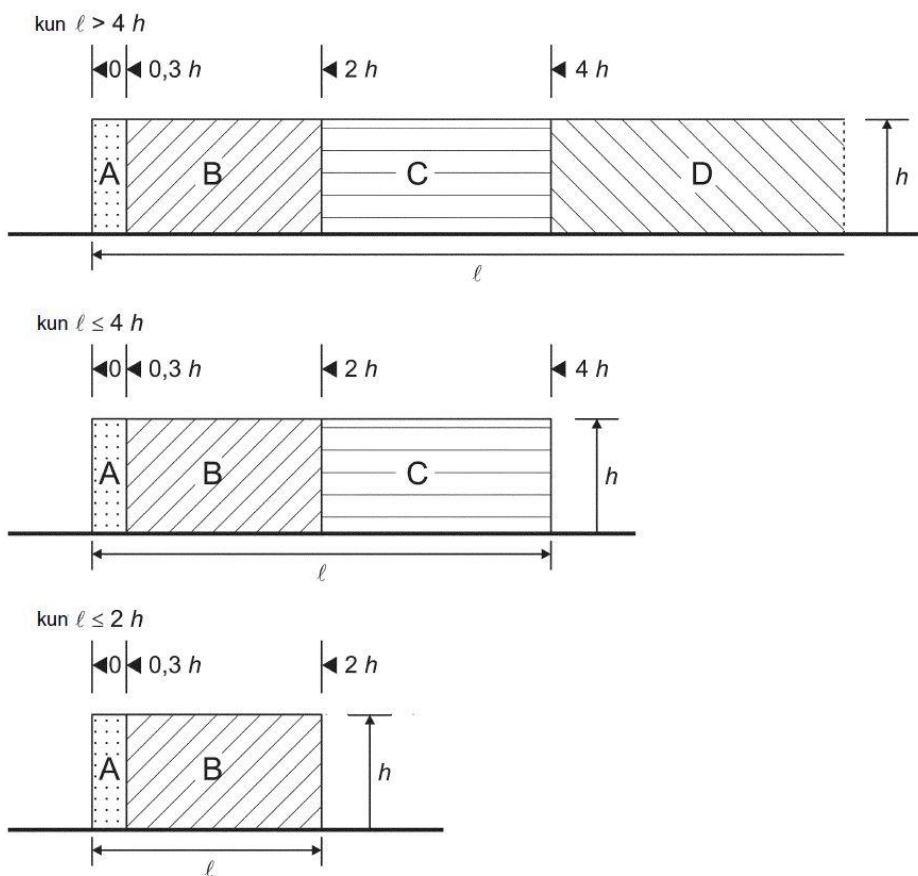
Kuviossa 12 on esitetty sisäpuoliset painekertoimet vaikutussuuntineen tuulen vaikuttaessa erisuunnista pulpettikattoisessa rakennuksessa, jonka lyhyempi sivu on avoin.



Kuvio 12. Esimerkki pulpettikattoisen rakennuksen sisäpuolisista paineista eri tuulen suunnilla (RIL 201-1-2011, 183)

Seinämien tuulikuormat

Erilliset seinät ja kaiteet jaetaan vyöhykkeisiin A-D kuvion 12 mukaisesti. Vyöhykkeille määritellään nettopainekertoimet c_{pnet} taulukosta 7. Aukottomille seinille käytetään eheysuhteen arvoa $\phi=1$. Arvoa $\phi=0,8$ käytetään kun aukkoja on alle 20 %, jos aukkoja on enemmän, käsitellään rakennetta tasoristikkona. (SFS EN 1991-1-4.)



Kuvio 13. Erillisten seinämien vyöhykejako (SFS EN 1991-1-4, 106)

Taulukko 7. Erillisten seinämien nettopainekertoimet (SFS EN 1991-1-4, 104)

Eheyssuhde	Vyöhyke		A	B	C	D
$\varphi = 1$	ilman päätekäänteitä	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	varustettuna päätekäänteillä, joiden pituus $\geq h^a$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2
^a Päätekäänteiden pituuden ollessa välillä 0,0 ja h voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota						

5.4 Törmäyskuormat

Rakennuksen sisään peruutetaan kuorma-autoilla purkamaan kuormaa sekä liikutaan pyöräkuormaajalla, joten rakenteiden tulee kestää myös mahdolliset törmäykset. Törmäyskuormia erilaisissa liikenneympäristöissä on esitetty Eurokoodien osassa SFS-EN 1991-1-7 jossa käsitellään onnettomuuskuormia.

Kuorma-auton törmäyskuormaksi piha-alueilla ja autotalleissa liikenteen suuntaan ilmoitetaan 150 kN ja liikennettä vastaan kohtisuoraan 75 kN. Kuormien arvot voidaan myös määrittellä kansallisessa liitteessä. (SFS-EN 1991-1-7.)

Suomen kansallisen liitteen mukaan suomessa käytetään 75 kN törmäyskuormaan sekä liikenteen suuntaan, että liikennettä vastaan kohtisuoraan (Kuvio14). Erisuunnista vaikuttavien törmäyskuormien ei oleteta vaikuttavan yhtä aikaa. Seuraamusluokassa CC1 törmäyskuormia ei tarvitse huomioida. (NA SFS-EN 1991-1-7.)

Kuorman vaikutuskorkeutena käytetään kuorma-autoille 0,5...1,5 m ajoradan pinnasta. Kuorman vaikutus alana käytetään 0,5m korkuista ja 1,5m leveää aluetta tai rakenneosan leveyttä sen mukaan kumpi on pienempi. (SFS-EN 1991-1-7.)

Liikenteen luokka	Kuorma F_{dx}^a [kN]	Kuorma F_{dy}^a [kN]
Moottoritiet sekä valta- ja kantatiet	1000	500
Maantiet	750	375
Taajamien tiet ja kadut	500	250
Pihat ja autotallit, joihin:		
– henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan ^b	25	25
– kuorma-autot ^c pääsevät kulkemaan ^b	75	75
^a x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan. ^b Jos piha-alueen ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun osan reunan ja rakenteen vaakasuora välimatka on vähintään 2,0 m, ei rakennetta tarvitse mitoittaa ajoneuvon törmäyskuormalle. ^c Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.		

Kuvio 14. Törmäyskuormat kantaviin rakenteisiin (NA EN 1991-1-7, 9)

6 Mitoitus

6.1 Teräsrakenteet

Teräs on osoittanut tehokkuutensa ja käyttökelpoisuutensa erityisesti suurten ja vaativien kohteiden toteuttamisessa. Kuitenkin käyttö on yleistynyt jatkuvasti myös tavanomaisessa teollisuus-, toimisto- ja julkisrakentamisessa. Teräksen etuja ovat muun muassa keveys, materiaalin kierrätettävyyys, suunnittelun ja valmistuksen korkea teknologia-aste sekä arkkitehtoniset mahdollisuudet muotoilun, muunneltavuuden, joustavuuden ja ulkonäön suhteen. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2010.)

Kantavissa rakenteissa käytettävää terästä kutsutaan yleensä rakenneteräkseksi. Teräksen hiilipitoisuus on korkeintaan 1,7 %. Jos hiilipitoisuus on sitä korkeampi, kyseessä on valurauta. Terästen ominaisuuksiin vaikutetaan säätämällä hiilen ominaisuuksia sekä lisäämällä teräkseen eri lisäaineita. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2010.)

Rakenneterästuotteet voidaan jakaa kylmämuovattuihin ja kuumavalsattuihin tuotteisiin. Esimerkkejä kylmämuovatuista tuotteista ovat erilaiset muotolevyt, kasetit, sandwich- elementit ja sauvat. Kuumavalsattuja tuotteita ovat esimerkiksi levyt, nauhat, rainat, kuumavalsatut profiilit ja tangot. Kantavissa rakenteissa käytetään yleisimmin S235, S275 ja S355 saostamattomia tai niukkaseosteisia teräksiä. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2010.)

Teräsrakenteissa perusrakenneosa on sauva. Sauvalla tarkoitetaan erilaisten voimasuureiden rasittamaa prismaattista kappaletta. Tällaisia kappaleita ovat esimerkiksi kaikki palkit ja pilarit sekä ristikon nurkkia yhdistävät osat. Kaikki sauvat tulee mitoittaa murtorajatilassa ottaen huomioon niissä esiintyvät rasitukset. Taivutetut sauvat tulee mitoittaa myös käyttörajatilassa. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2010, 47.)

Poikkileikkauksen kestävyys

Voimasuureiden mitoitusarvo ei missään poikkileikkauksessa saa ylittää vastaavaa kestävyyttä. Usein samassa poikkileikkauksessa vaikuttaa samanaikaisesti useita voimasuureita, jolloin niiden yhteisvaikutus ei saa ylittää vastaavaa kestävyyttä kyseiselle yhdistelmälle. Poikkileikkausluokasta riippumatta poikkileikkauksen kestävyyttä voidaan tarkastella varmallalla puolella menetelmällä, jossa jokaisen jännitysresultantin hyväksikäyttöasteet summataan lineaarisesti. Esimerkiksi poikkileikkaukselle, jota rasittaa yhdistelmä N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ ja $M_{z,Ed}$ poikkileikkausluokissa 1, 2 tai 3 voidaan käyttää kaavan 10 ehtoa.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (10)$$

missä N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ ja $M_{z,Rd}$ ovat poikkileikkausluokasta riippuvia kestävyysien mitoitusarvoja. (SFS EN 1993-1-1, 49.)

Poikkileikkausluokka

Teräsrakenteet jaetaan neljään poikkileikkausluokkaan sen mukaan missä laajuudessa paikallinen lommahdus rajoittaa poikkileikkauksen kestävyyttä ja kiertämiskykyä. Poikkileikkausluokka määräytyy puristettujen osien leveys- paksuus

suhteen mukaan, poikkileikkauksen eri puristetut osat kuten uuma ja laippa kuuluvat yleensä eri poikkileikkausluokkaan. Poikkileikkausluokka määräytyy suurimman eli epäedullisimman poikkileikkauksen mukaan kuvion 15 mukaisesti. (SFS EN 1993-1-1, 42.)

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
		Taivutus ko. akselin suhteen				
		Taivutus ko. akselin suhteen				
Poikkileikkausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	$\text{kun } \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ $\text{kun } \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	$\text{kun } \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ $\text{kun } \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$ ¹⁾	$c/t \leq 42\epsilon$ ²⁾	$\text{kun } \psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ³⁾ $\text{kun } \psi \leq -1^*): c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Kuvio 15. Poikkileikkausluokan määrittäminen (SFS EN 1993-1-1, 45)

Vetokestävyys

Vetorasitettujen sauvojen vetovoiman mitoitusarvon N_{Ed} tulee täyttää kaavan (11) mukainen ehto.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

(11)

Reiällisissä poikkileikkauksissa vetokestävyyden mitoitusarvo $N_{t,Rd}$ on pienempi kaavojen 12 ja 13 mukaisista arvoista. Rakenteen sitkeyden takaamiseksi reiällisissä poikkileikkauksissa bruttoalan mukaan lasketun (kaava 12) kestävyys tulee olla suurempi kuin nettoalan (Kaava 13) mukaan lasketun kestävyys.

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (12)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} \quad (13)$$

jossa

$N_{pl,Rd}$ on bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen kestävyysmitoitussarvo

$N_{u,Rd}$ on nettopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo kiinnittimien kohdalla

A_{net} Nettopoikkileikkauksen pinta-ala (SFS EN 1993-1-1, Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus.)

Puristuskestävyys

Puristusvoiman mitoitusarvon N_{Ed} tulee täyttää kaavan 14 ehto kaikissa poikkileikkauksissa.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (14)$$

Poikkileikkauksen puristuskestävyys tasaiselle puristukselle lasketaan kaavalla 15 poikkileikkausluokassa 1, 2 ja 3. Poikkileikkausluokassa 4 puristuskestävyyden laskemiseen käytetään kaavaa 16. (SFS EN 1993-1-1.)

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (15)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff}f_y}{\gamma_{M0}} \quad (16)$$

Taivutuskestävyys

Poikkileikkauksen taivutuskestävyys lasketaan eri kaavoilla riippuen siitä mihin poikkileikkausluokkaan tarkasteltava profiili kuuluu, kuitenkin kaavan (17) ehdon tulee täyttyä. (SFS EN 1993-1-1, 53.) Poikkileikkausluokan määrittäminen on esitetty edellä.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (17)$$

jossa

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ on taivutuskestävyyden mitoitusarvo

Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 taivutuskestävyyden mitoitusarvo yhden pääjäyhyysakselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa saadaan kaavasta (18), jossa taivutuskestävyys tarkastellaan plastisen taivutusvastuksen perusteella. (SFS EN 1993-1-1.)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (18)$$

Poikkileikkausluokan 3 profiilien taivutuskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kimmoteorian mukaan ja se saadaan kaavasta (19). (SFS EN 1993-1-1.)

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (19)$$

Poikkileikkausluokan 4 profiilien taivutuskestävyys saadaan kaavasta (20), jossa käytetään poikkileikkauksen tehollista taivutusvastusta. (SFS EN 1993-1-1.)

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (20)$$

Kaavoissa

$M_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo

W_{pl}	on plastisuusteorian mukainen taivutusvastus
f_y	on myötöraja
γ_{M0}	on poikkileikkauksen osavarmuusluku
$W_{el,min}$	on kimmoteorian mukaisen taivutusvastuksen minimiarvo
$W_{eff,min}$	on tehollisen taivutusvastuksen pienin arvo

Rungon rakenteissa ei käytetty poikkileikkausluokan 4 profiileja.

Leikkauskestävyys

Leikkausvoiman mitoitusarvon V_{ed} ei saa olla suurempi kuin poikkileikkauksen leikkauskestävyys $V_{pl,Rd}$. Poikkileikkauksen leikkauskestävyys saadaan kaavasta (21), mikäli jäykisteettömän uuman hoikkuus toteuttaa kaavan (22) ehdon. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 49.)

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (21)$$

jossa

A_v	on kuorman vaikutustason mukainen leikkauspinta-ala
f_v	on myötöraja
γ_{M0}	on poikkileikkauksen osavarmuusluku

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (22)$$

jossa

h_w	on uuman korkeus
t_w	on uuman paksuus
η	ottaa huomioon myötölujenemisen (voidaan käyttää varmalla puolella olevaa arvoa 1)

Kimmoteorian mukainen leikkauskestävyyden $V_{c,Rd}$ mitoitusarvo voidaan laskea myös kaavan (23) mukaan siten, että kaavan ehto täyttyy poikkileikkauksen kaikissa pisteissä. Kaavan mukainen tarkastelu on varmalla puolella, koska se ei ota

huomioon leikkausjännityksistä aiheutuvaa osittaista plastisoitumista, joka on sallittua kimmoteorian mukaisessa mitoituksessa. (SFS EN 1993-1-1, 55.)

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (23)$$

missä τ_{Ed} saadaan kaavasta (24), I- ja H- profiileille voidaan käyttää myös kaavaa (25). Lisäksi välilyäkisteettömän uuman leikkauslommahduskestävyys on tarkistettava mikäli kaavan (26) ehto toteutuu. (SFS EN 1993-1-1, 55.)

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}S}{It} \quad (24)$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ kun } A_f/A_w \geq 0,6 \quad (25)$$

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (26)$$

jossa

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

S on tarkasteltavan kohdan ulkopuolella olevan osan staattinen momentti koko poikkileikkauksen painopiste akselin suhteen

I on koko poikkileikkauksen hitausmomentti

t on tarkasteltavan kohdan paksuus

A_f on yhden laipan pinta-ala

A_w on uuman pinta-ala

Taipuma

Taipumarajoina käytettiin Standardin EN 1993 kansallisessa liitteessä esitettyjä taulukon 8 mukaisia teräsrakenteille suositeltuja taipuman ja siirtymän raja-arvoja.

Taulukko 8. Taipumien ja siirtymien raja-arvot (NA SFS-EN 1993)

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat -vesikatoissa ja katoksissa -välipohjissa	L/300 L/400
Ulokkeet	L/150
Katto-orret	L/200
Seinäorret	L/150
Muotolevyt -katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa -katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa -kun $L \leq 4,5$ m -kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m -kun $L > 6,0$ m -välipohjissa -seinissä -ulokkeissa	L/100 L/150 30 mm L/200 L/300 L/100 L/100
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila -1 ja 2 kerroksiset rakennukset -muut rakennukset	H/150 H/400
L on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, ks. standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite	

Vääntökestävyys

Kohteen rakenteissa ei esiinny vääntöä joten vääntökestävyyden mitoitus ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Nurjahduskestävyys

Puristetut sauvat tulee mitoittaa siten, että kaavan 27 mukainen nurjahdusehto on voimassa. (SFS EN 1993-1-1.)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (27)$$

missä

N_{Ed} on puristusvoiman mitoitusarvo

$N_{b,Rd}$ on puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 28 mukaan poikkileikkausluokissa 1,2 ja 3. Poikkileikkausluokassa 4 käytetään kaavaa 29.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (28)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (29)$$

missä χ on nurjahduskestävyyden pienennystekijä, joka saadaan kaavasta 30.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ kun } \chi \leq 1,0 \quad (30)$$

jossa

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (31)$$

jossa

α on epätarkkuustekijä (taulukko 9)

Muunnetun hoikkuuden λ arvo saadaan kaavasta 32 poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3. Poikkileikkausluokan 4 profileille käytetään kaavaa 33. Muunnetun hoikkuuden ollessa alle 0,2 tai kun $N_{ed}/N_{cr} \leq 0,04$ ei nurjahdusta tarvitse tarkistaa, pelkkä poikkileikkauksen tarkistus riittää. (SFS EN 1993-1-1.)

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (32)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad (33)$$

N_{cr} on kimmoteorian mukainen bruttopoikkileikkauksen mukaan laskettu kriittinen voima kyseeseen tulevassa nurjahdusmuodossa (ks. kaava 34).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(EI)}{L_{cr}^2} \quad (34)$$

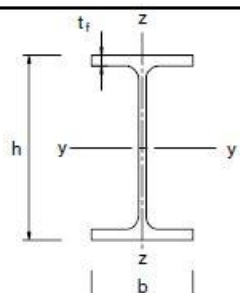
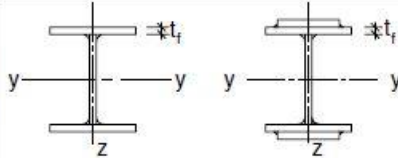

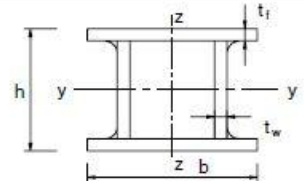
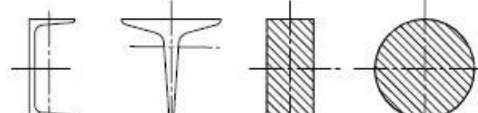
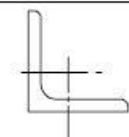
Jossa

L_{cr} on nurjahduspituus



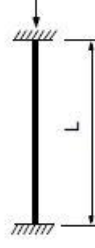

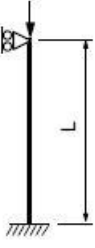
Taulukko9. Epätarkkuustekijät (SFS EN 1993-1-1, 62)

Nurjahduskäyrä	a_0	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Taulukko10. Nurjahduskäyrän valinta (SFS EN 1993-1-1, 63)

Poikkileikkaus	Rajat	Nurjahdus ko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Valssatut profiilit 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a a ₀	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Hitsatut I-profiilit 	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
Rakenneputket 	Kuumamuovattu	Kaikki	a	a ₀	
	Kylmämuovattu	Kaikki	c	c	
Hitsatut kotelo-profiilit 	Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	b	
	Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c	
U-, T- ja umpi-piipprofiilit 		Kaikki	c	c	
L-teräkset 		Kaikki	b	b	

Taulukko11. Teoreettisia nurjahduspituuksia L_{cr} (Hitsatut profiilit käsikirja 2010, 537)

Molemmista päistä nivelöity pilari	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty pilari	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pilari	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pilari, toinen kiinnityskohta sivusiirtävä	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty ja toisesta päästä nivelöity pilari
				
$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 2,0 L$	$L_{cr} = 0,5 L$	$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 0,7 L$

Kiepahdus

Poikkileikkauksen taivutuskestävyyden tarkastelussa ei oteta kiepahdusta huomioon, joten se on tarkasteltava erikseen. Kun puristettu laippa on tuettu riittävän tiheästi sivusiirtymistä vastaan tai kun poikkileikkauksella on luonnostaan korkea poikittainen jäykkyys kuten kotelo-poikkileikkauksilla pelkkä poikkileikkauksen kestävyden tarkistaminen riittää. Myöskään sauvan hoikkuuden λ ollessa alle 0,2 ei kiepahdusta tarvitse tarkastella. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 49.)

Mitoitetussa rakenteessa katteena toimiva poimulevy sitoo palkkien puristetut laipat sivusuunnassa estäen palkkien kiepahduksen. Kiepahdus on kuitenkin huomioitu Jigi- mitoitusohjelmassa palkkien täydelle pituudella joten poimulevyjen kiinnikkeitä ei tarvitse mitoittaa kiepahdusvoimille.

Palkkien mitoitus

Palkkirakenteet ovat taivutettuja sauvoja joissa sekä käyttöominaisuuksilla (taipumat käyttörajatilassa) että kestävyydellä (taivutuskestävyys ja leikkauskestävyys) on merkitystä. Palkeissa voi esiintyä myös normaalivoimia jotka on huomioitava murtorajatilamitoituksessa. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 61.)

Kantavana kattorakenteena toimii rakennuksen takareunaa lukuun ottamatta HE- profiilin teräspalkkisto, rakennuksen takareunassa on käytetty putkipalkkia.

Teräspalkiston päällä on kantava poimulevy. HE- profiilien kiinnitys pilareihin toteutettiin pulttiliitoksilla ja putkiprofiilien kiinnitys hitsiliitoksilla. Palkit mitoitettiin Jigi mitoitusohjelmalla jossa kaikkien liitosten oletettiin toimivan nivelinä.

Pilareiden mitoitus

Pilareissa merkityksellisintä on kestävyystarkastelu, joskin ulokepilareissa on syytä rajoittaa myös siirtymiä. Pilareiden kestävyysvaikuttavia tekijöitä ovat poikkileikkausluokka, poikkileikkauksen muoto, pituuden ja poikkileikkauksen välinen suhde sekä taivutusmomentin ja normaalivoiman välinen suhde (normaalivoiman epäkeskisyys). (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 72.)

6.2 Jigi

Rakennuksen teräsrungon mitoitusta tehtiin Jigi laskentaohjelmalla, joka toimii parhaiten melko yksinkertaisten rakenteiden mitoituksessa. Käytössä oli Jigi 2014 ohjelman versio 3.7.0.0. Jigin statiikka-moduuli perustuu 3D-elementtimenetelmään ja mitoitusmoduulit eurokoodien EN-versioihin ja kansallisiin liitteisiin, teräsrakenteet mitoitetaan SFS-EN1993-1-1 mukaan.

Mitoitettaessa rakenteita Jigillä tulee huomioida, että käytössä ollut ohjelmaversio ei ota huomioon rakenneosan käyttöasteessa taipuma rajaa, ohjelma kyllä laskee taipumat sekä kokonaissiirtymät mutta niille ei pysty määrittämään raja-arvoja, jotka vaikuttaisivat käyttöasteeseen.

6.3 Rakenteiden kuormat

Lumi

Rakennus sijaitsee Rovaniemellä melko avoimessa maastossa. Rakennuksessa on pulpettikatto, jonka kaltevuus on noin 6°. Ympäröivät rakennuskohteet tai puut eivät suojaa rakennusta joten lumikuorman laskemista varten kertoimiksi saadaan:

Lumikuorman muotokerroin:

$$\gamma_i = 0,8$$

Tuulensuojaiskerroin:	$c_e = 0,8$
Lämpökerroin:	$c_t = 1,0$
Lumikuorman ominaisarvo maassa:	$s_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Kun arvot sijoitetaan kaavaan (5) lumikuormaksi katolla saadaan:

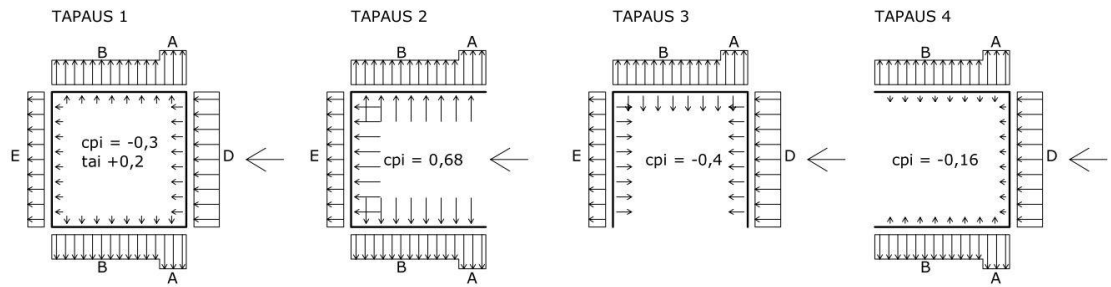
$$q_{sk} = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

Tuuli

Rakennuksen ympäristössä on jonkin verran muita matalahkoja rakennuksia ja vain vähän korkeaa puustoa, joten rakennus kuuluu maastoluokkaan 2. Rakennuksessa on suuria nosto-ovia, jotka kaikki voivat olla myös auki yhtä aikaa, joten tuulikuorman mitoituksessa on otettava huomioon se että rakennus voi olla käytännössä yhdeltä sivulta avoin rakennus mikä, vaikuttaa huomattavasti rakennuksen tuulikuormiin. Lisäksi rakennuksen toisen puolen lastauslaituri on katettu ja siinä on 10 metriä korkea seinämä, jonka tuulikuorma on tarkistettava erikseen.

Kuormat osapinnoille

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvoksi maastoluokassa 2 saadaan 10 metrin korkeudella $0,65 \text{ kN/m}^2$. Kun rakennuksen ovet ovat kiinni, käytetään sisäpuolisille painekertoimille kuvan 16 tapauksen 1 mukaisia arvoja $-0,3$ tai $+0,2$, jolloin osapintojen tuulikuormiksi saadaan taulukon 12 mukaiset arvot. Rakennuksen ovien ollessa auki käytetään samoja ulkopuolisen paineen kertoimia, mutta sisäpuolisen paineen kertoimet vaihtelevat tuulen suunnasta riippuen (ks. kuvio 16) tapausten 2-4 mukaan. Ovien ollessa auki osapintojen tuulikuormat eri vyöhykkeillä saadaan taulukoista 13- 15.



Kuvio 16. Rakennuksen sisäiset painekertoimet ja ulkoisen paineen suunnat eri tuulen suunnille

Kuormitusalue A:n leveys on 3,6 m ja kuormitusalue B:n 14,4 m. Kuormitusalueelta C ei tässä tapauksessa tule rakennuksen korkeuden ja sivumitan suhteesta johtuen. Rakennus on neliön mallinen, joten Kuvan 16 tapauksen 1 kuormitusalueet ovat samat riippumatta tuulen suunnasta.

Taulukko 12. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet on kiinni (tapaus 1).

Vyöhyke	cpi	cpe	qp(ze) [kN/m ²]	Tuulikuorma [kN/m ²]
A	0,2	-1,2	0,65	0,91
B	0,2	-0,8	0,65	0,65
C	-	-	-	-
D	-0,3	-0,74	0,65	0,676
E	-0,3	-0,38	0,65	0,442

Taulukko 13. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli ovien suunnasta (tapaus 2).

Vyöhyke	cpi	cpe	qp(ze) [kN/m ²]	Tuulikuorma [kN/m ²]
A	0,68	-1,2	0,65	1,222
B	0,68	-0,8	0,65	0,962
C	-	-	-	-
D	-	-	-	-
E	0,68	-0,38	0,65	0,689

Taulukko 14. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli rakennuksen sivulta (tapaus 3).

Vyöhyke	cpi	cpe	qp(ze) [kN/m ²]	Tuulikuorma [kN/m ²]
A	-0,4	-1,2	0,65	0,52
B	-0,4	-0,8	0,65	0,26
C	-	-	-	-
D	-0,4	-0,74	0,65	0,741
E	-0,4	-0,38	0,65	0,013

Taulukko 15. Tuulikuormat rakennuksen eri vyöhykkeillä kun ovet auki ja tuuli rakennuksen takaa (tapaus 4).

Vyöhyke	cpi	cpe	qp(ze) [kN/m ²]	Tuulikuorma [kN/m ²]
A	-0,16	-1,2	0,65	0,676
B	-0,16	-0,8	0,65	0,416
C	-	-	-	-
D	-0,16	-0,74	0,65	0,585
E	-	-	-	-

Taulukoista voidaan havaita että tuulikuorma rakennuksen sivuseinillä ja taka-seinällä kasvavat merkittävästi tuulen puhaltaessa suoraan avoimista oviaukoista sisään. Taulukoiden arvoja verrattaessa on kuitenkin huomioitava, että tapauksissa 2-4 vyöhykkeiden paikat suhteessa rakennukseen vaihtavat paikka.

Kokonaistuulikuorma

Koko rakennuksen kokonaistuulikuormaksi F_w voimakerroinmenetelmällä saadaan 150 kN. Teräsrunkoon kohdistuva tuulikuorma on kuitenkin pienempi, koska se alkaa osassa rakennusta vasta 3,7 metrin korkeudesta maan pinnalta. Teräsrunko mallinnetaan Jigi laskentaohjelmalla, jossa myös kokonaisjäykistys saadaan huomioitua rakenneosille tulevien tuulikuormien summana.

Seinämän tuulikuorma

Lastauslaiturin katoksen seinän pituus on 7,3 m ja korkeus noin 10 metriä. Seinämä jaetaan kahteen vyöhykkeeseen (A ja B) joista vyöhykkeen A pituus on 3 metriä ja vyöhykkeen B pituus 4,3 metriä. Vyöhykkeille saadaan taulukon 16 mukaiset tuulikuormat.

Taulukko 16. Seinämän tuulikuormat eri vyöhykkeissä

Vyöhyke	cpnet	qp(ze) [kN/m ²]	Tuulikuorma [kN/m ²]
A	2,3	0,65	1,50
B	1,4	0,65	0,91

Törmäyskuormat

Rakennuksen törmäyskuormat mitoitetaan piha-alueen mukaan, ajoneuvoina pyöräkuormaaja ja kuorma-auto. Pyöräkuormaajalle ja kuorma-autolle voidaan käyttää samaa törmäyskuormaa, koska törmäyskuormia tarkasteltaessa kuorma-autoksi luokitellaan kaikki ajoneuvot joiden bruttopaino on yli 3,5 tonnia. Mitoituksessa huomioitava törmäyskuorma etureunan pilareille sekä betonirakenteille on täten 75 kN, kuorman vaikutuskorkeutena käytetään 0,5...1,5 m.

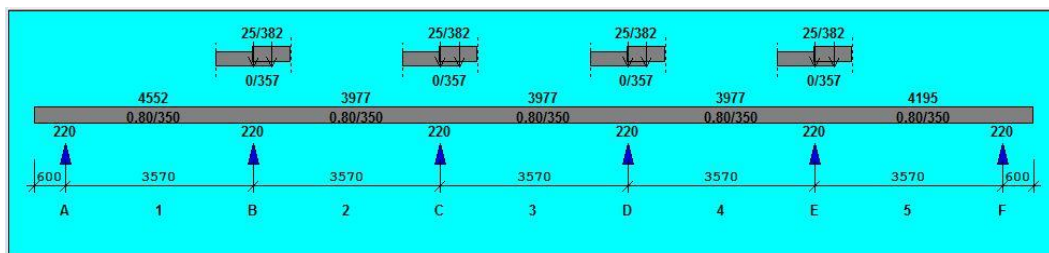
Rakenteiden omat painot

Käytetään vesikatteen omana painona $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$

Teräsrakenteet mitoitetaan jigi ohjelmalla jolla otetaan valittujen profiilien omat painot huomioon laskennassa.

6.4 Poimulevy

Vesikatteeksi ja ulkoseinien materiaaliksi valittiin kantava poimulevy. Levyt mitoitettiin Ruukin Poimu ohjelmalla, jonka perusteella kattoon ja seiniin valittiin profiiliksi T70-57-1058-08. Vesikatteenä käytettävässä levyssä päädyttiin käyttämään päittäislimitystä, jossa jatkokset ja käyttöasteet kuvioiden 17 ja 18 mukaisesti.



Kuvio 17. Poimulevyn jatkokset

	Jatkokset, pituus	Levy	Voimat				Käyttöasteet [%]			Taipumat			
			M	R/V	M	R/V	M	R/V	M,R/V	mm	L/	%	
0	Uloke 600	1	0.80/350	-0.5	7.6	-0.2	7.6	6.0	49.8	42.4	7.8	77.1	64.8
A	Reunatuki												
1	3570	1	0.80/350	3.3	0.0	0.0	0.0	43.0	-	-	-13.8	258.7	58.0
B	Päätäislimitys 0.0/0.1												
2	3570	2	0.80/350	-4.7	13.9	-4.5	7.4	62.2	25.3	61.7	-3.6	990.0	15.2
C	Päätäislimitys 0.0/0.1												
3	3570	3	0.80/350	-2.7	0.0	0.0	0.0	35.5	-	-	-7.2	499.0	30.1
D	Päätäislimitys 0.0/0.1												
4	3570	4	0.80/350	-3.7	10.8	-3.5	6.5	48.0	19.6	48.9	-3.5	>999	14.9
E	Päätäislimitys 0.0/0.1												
5	3570	5	0.80/350	-4.7	13.9	-4.5	7.4	62.2	25.3	61.7	-14.0	255.3	58.7
F	Reunatuki												
6	Uloke 600	5	0.80/350	3.3	0.0	0.0	0.0	43.0	-	-	-14.0	255.3	58.7
				-0.5	7.6	-0.2	7.6	6.0	49.8	42.5	7.9	76.4	65.5

Kuvio 18. Poimulevyn käyttöasteet

6.5 Rungon mitoitus

Lähtötietoja

Rakennus on yksikerroksinen varistorakennus, jossa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, joten rakennuksen seuraamusluokaksi saadaan CC1. CC1 luokan rakennuksissa voidaan käyttää kuormitusyhdistelyissä K_{Fi} :lle arvoa 0,9. Laskennassa käytetään kuitenkin arvoa 1,0.

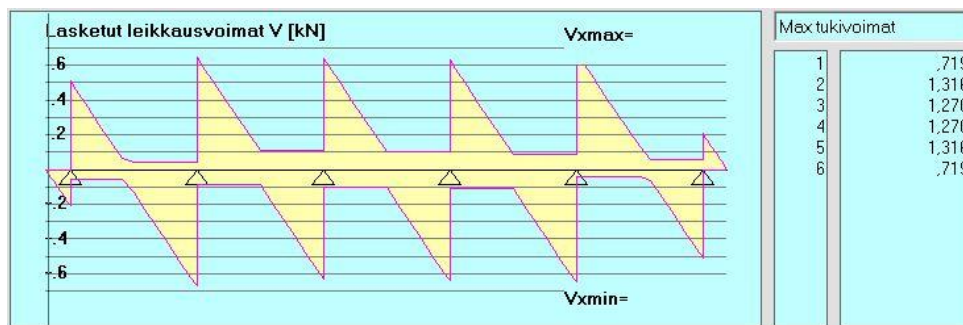
Rungon mitoitus aloitettiin pohtimalla erilaisia ratkaisuja yläpohjan toteutukseen. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman matala rakenne, jotta rakennuksen sisätila ja oviaukot pystyttäisiin toteuttamaan mahdollisimman korkeina. Toteutuksessa päädyttiin yläpohjan osalta palkkirakenteeseen, jossa palkkien jatkos toteutetaan 1,6 m päässä keskitueltä ja siten pystytään hyödyntämään palkkien jatkuvuutta, joka puolestaan pienentää tarvittavaa profiilikokoa.

Kun alustava rakenne oli saatu selville, laskettiin rakenteille tulevat kuormat ja tehtiin Jigiin malli rakennuksen rungosta, johon lisättiin kuormat. Suunnittelun edetessä rakenne muuttui siten, että siihen lisättiin sivulla oleva lastauskatos sekä huomioitiin mitoituksessa myös vastaavanlaisen katoksen lisääminen toiselle puolelle. Rakennetta jouduttiin myös korottamaan hieman, jotta halutun korkuiset ovet saatiin mahtumaan rakennuksen sivuille. Rakennuksen etureunassa oli ensimmäisissä suunnitelmissa 2,5 m korkeat betoniset peruspilarit, joilla oli tarkoitus ottaa vastaan mahdolliset törmäyskuormat. Pilasterit kuitenkin

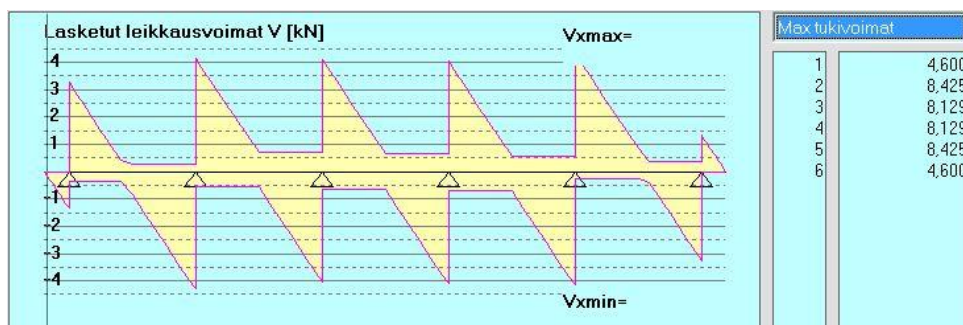
poistettiin ja etureunaan vaihdettiin lattiatasosta lähtevät betonitäytteiset teräspilarit, joilla saatiin ovien kiinnitys runkoon huomattavasti yksinkertaisemmaksi.

Yläpohjapalkkien kuormat

Yläpohjapalkkien kuorma koostuu palkkien omasta painosta, palkkien yläpuolisen rakenteen omasta painosta sekä lumikuormasta. Kuvioissa 19 ja 20 on esitetty palkeille yläpohjan omasta painosta sekä lumesta muodostuva kuorman ominaisarvo [kN/m]. Yläpohjapalkkien omapaino otetaan laskentamallissa erikseen huomioon joten sitä ei ole tässä erikseen esitetty.



Kuvio 19. Yläpohjan oman painon kuormat yläpohjapalkeille

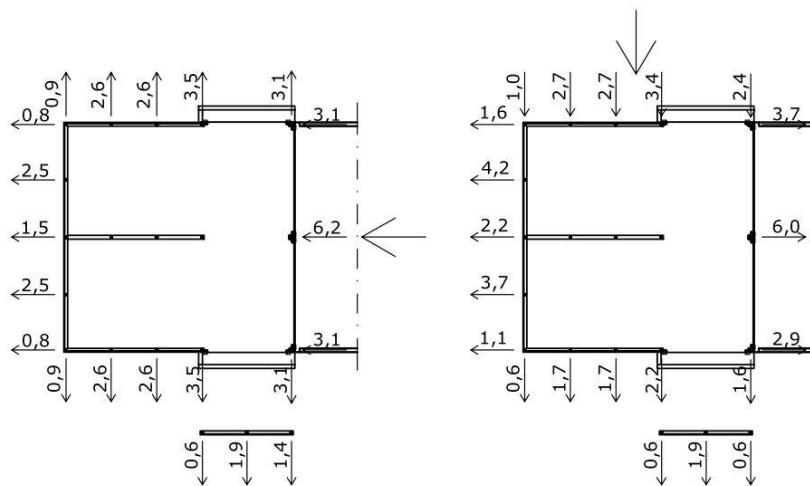


Kuvio 20. Lumikuorman kuormat yläpohjapalkeille

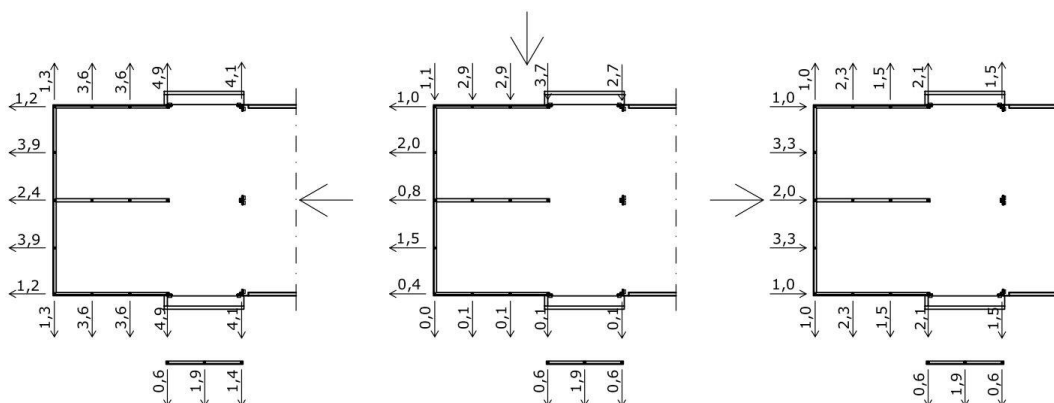
Pilarien kuormat

Pilareiden kuorma muodostuu yläpohjarakenteilta tulevasta pystykuormasta, tuulikuorman aiheuttamasta vaakakuormasta sekä etureunan kolmelle pilarille huomioonotettavasta törmäyskuormasta, joka otetaan huomioon onnettomuuskuormana. Rakennuksen seinissä vaipansulkevana rakenteena toimii kantava poimulevy, joka toimii sivuseinissä ja seinämässä koko seinän matkalla jatkuvana rakenteena. Takaseinällä kantavassa poimulevyssä on sauma keskimmäisen pilarin kohdalla.

Pilareille tulevan tuulikuorman arvoon vaikuttaa tuulikuorman suunnan lisäksi se onko rakennuksen ovet auki vai kiinni. Kuviossa 21 on esitetty tuulikuormat ja kuorman suunnat eri pilareille, kun rakennuksen ovet ovat kiinni. Rakennuksen pilareiden kuormitus tuulenvaikutuksesta muuttuu merkittävästi, kun rakennuksen ovet avataan. Vaarallisin kuormitustapaus syntyy, jos rakennuksen etuovet ovat auki ja sivuovet kiinni. Kuviossa 22 on esitetty kuormat rakennuksen pilareille kolmella eri tuulen suunnalla rakennuksen etuovien ollessa auki. Kuvasta voidaan havaita että suurimmat kuormat pilareille syntyy tuulen puhaltaessa suoraan avoimista ovista sisään. Tuulen kannalta tarkasteltaviksi tapauksiksi valitaan tilanne, jossa tuulee suoraan avoimista ovista sisään sekä tapaukset, joissa rakennuksen ovet ovat kiinni.



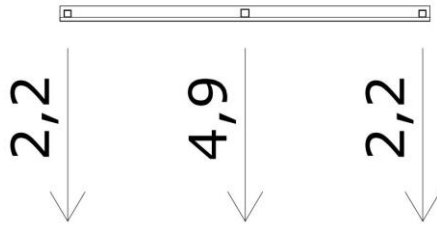
Kuvio 21. Tuulikuormat pilareille (kN/m) eri tuulensuunnilla ovien ollessa kiinni



Kuvio 22. Tuulikuormat pilareille (kN/m) eri tuulensuunnilla ovien ollessa auki

Rakennuksen lastauskatoksen pilareiden kestävyyttä on tarkasteltava seinämän tuulikuorman mukaan. Kun rakennetta tarkastellaan seinämänä, kasvaa mitoit-

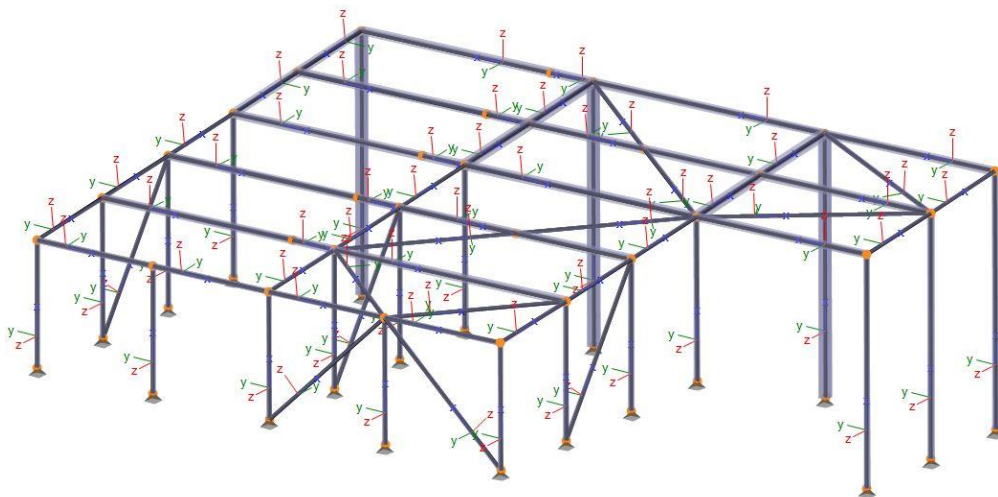
tava tuulikuorma huomattavasti verrattuna siihen että käytettäisiin rakennuksen ulkoseinien mukaisilla painekertoimilla laskettuja tuulikuormia, jotka on esitetty seinämälle kuvioissa 21 ja 22. Seinämän pilareille tulevat suurimmat mahdolliset tuulikuormat on esitetty kuviossa 23.



Kuvio 23. Tuulikuormat seinämän pilareille

Rakenteen ja kuormien mallintaminen

Rakennuksen runko mallinnetaan Jigissä sauvoina, jotka liittyvät solmupisteisiin. Jokaisessa sauvojen liitoskohdassa on oltava solmupiste. Sauvat liittyvät solmupisteisiin oletusarvona jäykästi ja niiden halutut siirtymät ja kiertymät on vapautettava. Pilareiden alapäähän on lisätty tuet, jotka ovat myös oletusarvona jäykkiä siirtymien ja kiertymien suhteen, joten niiden halutut kiertymät ja siirtymät on vapautettava. Kuviossa 24 on esitetty Jigiin mallinnettu rakennuksen teräsrunko.

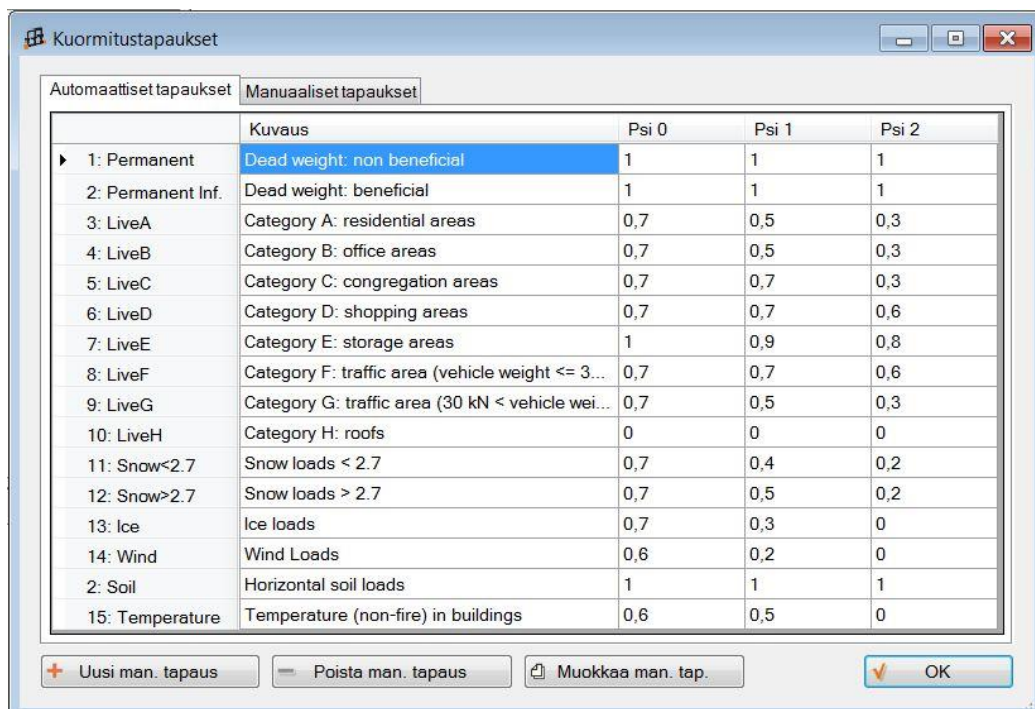


Kuvio 24. Teräsrunko mallinnettuna jigissä

Rungon mitoitusmallin sauvojen profiilit valittiin alustavan mitoituksen ja arvausten perusteella. Sauvojen profiileja muutettiin, kun kuormat oli lisätty ja rakenne mitoitettu jolloin nähtiin minkä rakenneosien kapasiteetti ei riittänyt tai jos jollain rakenneosalla oli huomattavasti ylikapasiteettia. Rakenteissa pyrittiin kuitenkin käyttämään mahdollisimman vähän erilaisia profiileja, jotta rakennuksesta tulisi mahdollisimman yksinkertainen toteuttaa.

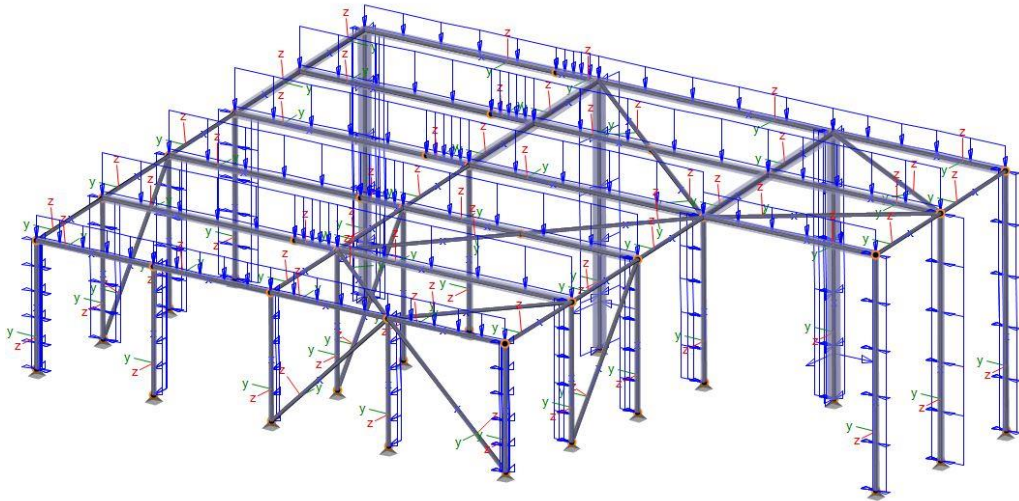
Malliin lisättiin kuormitustapaukset tuulikuormille eri suunnista ovien ollessa kiinni sekä tuulen ollessa suoraan rakennuksen ovista sisään. Jigi luo automaattisesti kuormitusyhdistelyt uusille kuormitustapauksille annetuilla Ψ :n arvoilla mutta koska eri suunnista vaikuttavat tuulikuormat eivät voi vaikuttaa rakenteisiin yhtä aikaa ja siten kumota toisiaan, luotiin myös manuaaliset kuormitusyhdistelyt joissa huomioidaan vain yksi tuulen kuormitustapaus kerrallaan.

Kuviossa 25 on esitetty Jigi- ohjelman valmiit kuormitustapaukset sekä ohjelman niille käyttämät normienmukaiset kuormien yhdistelykertoimet. Kuviossa 26 puolestaan on esitetty rakennuksenteräsrunko ja kaikki siihen kohdistuvat kuormat mallinnettuna.



	Kuvaus	Psi 0	Psi 1	Psi 2
1: Permanent	Dead weight: non beneficial	1	1	1
2: Permanent Inf.	Dead weight: beneficial	1	1	1
3: LiveA	Category A: residential areas	0,7	0,5	0,3
4: LiveB	Category B: office areas	0,7	0,5	0,3
5: LiveC	Category C: congregation areas	0,7	0,7	0,3
6: LiveD	Category D: shopping areas	0,7	0,7	0,6
7: LiveE	Category E: storage areas	1	0,9	0,8
8: LiveF	Category F: traffic area (vehicle weight <= 3...	0,7	0,7	0,6
9: LiveG	Category G: traffic area (30 kN < vehicle wei...	0,7	0,5	0,3
10: LiveH	Category H: roofs	0	0	0
11: Snow<2.7	Snow loads < 2.7	0,7	0,4	0,2
12: Snow>2.7	Snow loads > 2.7	0,7	0,5	0,2
13: Ice	Ice loads	0,7	0,3	0
14: Wind	Wind Loads	0,6	0,2	0
2: Soil	Horizontal soil loads	1	1	1
15: Temperature	Temperature (non-fire) in buildings	0,6	0,5	0

Kuvio 25. Automaattiset kuormitustapaukset ja yhdistelykertoimet jigissä



Kuvio 26. Kaikkien kuormitustapausten kuormat lisättyinä malliin

Alussa malliin tehtiin kuormitustapaukset myös etureunan pilareihin kohdistuvalle onnettomuuskuormille eri suunnista. Kuormitustapauksille tehtiin normin mukaiset onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyt. Kun kuormitustapaukset ja kuormitusyhdistelyt oli tehty, huomattiin, että ohjelman automaattisesti tekemiä kuormitusyhdistelyjä ei pysty muuttamaan eikä uutta kuormitustapausta onnistuttu luomaan niin ettei sille tule automaattisia kuormitusyhdistelyjä. Tästä johtuen päädyttiin onnettomuustapaus tarkastelemaan erillisessä mallissa, koska muuten onnettomuuskuormien kuormitustapaukset normaaleilla osavarmuuskertoimilla vääristävät laskennan tuloksia.

Taipumat

Käytössä ollut versio Jigistä laskee rakenteiden taipumat ja siirtymät, mutta niille ei voi määrittellä raja-arvoa jonka mukaan rakenteet mitoitetaan eikä siten myöskään suoraan ilmoita taipuman käyttöastetta. Tämän vuoksi rakenteen taipuma on tarkastettava itse laskenta tuloksista. Taulukossa 17 on esitetty taipumien ja siirtymien suositellut raja-arvot teräsrakenteille.

Taulukko 17. Taipumien ja siirtymien suositellut raja-arvot teräsrakenteille (SFS-EN 1991-1-1 NA)

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat -vesikatoissa ja katoksissa -välipohjissa	L/300 L/400
Ulokkeet	L/150
Katto-orret	L/200
Seinäorret	L/150
Muotolevyt -katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa -katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa -kun $L \leq 4,5$ m -kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m -kun $L > 6,0$ m -välipohjissa -seinissä -ulokkeissa	L/100 L/150 30 mm L/200 L/300 L/100 L/100
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila -1 ja 2 kerroksiset rakennukset -muut rakennukset	H/150 H/400
L on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, ks. standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite	

Rakennuksen pääkannattajina toimii pääasiassa HEA profiilit. Kannattajien taipumat ovat enimmillään HEA 220 profiileilla noin 40 mm joka tarkoittaa taipumarajana alle L/200. Tätä voidaan pitää kohteessa riittävänä, koska kyseessä on varastorakennus eikä rakenteiden taipuma aiheuta ongelmia muille rakenteille eikä taipuman suuruus vaikuta häiritsevästi rakennuksen ulkonäköön.

Rakennuksen etureunan sekä lastauslaiturin katoksen HEA 220 palkkien taipumat ovat enimmillään noin 20 mm, josta tulee taipumaksi katoksen etureunassa noin L/450 ja lastauslaiturin katoksessa noin L/350, joten taipumat ovat hyvin suositeltujen raja-arvojen sisällä.

Rakennuksen etureunan keskimmäisen HEA 280 palkkien taipuma on alle 30 mm, joka tarkoittaa taipumarajana noin L/250. Reunapalkeilla taipuma on noin 20 mm, jolloin taipumaksi tulee noin L/350.

Jäykistys

Rakenteen jäykistys on toteutettu yläpohjassa sekä seinissä putkiprofiileilla, jotka toimivat sekä vedettyinä että puristettuina rakenteina kuormitustapauksista riippuen. Rakenteen kokonaisjäykkyydelle lisävarmuutta tuo yläpohjan sekä seinien kantava poimulevy pellitys, jota ei kuitenkaan ole huomioitu laskennassa jäykistävänä rakenteena.

Pilarien onnettomuusmitoitus

Rakennuksen etureunan pilarit tuli mitoittaa kestäämään myös mahdolliset törmäykset. Törmäyskuormat mallinnettiin aluksi samaan malliin kaikkien muiden kuormien kanssa, mutta ohjelma loi onnettomuuskuormalle automaattisesti kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelyt normaalien yhdistelykaavojen mukaan. Ohjelman automaattisia kuormitusyhdistelyjä ei onnistuttu muokkaamaan, joten mitoitavaksi kuormitusyhdistelyksi tuli virheellisesti kuormitustapaus, jossa onnettomuuskuorman kertoimena oli muuttuvan kuorman kerroin 1,5.

Ongelma ratkaistiin kopioimalla mitoitusmalli. Toisesta mallista poistettiin kaikki onnettomuuskuormat ja siinä tarkasteltiin pelkästään normaalin tilanteen kuormitustapaukset. Toisessa mallissa tarkasteltiin vain rakennuksen etureunan pilareiden onnettomuustilanteen kestävyys. Jotta ohjelman automaattisesti luomat kuormitustapaukset eivät vääristäisi tuloksia, määriteltiin mallissa onnettomuuskuorma puoleen todellisesta ja määriteltiin manuaaliseen kuormitusyhdistelyyn onnettomuuskuormalle kerroin 2. (Ks. kuvio 27.) Näiden toimenpiteiden jälkeen ohjelman onnettomuuskuormille luomat virheelliset kuormitusyhdistelyt eivät vääristä laskennan tuloksia vaan määrääviksi kuormitustapauksiksi muodostuvat manuaalisesti luotujen onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyjen tulokset.

	Snow<2.7	Snow>2.7	Ice	Wind	Soil	Temperature	Tuulix Case 101	Tuuliy 102	Tuuli x ovet auki 103	Tuuli seinämälle 104	Onnettomuus 1	Onnettomuus 2
113 O 1 + tuuli x + lumi	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
114 O 1 + tuuli y + lumi	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.00	0.00	2.00	0.00
115 O 1 + tuuli x_ ovetauki + lumi	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.2	0.00	2.00	0.00
116 O 2 + tuuli x + lumi	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
117 O 2 + tuuli y + lumi	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.2	0.00	0.00	0.00	2.00
118 O 2 + tuuli x_ ovetauki + lumi	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.2	0.00	0.00	2.00
119 O 1 + lumi + x	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
120 O 1 + lumi + y	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
121 O 1 + lumi + x_ ovetauki	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
122 O 2 + lumi + x	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
123 O 2 + lumi + y	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
124 O 2 + lumi + x_ ovet auki	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	2.00
125 O 1 + tuuli x EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
126 O 1 + tuuli y EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	2.00	0.00
127 O 1 + tuuli x_ ovet auki EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	2.00	0.00
128 O 2 + tuuli x EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0	0.00	0.00	0.00	2.00
129 O 2 + tuuli y EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0	0.00	0.00	2.00
130 O 2 + tuuli x_ ovet auki EI lunta	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.2	0.00	0.00	2.00

Kuvio 27. onnettomuustilanteen manuaaliset kuormitusyhdistelyt

Onnettomuuskuormat olisi voitu ottaa tällä tavoin mukaan samaan malliin myös normaalien kuormitustapausten kanssa mutta tarkastelemalla onnettomuuskuormat erimallissa haluttiin varmistua siitä ettei mikään virheellinen kuormitusyhdistely vahingossakaan jää vääristämään laskennan tuloksia.

Mitoituksen tulokset

Mitoituksen tuloksena kaikkien rakenneosien todettiin kestävän niihin kohdistuvat kuormitukset. Liitteessä 2 on esitetty Jigi:stä saatava yhteenvetoraportti laskennan tuloksista. Raportista selviää kaikkien solmupisteiden sijainti koordinaatteina, mitoitetujen sauvojen profiilit, niiden suurin käyttöaste sekä määräävä kuormitusyhdistelmä. Lisäksi raportista ilmenee kaikki rakenteiden kuormat, tukien tukireaktiot sekä rakenteen solmusiirtymät. Kuva mitoitusmallista on esitetty liitteessä 1.

Liitteessä 3 on esitetty yksinkertainen mitoitusraportti rakennuksen etureunan keskipilarista onnettomuustilanteessa. Yksinkertaisessa mitoitusraportissa on esitetty rakenteen kestävyys eri rasiusten suhteen tarkemmin kuin yhteenvetoraportissa.

Liitteenä 4 on esimerkki rakennuksen yläpohjapalkin kattavasta mitoitusraportissa, jossa on käyty läpi rakenneosan mitoitus kaikkien rasiusten suhteen. Raportissa esitetään mitoitus jokaisen rasiuksen suhteen kaavoineen. Liitteessä 4 on esitetty rakennuksen runkokaaviot, joista selviää rakenteisiin valitut profiilit.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa jätteenkuormauskatoksen teräsrunko. Mitoituksen lähtökohtana oli mitoittaa rakennuksen runko kestämään tuuli- ja lumikuormien lisäksi mahdolliset törmäykset kuorma-autolla ja pyöräkuormaajalla. Myös tuulikuorman mitoituksessa piti ottaa huomioon se onko rakennuksen suuret nosto-ovet auki vai kiinni koska sillä oli merkittävä vaikutus eri osapintoihin vaikuttavan tuulikuorman suuruuteen.

Katoksen lähtötietoina saatiin rakennuksen mitat, joiden pohjalta alettiin suunnitella rakennuksen runkoa. Rakennuksen betonirakenteisten silojen seinät toimivat samalla teräsrungon perustuksina ja niiden on kestettävä varastoitavan jätteen painon lisäksi pyöräkuormaajan törmäyskuormia sekä teräsrungolta tulevat kuormat. Rakennuksen etureunaan suunniteltiin aluksi betoniset peruspilarit, jotka oli mitoitettu onnettomuuskuormille. Suunnittelun edetessä etureunan pilarit päädyttiin kuitenkin tekemään betonitäytteisinä teräspilareina lattiatasosta ylöspäin, koska muuten nosto-ovien kiinnitys olisi muodostunut turhan monimutkaiseksi peruspilarin ja teräspilarin liitoskohdassa. Etureunan pilareiden profiiliksi valittiin 300x300 putkipilarit, koska betoniseiniä paksuuden ollessa 300 mm liitoksista muodostui siten mahdollisimman yksinkertaiset.

Rungon mitoitus tehtiin Jigi mitoitusohjelmalla, johon teräsrunko mallinnettiin sauvoina. Sauvoille annettiin profiilit alustavan mitoituksen perusteella. Kun kaikki sauvat ja kuormat oli mallinnettu, suoritettiin mitoitus. Sauvojen kokoa muutettiin tulosten mukaan siten, että kaikilla sauvoilla on riittävä kapasiteetti, mutta ei kuitenkaan suurta ylikapasiteettia, kuitenkin siten että käytettiin mahdollisimman vähän eri profiileja.

Rakennuksen pilareiden onnettomuusmitoitus tuotti jonkin verran haasteita, jotka tulivat esille kun onnettomuustapaukselle lisättiin kuormitustapaus, jolloin ohjelma loi automaattisesti uudet kuormitusyhdistelyt murtorajatilassa eikä automaattisia kuormitusyhdistelyjä onnistuttu poistamaan. Tästä johtuen virheelli-

set kuormitustapaukset aiheuttivat suurimat käyttöasteet rakenteille. Ongelma ratkaistiin lopulta kopiaimalla valmis laskentamalli. Toisesta mallista poistettiin onnettomuuskuormat, jolloin saatiin rakenteiden käyttöasteet normaaleilla kuormitusyhdistelmillä ja toisessa mallissa tarkistettiin vain etureunan pilareiden kapasiteetit manuaalisesti luoduilla onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyillä.

Työn tuloksena rakennuksen runko saatiin mitoittettua ja samalla teräsrakenteiden mitoittaminen eurokoodien mukaan tuli tutummaksi, mikä oli työssä tavoitteena. Työssä tuli myös tutustuttua tarkemmin Jigin käyttöön mitoituksessa ja samalla tehtiin joitakin huomioita ohjelmasta, jotka on hyvä tietää rakenteita mitoittaessa. Yksi esille tulleista asioista oli, että ohjelman käytössä ollut versio ei ota taipumaa huomioon käyttöastetta ilmoitettaessa vaan se on tarkistettava erikseen. Toinen esille tullut asia liittyi teräsrakenteiden poikkileikkausluokkaan, esimerkiksi kokeiltaessa poikkileikkausluokkaan 4 kuuluvaa 300X300X6 pilaria ohjelma ilmoitti tuloksissa poikkileikkausluokaksi 1 ja ilmeisesti myös mitoitti rakenteen sen mukaan antamatta mitään varoitusta asiasta. Kolmas ohjelman käyttöön liittyvä huomio liittyi onnettomuusmitoitukseen. Vaikka ohjelmaan voi luoda omia kuormitusyhdistelmiä ja -tapauksia, ei ohjelman automaattisesti luomia kuormitusyhdistelmiä onnistuttu muokkaamaan, joten onnettomuuskuormat vääristivät normaalin mitoituksen tuloksia.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli aiheena mielenkiintoinen ja siinä tuli perehdyttyä asioihin, joista on varmasti hyötyä myöhempää työuraa ajatellen

Lähteet

Hitsatut profiilit EN 1993 –käsikirja. 2010. Hämeenlinna : Rautaruukki Oyj.

NA SFS-EN 1990 2006. Eurokoodi: Rakenteidensuunnitteluperusteet. Helsinki: ympäristöministeriö.

NA SFS-EN 1991-1-7. 2009. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki: Ympäristöministeriö.

NA SFS-EN 1993-1-1. 2007. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakenneputket EN 1993 –käsikirja. 2012. Hämeenlinna : Rautaruukki Oyj.

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint ry.

RT 10–10387. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennustieto Oy

SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2007. Eurokoodi: Rakenteidensuunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-3 + AC. 2004. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-4 + AC. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat Osa 1-3: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

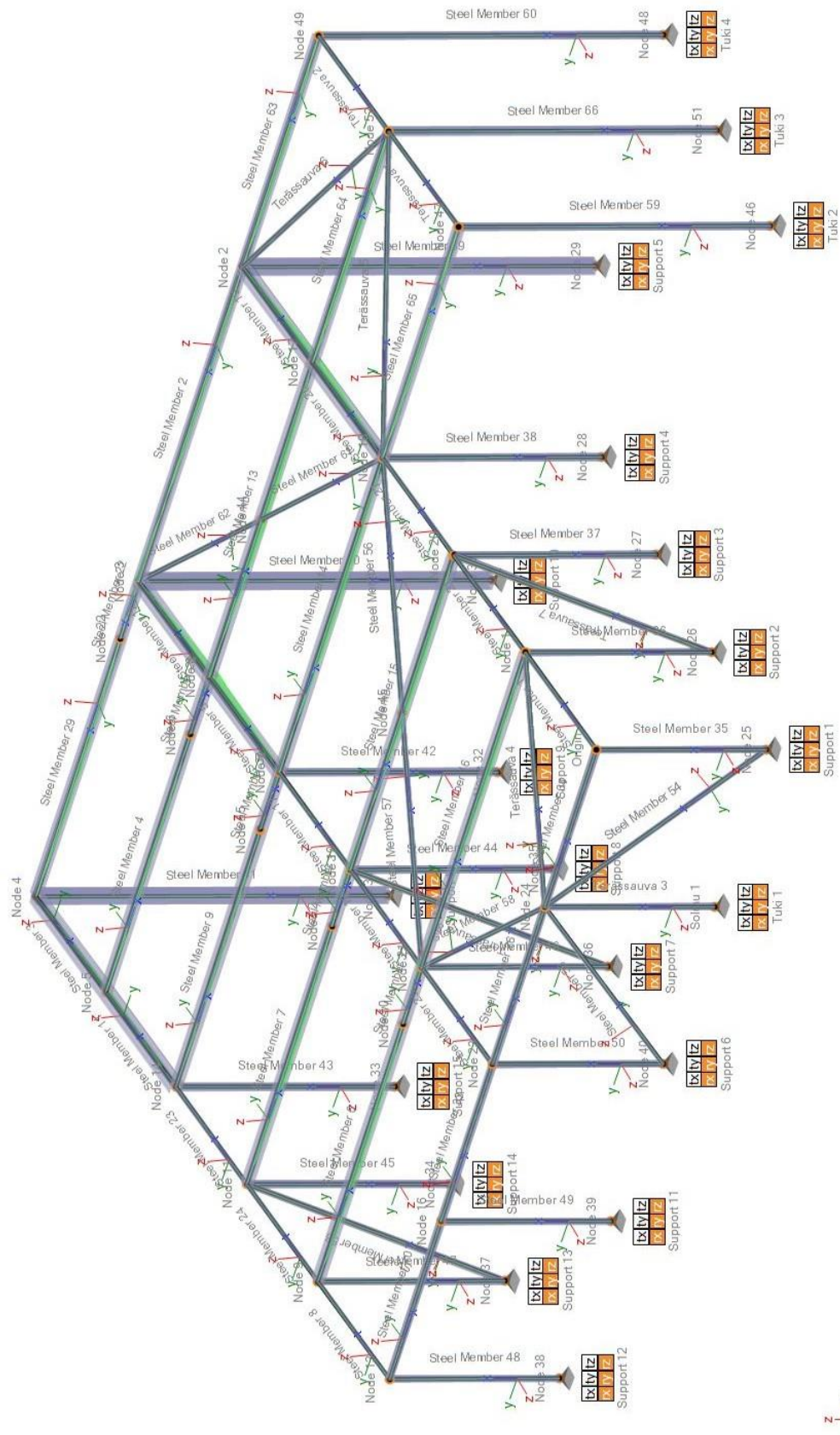
SFS-EN 1991-1-7 + AC. 2007. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

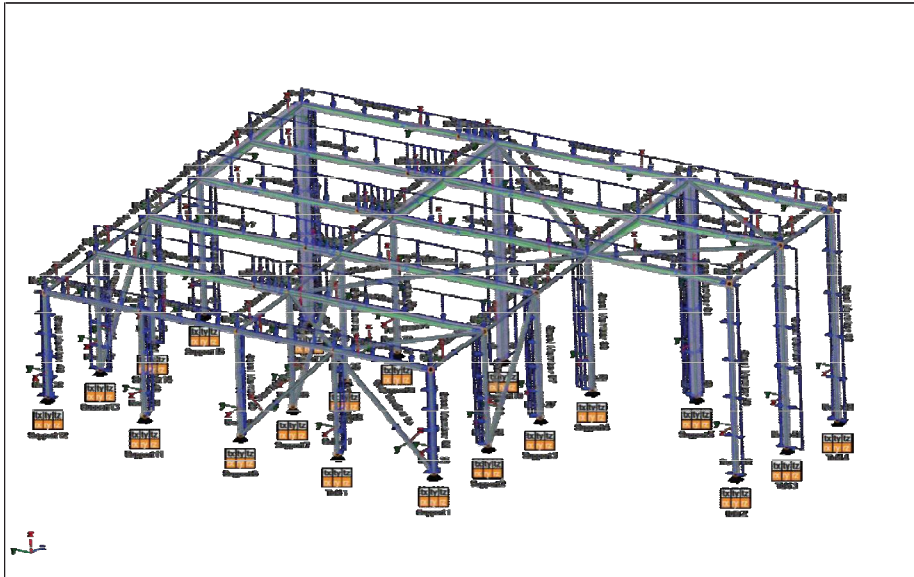
Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2010. Eurocode 3 oppikirja. Teäsrakenneyhdistys ry

Liitteet

Liite 1. Rakennuksen runko mallinnettuna Jigissä



Liite 2 . Rakennelaskelmien yhteenvetoraportti Jigi- mitoitusohjelmasta



Solmut

Nimi	X	Y	Z
Origin	0	0	3,5
Node 1	3,565	-1,45519E-14	3,9
Node 2	17,7	-1,45519E-14	5,5
Node 3	17,7	8,849999999999999	5,5
Node 4	17,7	17,7	5,5
Node 5	14,2	17,7	5,1
Node 6	14,2	10,45	5,1
Node 7	10,7	8,849999999999999	4,7
Node 8	14,2	8,849999999999999	5,1
Node 9	3,565000000000001	17,7	3,9
Node 10	3,565000000000001	10,45	3,9
Node 11	7,135000000000002	17,7	4,3
Node 12	7,135000000000001	10,45	4,3
Node 13	1,63709E-14	17,7	3,5
Node 14	10,7	17,7	4,7
Node 15	10,7	10,45	4,7
Node 16	1,27329E-14	13,275	3,5
Node 17	14,2	-1,45519E-14	5,1
Node 18	10,7	-1,45519E-14	4,7
Node 19	7,135000000000001	8,849999999999996	4,3
Node 20	7,135	0	4,3
Node 21	3,565000000000001	8,849999999999998	3,9
Node 22	17,7	10,45	5,5
Node 23	9,0949E-15	8,849999999999997	3,5
Node 24	7,276E-15	4,424999999999998	3,5
Node 25	0	0	-0,7
Node 26	3,565	-1,45519E-14	-0,7
Node 27	7,135	0	-0,7
Node 28	10,7	-1,45519E-14	-0,7
Node 29	17,7	-1,45519E-14	-3,2
Node 30	17,7	8,849999999999999	-3,2
Node 31	17,7	17,7	-3,2
Node 32	10,7	8,849999999999999	-0,7
Node 33	10,7	17,7	-0,7
Node 34	7,135000000000002	17,7	-0,7

Node 35	7,13500000000001	8,84999999999996	-0,7
Node 36	3,56500000000001	8,84999999999998	-0,7
Node 37	3,56500000000001	17,7	-0,7
Node 38	1,63709E-14	17,7	-0,7
Node 39	1,27329E-14	13,275	-0,7
Node 40	9,0949E-15	8,84999999999997	-0,7
Node 44	14,2	4,42499999999999	5,1
Node 45	7,135	4,425	4,3
Node 46	10,7	-6,50000000000001	-3
Node 47	10,7	-6,50000000000001	4,7
Node 48	17,7	-6,50000000000001	-3
Node 49	17,7	-6,50000000000001	5,5
Node 51	14,2	-6,50000000000001	-3
Node 52	14,2	-6,50000000000001	5,1
Solmu 1	7,276E-15	4,42499999999998	-0,7

Sauvat

Yhteenveto

Nimi	Materiaali	Kääntökulma [aste]	Poikkileikkaus	Alkupään solmu	Loppupään solmu	Käyttöaste	Mitoitettu	Suunta	Tilanne: kuormitustapaus
Steel Member 1	S355	0	SHS 80x80x4	Origin	Node 1	0,03	<input type="checkbox"/> T _{Ed}	x	lumi+tuuli seinÄmÄ
Steel Member 2	S355	6,3	HEA 220	Node 2	Node 3	0,79	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 3	S355	0	HEA 280	Node 4	Node 5	0,24	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 4	S355	6,3	HEA 220	Node 5	Node 6	0,83	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 5	S355	0	HEA 280	Node 7	Node 8	0,81	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 6	S355	6,3	HEA 220	Node 9	Node 10	0,90	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 7	S355	6,3	HEA 220	Node 11	Node 12	0,81	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 8	S355	0	SHS 80x80x4	Node 13	Node 9	0,03	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	x	Action Permanent Sup.
Steel Member 9	S355	6,3	HEA 220	Node 14	Node 15	0,75	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 10	S355	6,3	SHS 140x140x6	Node 13	Node 16	0,49	<input type="checkbox"/> M _{Ed}	Z	lumi+tuuli seinÄmÄ
Steel Member 11	S355	0	HEA 280	Node 5	Node 14	0,28	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 12	S355	0	HEA 280	Node 8	Node 3	0,73	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 13	S355	6,3	HEA 220	Node 8	Node 17	0,70	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 14	S355	6,3	HEA 220	Node 7	Node 18	0,78	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 15	S355	6,3	HEA 220	Node 19	Node 20	0,82	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 16	S355	6,3	HEA 220	Node 21	Node 1	0,83	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 17	S355	0	SHS 80x80x4	Node 19	Node 7	0,24	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	tuuli x EI lunta
Steel Member 18	S355	0	SHS 80x80x4	Node 21	Node 19	0,69	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Steel Member 19	S355	0	HEA 280	Node 17	Node 2	0,48	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 20	S355	0	HEA 280	Node 18	Node 17	0,53	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 21	S355	0	SHS 80x80x4	Node 1	Node 20	0,18	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	Tuuli seinÄmÄ EI lunta
Steel Member 22	S355	6,3	HEA 220	Node 3	Node 22	0,32	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 23	S355	0	SHS 80x80x4	Node 11	Node 14	0,18	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuulix Case 101
Steel Member 24	S355	0	SHS 80x80x4	Node 9	Node 11	0,07	<input type="checkbox"/> T _{Ed}	x	ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Steel Member 25	S355	0	SHS 80x80x4	Node 23	Node 21	0,04	<input type="checkbox"/> T _{Ed}	x	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Steel Member 26	S355	6,3	SHS 140x140x6	Node 23	Node 24	0,35	<input type="checkbox"/> M _{Ed}	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 27	S355	0	SHS 80x80x4	Node 20	Node 18	0,50	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Steel Member 28	S355	6,3	HEA 220	Node 6	Node 8	0,53	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 29	S355	6,3	HEA 220	Node 22	Node 4	0,51	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 30	S355	6,3	HEA 220	Node 15	Node 7	0,47	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 31	S355	6,3	HEA 220	Node 12	Node 19	0,50	<input type="checkbox"/> LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 32	S355	6,3	HEA 220	Node 10	Node 21	0,57	<input type="checkbox"/> N _{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7
Steel Member 33	S355	6,3	SHS 140x140x6	Node 16	Node 23	0,49	<input type="checkbox"/> M _{Ed}	Z	lumi+tuuli seinÄmÄ
Steel Member 34	S355	6,3	SHS	Node 24	Origin	0,35	<input type="checkbox"/>	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7

			140x140x6					M_{Ed}			
Steel Member 35	S355	0	SHS 120x120x5	Node 25	Origin	0,16	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	
Steel Member 36	S355	0	SHS 120x120x5	Node 26	Node 1	0,42	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuulix ovetauki +lumi	
Steel Member 37	S355	0	SHS 140x140x6	Node 27	Node 20	0,31	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	
Steel Member 38	S355	0	SHS 140x140x6	Node 28	Node 18	0,59	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	
Steel Member 39	S355	0	SHS 300x300x8	Node 29	Node 2	0,32	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y&Z	Tuulix + lumi	
Steel Member 40	S355	0	SHS 300x300x8	Node 30	Node 3	0,34	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y&Z	ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	
Steel Member 41	S355	0	SHS 300x300x8	Node 31	Node 4	0,30	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y&Z	ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	
Steel Member 42	S355	0	SHS 140x140x6	Node 32	Node 7	0,67	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7	
Steel Member 43	S355	0	SHS 140x140x6	Node 33	Node 14	0,49	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	
Steel Member 44	S355	0	SHS 140x140x6	Node 35	Node 19	0,70	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuliy 102	
Steel Member 45	S355	0	SHS 140x140x6	Node 34	Node 11	0,31	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	Lumi+tuuli xovetauki	
Steel Member 46	S355	0	SHS 120x120x5	Node 36	Node 21	0,64	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Snow<2.7	
Steel Member 47	S355	0	SHS 120x120x5	Node 37	Node 9	0,42	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuulix ovetauki +lumi	
Steel Member 48	S355	0	SHS 120x120x5	Node 38	Node 13	0,16	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli y + lumi	
Steel Member 49	S355	0	SHS 120x120x5	Node 39	Node 16	0,46	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y	lumi+tuuli seinÄmÄ	
Steel Member 50	S355	0	SHS 120x120x5	Node 40	Node 23	0,22	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y	Lumi+tuuli xovetauki	
Steel Member 53	S355	0	SHS 120x120x6	Node 37	Node 11	0,22	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	
Steel Member 54	S355	0	SHS 100x100x5	Node 25	Node 24	0,69	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli y + lumi	
Steel Member 55	S355	0	SHS 100x100x5	Node 40	Node 24	0,38	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
Steel Member 61	S355	0	SHS 100x100x5	Node 18	Node 44	0,38	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuliy 102	
Steel Member 62	S355	0	SHS 100x100x5	Node 44	Node 3	0,32	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	lumi+tuuli seinÄmÄ	
Steel Member 56	S355	0	SHS 100x100x5	Node 18	Node 45	0,54	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli seinÄmÄ EI lunta	
Steel Member 57	S355	0	SHS 100x100x5	Node 45	Node 21	0,54	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli seinÄmÄ EI lunta	
Steel Member 58	S355	0	SHS 100x100x5	Node 21	Node 24	0,42	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli y + lumi	
Steel Member 59	S355	0	SHS 140x140x6	Node 46	Node 47	0,44	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
Steel Member 60	S355	0	SHS 140x140x6	Node 48	Node 49	0,54	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
Steel Member 63	S355	6,3	HEA 220	Node 49	Node 2	0,26	<input type="checkbox"/>	LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7	
Steel Member 64	S355	6,3	HEA 220	Node 52	Node 17	0,46	<input type="checkbox"/>	LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7	
Steel Member 65	S355	6,3	HEA 220	Node 47	Node 18	0,26	<input type="checkbox"/>	LTB	Y	ULS: 1.5 x Snow<2.7	
Steel Member 66	S355	0	SHS 160x160x6	Node 51	Node 52	0,82	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Z	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
TerÄssauva 1	S355	0	SHS 80x80x4	Node 47	Node 52	0,02	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y	ULS: 1.35 x Perm.	
TerÄssauva 2	S355	0	SHS 80x80x4	Node 52	Node 49	0,02	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y	ULS: 1.35 x Perm.	
TerÄssauva 3	S355	0	SHS 120x120x5	Solmu 1	Node 24	0,33	<input type="checkbox"/>	M_{Ed}	Y	ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	
TerÄssauva 4	S355	0	SHS 100x100x5	Node 24	Node 1	0,28	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli seinÄmÄ EI lunta	
TerÄssauva 5	S355	0	SHS 100x100x5	Node 18	Node 52	0,26	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
TerÄssauva 6	S355	0	SHS 100x100x5	Node 52	Node 2	0,26	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	
TerÄssauva 7	S355	0	SHS 120x120x6	Node 26	Node 20	0,89	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	ULS: 1.5 x Tuuliy 102	
TerÄssauva 8	S355	0	SHS 120x120x6	Node 36	Node 19	0,67	<input type="checkbox"/>	N_{Ed}	Y&Z)	Tuuli seinÄmÄ EI lunta	

Kuormat

Jatkuvat kuormat

Nimi	Elementti	qx [kN/m]	qy [kN/m]	qz [kN/m]	Projisoitu
Jatkuva kuorma 1	Steel Member 29	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 2	Steel Member 22	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 3	Steel Member 2	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 4	Steel Member 63	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 5	Steel Member 65	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 6	Steel Member 34	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 7	Steel Member 26	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 8	Steel Member 33	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 9	Steel Member 10	0,0	0,0	-0,7	False
Jatkuva kuorma 10	Steel Member 4	0,0	0,0	-0,4	False
Jatkuva kuorma 11	Steel Member 28	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 12	Steel Member 13	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 13	Steel Member 64	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 14	Steel Member 14	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 15	Steel Member 30	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 16	Steel Member 9	0,0	0,0	-0,4	False
Jatkuva kuorma 17	Steel Member 7	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 18	Steel Member 31	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 19	Steel Member 15	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 20	Steel Member 16	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 21	Steel Member 32	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 22	Steel Member 6	0,0	0,0	-1,3	False
Jatkuva kuorma 23	Steel Member 29	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 24	Steel Member 22	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 25	Steel Member 2	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 26	Steel Member 63	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 27	Steel Member 65	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 28	Steel Member 34	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 29	Steel Member 26	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 30	Steel Member 33	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 31	Steel Member 10	0,0	0,0	-4,6	False
Jatkuva kuorma 32	Steel Member 4	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 33	Steel Member 28	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 34	Steel Member 13	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 35	Steel Member 64	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 36	Steel Member 9	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 37	Steel Member 30	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 38	Steel Member 14	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 39	Steel Member 15	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 40	Steel Member 31	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 41	Steel Member 7	0,0	0,0	-8,1	False
Jatkuva kuorma 42	Steel Member 6	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 43	Steel Member 32	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 44	Steel Member 16	0,0	0,0	-8,4	False
Jatkuva kuorma 45	Steel Member 48	-0,8	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 46	Steel Member 35	-0,8	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 47	Steel Member 50	-1,5	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 48	Steel Member 49	-2,5	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 49	Teräessauva 3	-2,5	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 50	Steel Member 48	0,0	0,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 51	Steel Member 35	0,0	-0,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 52	Steel Member 59	0,0	-0,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 53	Steel Member 60	0,0	-1,4	0,0	False
Jatkuva kuorma 54	Steel Member 66	0,0	-1,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 55	Steel Member 36	0,0	-2,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 56	Steel Member 37	0,0	-2,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 57	Steel Member 38	0,0	-3,5	0,0	False
Jatkuva kuorma 58	Steel Member 39	0,0	-3,1	0,0	False
Jatkuva kuorma 59	Steel Member 47	0,0	2,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 60	Steel Member 45	0,0	2,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 61	Steel Member 43	0,0	3,5	0,0	False
Jatkuva kuorma 62	Steel Member 41	0,0	3,1	0,0	False
Jatkuva kuorma 63	Steel Member 41	-3,1	0,0	0,0	False

Jatkuva kuorma 64	Steel Member 39	-3,1	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 65	Steel Member 40	-6,2	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 66	Steel Member 60	0,0	-0,5	0,0	False
Jatkuva kuorma 67	Steel Member 66	0,0	-1,7	0,0	False
Jatkuva kuorma 68	Steel Member 59	0,0	-0,5	0,0	False
Jatkuva kuorma 69	Steel Member 39	0,0	-1,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 70	Steel Member 38	0,0	-2,2	0,0	False
Jatkuva kuorma 71	Steel Member 37	0,0	-1,7	0,0	False
Jatkuva kuorma 72	Steel Member 36	0,0	-1,7	0,0	False
Jatkuva kuorma 73	Steel Member 35	0,0	-0,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 74	Steel Member 48	0,0	-1,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 75	Steel Member 47	0,0	-2,7	0,0	False
Jatkuva kuorma 76	Steel Member 45	0,0	-2,7	0,0	False
Jatkuva kuorma 77	Steel Member 43	0,0	-3,4	0,0	False
Jatkuva kuorma 78	Steel Member 41	0,0	-2,4	0,0	False
Jatkuva kuorma 79	Steel Member 41	3,7	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 80	Steel Member 40	6,0	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 81	Steel Member 39	2,9	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 82	Steel Member 35	-1,1	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 83	TerÄssauva 3	-3,7	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 84	Steel Member 50	-2,2	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 85	Steel Member 49	-4,2	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 86	Steel Member 48	-1,6	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 87	Steel Member 41	0,0	4,1	0,0	False
Jatkuva kuorma 88	Steel Member 43	0,0	4,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 89	Steel Member 45	0,0	3,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 90	Steel Member 47	0,0	3,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 91	Steel Member 48	0,0	1,3	0,0	False
Jatkuva kuorma 92	Steel Member 35	0,0	-1,3	0,0	False
Jatkuva kuorma 93	Steel Member 36	0,0	-3,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 94	Steel Member 37	0,0	-3,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 95	Steel Member 38	0,0	-4,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 96	Steel Member 39	0,0	-4,1	0,0	False
Jatkuva kuorma 97	Steel Member 35	-1,2	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 98	TerÄssauva 3	-3,9	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 99	Steel Member 50	-2,4	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 100	Steel Member 49	-3,9	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 101	Steel Member 48	-1,2	0,0	0,0	False
Jatkuva kuorma 102	Steel Member 60	0,0	-1,4	0,0	False
Jatkuva kuorma 103	Steel Member 66	0,0	-1,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 104	Steel Member 59	0,0	-0,6	0,0	False
Jatkuva kuorma 105	Steel Member 59	0,0	2,2	0,0	False
Jatkuva kuorma 106	Steel Member 66	0,0	4,9	0,0	False
Jatkuva kuorma 107	Steel Member 60	0,0	2,2	0,0	False
Omapaino 1	Steel Member 1	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 2	Steel Member 2	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 3	Steel Member 3	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 4	Steel Member 4	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 5	Steel Member 5	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 6	Steel Member 6	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 7	Steel Member 7	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 8	Steel Member 8	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 9	Steel Member 9	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 10	Steel Member 10	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 11	Steel Member 11	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 12	Steel Member 12	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 13	Steel Member 13	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 14	Steel Member 14	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 15	Steel Member 15	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 16	Steel Member 16	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 17	Steel Member 17	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 18	Steel Member 18	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 19	Steel Member 19	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 20	Steel Member 20	0,0	0,0	-0,8	False
Omapaino 21	Steel Member 21	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 22	Steel Member 22	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 23					

	Steel Member 23	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 24	Steel Member 24	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 25	Steel Member 25	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 26	Steel Member 26	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 27	Steel Member 27	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 28	Steel Member 28	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 29	Steel Member 29	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 30	Steel Member 30	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 31	Steel Member 31	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 32	Steel Member 32	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 33	Steel Member 33	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 34	Steel Member 34	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 35	Steel Member 35	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 36	Steel Member 36	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 37	Steel Member 37	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 38	Steel Member 38	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 39	Steel Member 39	0,0	0,0	-0,7	False
Omapaino 40	Steel Member 40	0,0	0,0	-0,7	False
Omapaino 41	Steel Member 41	0,0	0,0	-0,7	False
Omapaino 42	Steel Member 42	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 43	Steel Member 43	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 44	Steel Member 44	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 45	Steel Member 45	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 46	Steel Member 46	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 47	Steel Member 47	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 48	Steel Member 48	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 49	Steel Member 49	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 50	Steel Member 50	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 51	Steel Member 53	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 52	Steel Member 54	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 53	Steel Member 55	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 54	Steel Member 61	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 55	Steel Member 62	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 56	Steel Member 56	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 57	Steel Member 57	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 58	Steel Member 58	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 59	Steel Member 59	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 60	Steel Member 60	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 61	Steel Member 63	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 62	Steel Member 64	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 63	Steel Member 65	0,0	0,0	-0,5	False
Omapaino 64	Steel Member 66	0,0	0,0	-0,3	False
Omapaino 65	TerÄssauva 1	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 66	TerÄssauva 2	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 67	TerÄssauva 3	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 68	TerÄssauva 4	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 69	TerÄssauva 5	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 70	TerÄssauva 6	0,0	0,0	-0,1	False
Omapaino 71	TerÄssauva 7	0,0	0,0	-0,2	False
Omapaino 72	TerÄssauva 8	0,0	0,0	-0,2	False

Tukireaktiot

Nimi	Fx/kuormitustapaus [kN]	Fy/kuormitustapaus [kN]	Fz/kuormitustapaus [kN]	Mx/kuormitustapaus [kNm]	My/kuormitustapaus [kNm]	Mz/kuormitustapaus [kNm]
Support 1	-0,05/Tuuli seinÄmÄ EI lunta 4,18/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-25,09/Tuuli seinÄmÄ EI lunta 59,76/Tuuli y + lumi	-20,51/Tuuli seinÄmÄ EI lunta 65,89/Tuuli y + lumi	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 2	-86,46/Tuuli seinÄmÄ EI lunta 116,87/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,02/ULS: 1.5 x Snow<2.7 12,34/Lumi+tuuli xovetauki	-111,28/Tuuli seinÄmÄ EI lunta 205,14/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 3	0,00/Tuulix + lumi 0,00/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,00/Action Tuuli seinÄmÄle 104 13,58/ULS: 1.5 x Tuuli x	-133,27/lumi+tuuli seinÄmÄ 145,57/ULS: 1.5 x Tuuli	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/

	ovet auki 103	seinÄmÄlle 104			
Support 4 -	0,00/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 0,02/tuuli x EI lunta	0,00/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 19,85/Lumi+tuuli xovetauki	-0,22/Action Tuuli seinÄmÄlle 104 135,33/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 5	-18,92/ULS: 1.5 x Tuuliy 102 20,22/tuuli x EI lunta	0,00/ULS/EQU 26,75/Tuulix ovetauki +lumi	-1,35/Action Tuulix Case 101 117,00/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 6	0,00/ULS: 1.35 x Perm. 7,27/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	- 31,27/TuuliseinÄmÄlle+lumi 48,46/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-42,41/lumi+tuuli seinÄmÄlle 50,79/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 7	-146,17/ULS: 1.5 x Tuuliy 102 85,97/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta	-1,88/ULS: 1.5 x Snow<2.7 0,05/Action Tuuli x ovet auki 103	-172,62/lumi+tuuli seinÄmÄlle 229,93/TuuliseinÄmÄlle+lumi	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 8	-0,11/ULS: 1.5 x Tuuliy 102 0,02/Action Tuuli seinÄmÄlle 104	-1,25/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 1,38/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-85,69/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 301,86/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 9	0,00/ULS: 1.5 x Tuuliy 102 0,00/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta	-1,81/TuuliseinÄmÄlle+lumi 0,43/Action Tuuliy 102	-0,35/Action Tuuliy 102 224,62/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 10	-39,14/lumi+tuuli seinÄmÄlle 40,43/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-2,14/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 0,94/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-3,27/Action Tuulix Case 101 173,41/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 11	0,00/ULS: 1.5 x Snow<2.7 13,98/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-0,03/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 0,05/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,00/Action Tuuliy 102 44,97/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 12	-0,02/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 4,80/Tuuli y + lumi	-4,10/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103 3,15/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-0,88/Action Tuuliy 102 14,29/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 13	-13,15/lumi+tuuli seinÄmÄlle 27,33/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-12,37/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103 9,20/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-12,35/Action Tuuliy 102 79,77/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 14	0,00/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 0,00/Tuuli y + lumi	-13,56/Lumi+tuuli xovetauki 10,24/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-24,22/tuuli x EI lunta 56,76/Tuuli y + lumi	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 15	0,00/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 0,00/Tuuli y + lumi	-19,85/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103 13,77/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-0,03/Action Tuuliy 102 77,25/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Support 16	-24,14/lumi+tuuli seinÄmÄlle 20,23/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-26,75/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103 15,66/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-1,54/Action Tuulix Case 101 64,85/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Tuki 1	0,00/Action Tuuli seinÄmÄlle 104 11,52/Tuulix ovetauki +lumi	-0,03/TuuliseinÄmÄlle+lumi 0,05/lumi+tuuli seinÄmÄlle	-0,64/Action Tuuli x ovet auki 103 30,69/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Tuki 2	0,00/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 0,00/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-12,71/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 3,47/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	0,00/Action Tuuli seinÄmÄlle 104 29,23/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Tuki 3	0,00/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 0,01/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-29,77/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta 11,54/Lumi+tuuli xovetauki	0,00/Action Tuuli seinÄmÄlle 104 51,85/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/
Tuki 4	0,00/lumi+tuuli seinÄmÄlle 0,00/Tuulix + lumi	-14,03/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104 8,93/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	0,00/Action Tuuliy 102 29,46/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,00/ 0,00/	0,00/ 0,00/

Solmusiirtymät

Solmu	ux/kuormitustapaus	uy/kuormitustapaus	uz/kuormitustapaus	rx/kuormitustapaus	ry/kuormitustapaus	rz/kuormitustapaus
Origin	-5,73/lumi+tuuli	-1,57/Tuuli y +	-0,12/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0061/Lumi+tuuli xovetauki	0,0071/ULS: 1.5 x	0,0201/ULS: 1.5 x

	seinÄmÄ	lumi			Tuuli x ovet auki 103	Tuuli x ovet auki 103
Node 1	-5,68/lumi+tuuli seinÄmÄ	-8,49/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,53/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0204/Lumi+tuuli xovetauki	0,0009/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	0,1042/Lumi+tuuli xovetauki
Node 2	-5,78/lumi+tuuli seinÄmÄ	-37,89/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,52/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0050/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0051/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,0647/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Node 3	9,03/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-37,79/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,77/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0044/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0095/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-0,0009/lumi+tuuli seinÄmÄ
Node 4	-1,48/tuuli x EI lunta	-37,89/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,28/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0078/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0055/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,1817/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 5	2,52/Tuuli y + lumi	-31,14/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-13,79/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0211/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0001/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0022/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104
Node 6	12,27/Tuuli y + lumi	-31,14/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-29,72/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0041/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0001/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0027/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104
Node 7	8,89/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-24,57/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-1,84/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0092/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0016/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0032/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 8	12,21/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-31,14/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-39,67/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0107/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0002/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0022/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104
Node 9	-1,20/tuuli x EI lunta	-8,89/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,53/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0217/Tuulix ovetauki +lumi	-0,0003/tuuli x EI lunta	0,1583/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 10	13,64/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-8,84/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	4,68/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0016/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0019/Tuuli y + lumi	-0,0025/Tuuli y + lumi
Node 11	-1,14/tuuli x EI lunta	-62,95/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,43/Tuuli y + lumi	0,0181/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0002/tuuli x EI lunta	0,1556/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 12	33,97/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-62,90/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	7,33/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0044/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0010/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0159/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 13	-1,30/tuuli x EI lunta	-1,62/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,12/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0060/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	0,0060/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,1614/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 14	-1,40/tuuli x EI lunta	-24,66/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,63/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0264/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0003/tuuli x EI lunta	0,2464/Tuuli y + lumi
Node 15	13,05/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-24,58/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	6,60/Tuuli y + lumi	0,0035/Tuuli y + lumi	0,0014/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0023/Tuuli y + lumi
Node 16	-89,27/lumi+tuuli seinÄmÄ	-1,60/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,40/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0001/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0023/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0009/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 17	7,38/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	-31,16/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-27,31/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0040/Tuulix + lumi	-0,0001/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0016/lumi+tuuli seinÄmÄ
Node 18	-5,83/lumi+tuuli seinÄmÄ	-24,47/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-1,11/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0237/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0011/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,2353/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Node 19	8,01/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-62,89/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-2,30/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0094/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0011/Tuuli y + lumi	-0,0169/Tuuli y + lumi
Node 20	-5,10/lumi+tuuli seinÄmÄ	-62,88/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-1,10/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	-0,0135/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0010/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,1284/Lumi+tuuli xovetauki
Node 21	9,15/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-8,82/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-1,53/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0086/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0023/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0035/Tuuli y + lumi
Node 22	10,95/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-37,81/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-	-	0,0086/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-0,0014/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 23	8,84/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-1,57/Tuuli y + lumi	-0,24/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0008/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0102/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-
Node 24	-1,83/tuuli x EI lunta	-1,55/Tuuli y + lumi	-0,27/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0001/Tuuli y + lumi	0,0133/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0016/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 25	0,01/	0,01/	0,01/	0,0061/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0075/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0202/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Node 26	0,01/	0,01/	0,01/	0,0217/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0014/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,1039/Lumi+tuuli xovetauki
Node 27	0,01/	0,01/	0,01/	0,0197/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0010/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,1284/Lumi+tuuli xovetauki
Node 28	0,01/	0,01/	0,01/	0,0265/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0011/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,2353/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Node 29	0,01/	0,01/	0,01/	0,0078/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103	-0,0052/tuuli x EI lunta	0,0647/ULS: 1.5 x Tuuli x ovet auki 103
Node 30	0,01/	0,01/	0,01/	0,0045/lumi+tuuli seinÄmÄ	0,0102/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0009/lumi+tuuli seinÄmÄ
Node 31	0,01/	0,01/	0,01/	0,0080/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0058/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,1817/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 32	0,01/	0,01/	0,01/	-	0,0017/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0032/Tuuli y + lumi
Node 33	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0238/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0003/tuuli x EI	0,2464/Tuuli y +

Node 34	0,01/	0,01/	0,01/	0,0238/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	lunta -0,0002/tuuli x EI lunta	lumi 0,1556/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 35	0,01/	0,01/	0,01/	0,0141/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	0,0018/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0169/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 36	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0036/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	0,0019/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,0087/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 37	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0207/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0003/tuuli x EI lunta	0,1582/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 38	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0058/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0065/lumi+tuuli seinÄmÄlle	0,1614/ULS: 1.5 x Snow<2.7
Node 39	0,01/	0,01/	0,01/	0,0005/Tuuli y + lumi	-0,0425/lumi+tuuli seinÄmÄlle	0,0009/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 40	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0003/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	- 0,0098/Lumi+tuuli xovetauki	- 0,0238/Lumi+tuuli xovetauki
Node 44	11,45/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-31,14/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-94,82/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0018/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0060/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-0,0017/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 45	-49,85/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-62,86/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-56,53/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0035/ULS: 1.5 x Snow<2.7	-0,0028/ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	-0,0021/ULS: 1.5 x Tuuliy 102
Node 46	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0345/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta	-0,0024/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,2604/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Node 47	-18,22/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-24,48/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,33/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0307/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	-0,0024/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,2604/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Node 48	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0465/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta	-0,0021/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,3512/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Node 49	-18,21/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-37,91/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,37/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0411/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	-0,0022/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,3512/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Node 51	0,01/	0,01/	0,01/	-0,0576/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta	-0,0022/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,4546/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Node 52	-18,20/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-31,20/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,54/ULS: 1.5 x Snow<2.7	0,0529/ULS: 1.5 x Tuuli seinÄmÄlle 104	-0,0023/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	-0,4546/Tuuli seinÄmÄlle EI lunta
Solmu 1	0,01/	0,01/	0,01/	0,0005/ULS: 1.5 x Tuuliy 102	- 0,0157/Lumi+tuuli xovetauki	-0,0016/ULS: 1.5 x Tuuliy 102

Liite 3. Yksinkertainen mitoitusraportti pilarin onnettomuusmitoituksesta

EN 1993-1-1 Teräsmitoitus

Sauvan tiedot

Nimi: Steel Member 40

Pituus: 8700 mm

Profiili: SHS 300x300x8

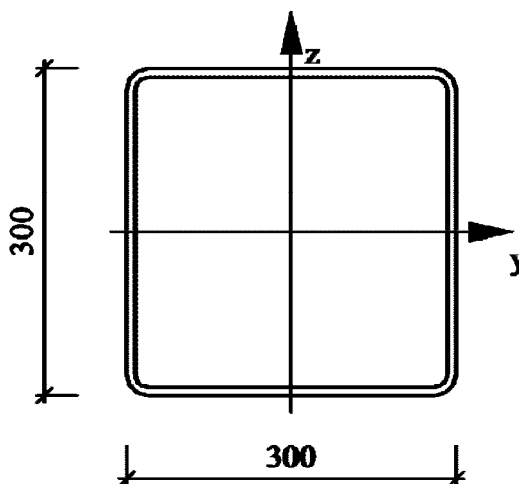
Materiaali: S355

Poikkileikkaus

$$I_y = 0,000128007\text{m}^2$$

$$I_z = 0,000128007\text{m}^2$$

$$A_x = 0,00912425\text{m}^2$$



Mitoitus

Normaalivoima kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7	Käyttö: 0,05 ✓
Leikkauskestävyys Z kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 113: O 1 + tuuli x + lumi	Käyttö: 0,08 ✓
Leikkauskestävyys Y kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 122: O 2 + lumi + x	Käyttö: 0,07 ✓
Vääntömomentti pisteessä 0 mm Yhdistelyn kanssa 113: O 1 + tuuli x + lumi	Käyttö: 0,07 ✓
Taivutuskestävyys Y kohdassa 1501 mm Yhdistelyn kanssa 113: O 1 + tuuli x + lumi	Käyttö: 0,34 ✓
Taivutuskestävyys Z kohdassa 1501 mm Yhdistelyn kanssa 122: O 2 + lumi + x	Käyttö: 0,32 ✓
Kaksiaks. taivutus kohdassa 1501 mm Yhdistelyn kanssa 113: O 1 + tuuli x + lumi	Käyttö: 0,35 ✓
Nurjahdus Y kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7	Käyttö: 0,10 ✓
Nurjahdus Z kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7	

Kiepahdus 0 mm Yhdistelyn kanssa 1: Action Permanent Sup.	Käyttö: 0,10 ✓
Momentin ja puristuksen yht. vaikutus yhd. 37: ULS: 1.5 x Tuulix Case 101	Käyttö: 0,00 ✓
Siirtymä Z kohdassa 4350,0 mm ominaisyhd. kanssa 60: SLS Cr: 1.0 x Tuulix Case 101	Käyttö: 0,27 ✓ maksimi z = 17,2 mm
Siirtymä Z kohdassa 4930,0 mm tavallisella yhd. 75: SLS Fr: Psi1 x Snow<2.7	maksimi z = 0,0 mm
Siirtymä Z kohdassa 4930,0 mm puolipysyvien yhd. 87: SLS QP	maksimi z = 0,0 mm
Siirtymä Y kohdassa 3770,0 mm ominaisyhd. kanssa 65: SLS Cr: 1.0 x Onnettomuus 2	maksimi y = 9,9 mm
Siirtymä Y kohdassa 4930,0 mm tavallisella yhd. 75: SLS Fr: Psi1 x Snow<2.7	maksimi y = 1,0 mm
Siirtymä Y kohdassa 4930,0 mm puolipysyvien yhd. 87: SLS QP	maksimi y = 0,7 mm



HYVÄKSYTTY: Terässauvan mitoitus hyväksytty. Suurin käyttöaste on 34,5 % Mitoitusstandardi EN 1993-1-1 Finland. Heikoin komponentti on Kaksiakselialinen taivutus.

Liite 4. Kattava mitoitusraportti palkin mitoituksesta

EN 1993-1-1 Teräsmitoitus**Sauvan tiedot**

Nimi: Steel Member 16

Pituus: 8850 mm

Profiili: HEA 220

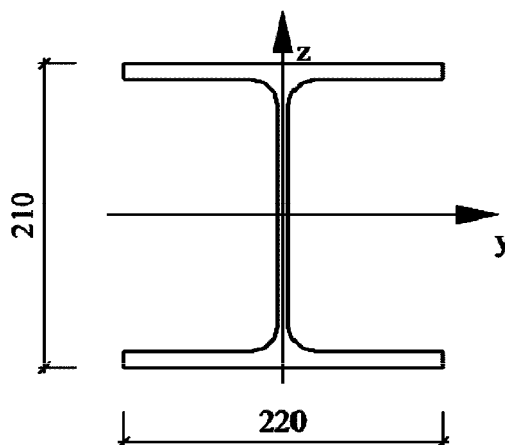
Materiaali: S355

Poikkileikkaus

$$I_y = 5,4097E-05m^2$$

$$I_z = 1,95456E-05m^2$$

$$A_x = 0,00643412m^2$$

**Mitoitus**

Normaalivoima kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 38: ULS: 1.5 x Tuuliy 102

Käyttö: 0,02 ✓

Leikkauskestävyys Z kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,18 ✓

Leikkauskestävyys Y kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,01 ✓

Vääntömomentti pisteessä 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,18 ✓

Taivutuskestävyys Y kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,54 ✓

Taivutuskestävyys Z kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,13 ✓

Kaksiaks. taivutus kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,42 ✓

Nurjahdus Y kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 38: ULS: 1.5 x Tuuliy 102

Käyttö: 0,05 ✓

Nurjahdus Z kohdassa 0 mm Yhdistelyn kanssa 38: ULS: 1.5 x Tuuliy 102

Käyttö: 0,12 ✓

Kiepahdus 0 mm Yhdistelyn kanssa 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7

Käyttö: 0,75 ✓

Momentin ja puristuksen yht. vaikutus yhd. 31: ULS: 1.5 x Snow<2.7	Käyttö: 0,83 ✓
Siirtymä Z kohdassa 5015,0 mm ominais yhd. kanssa 54: SLS Cr: 1.0 x Snow<2.7	maksimi z = -38,8 mm
Siirtymä Z kohdassa 5015,0 mm tavallisella yhd. 75: SLS Fr: Psi1 x Snow<2.7	maksimi z = -19,6 mm
Siirtymä Z kohdassa 5015,0 mm puolipysyvien yhd. 87: SLS QP	maksimi z = -13,3 mm
Siirtymä Y kohdassa 5015,0 mm ominais yhd. kanssa 54: SLS Cr: 1.0 x Snow<2.7	maksimi y = -11,9 mm
Siirtymä Y kohdassa 5015,0 mm tavallisella yhd. 75: SLS Fr: Psi1 x Snow<2.7	maksimi y = -6,0 mm
Siirtymä Y kohdassa 5015,0 mm puolipysyvien yhd. 87: SLS QP	maksimi y = -4,1 mm



HYVÄKSYTTY: Terässauvan mitoitus hyväksytty. Suurin käyttöaste on 83,1 % Mitoitusstandardi EN 1993-1-1 Finland. Heikoin komponentti on Yhdistetty stabiliteetti.

6.2.3 & 6.2.4 Normaalivoima (x = 0 mm)

Puristus- ja vetovoimakestävyyden laskenta

pelkkä normaalivoima, täysi pinta-ala:

$\gamma_{M0} = 1$	EN 1993-1-1 (6.1) Finland
Poikkileikkausluokka: 1	
$f_y = 355 \text{ MPa}$	myötölujuus
$N_{Ed} = -50820 \text{ N}$	puristava normaalivoima
$A_x = 6434 \text{ mm}^2$	poikkileikkauksen pinta-ala
$N_{c,Rd} = A_x f_y / \gamma_{M0} = 2284113 \text{ N}$	EN 1993-1-1 (6.10) & (6.6)

Normaalivoimista aiheutuvien rasitusten käyttöaste:

$N_{Ed} / N_{c,Rd} = 0,02$	EN 1993-1-1 (6.9) & (6.5)
----------------------------	---------------------------



HYVÄKSYTTY: normaalivoimakestävyys täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.5

6.2.6 Leikkauskestävyyden tarkastelu (x = 0 mm)

Leikkauskestävyyden laskenta Z suuntaan

$V_{Ed} = 76942 \text{ N}$	leikkausvoima poikkileikkauksessa
----------------------------	-----------------------------------

Tehollisen leikkauspinta-alan laskenta:

poikkileikkauksen tyyppi: IHotrolledparallel

poikkileikkauksen tyyppi

Poikkileikkauksen leveys $w = 220,0$ mm

Poikkileikkauksen korkeus $h = 210,0$ mm

Laippa / seinämäpaksuus $t_f = 11,0$ mm

Uuma / seinämäpaksuus $t_w = 7,0$ mm

sisäpuolen säde $r_i = 18,0$ mm

ulkopuolen säde $r_o = 0,0$ mm

maks. reunaetäisyys $+z e_{z+} = 105,0$ mm

maksimi reunaetäisyys suunnassa $-z e_{z-} = 105,0$ mm

maks. reunaetäisyys $+y e_{y+} = 110,0$ mm

maksimi reunaetäisyys suunnassa $-y e_{y-} = 110,0$ mm

$\gamma_{M0} = 1$

EN 1993-1-1 6.1 Finland

Materiaalimalli: Plastinen

EN 1993-1-1 / (6.18)

$A_v = A_x - 2w t_f + (t_w + 2r_i) t_f = 2067,1$ mm²

Tehollinen poikkileikkauspinta-ala (plastinen)

$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 423676$ N

EN 1993-1-1 / (6.18)

Plastisen leikkauksen käyttöaste:

$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 0,18$

EN 1993-1-1 / (6.17)



HYVÄKSYTTY: Leikkauskestävyys Z suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.6

6.2.6 Leikkauskestävyyden tarkastelu ($x = 0$ mm)

Leikkauskestävyyden laskenta Y suuntaan

$V_{Ed} = 8489$ N

leikkausvoima poikkileikkauksessa

Tehollisen leikkauspinta-alan laskenta:

poikkileikkauksen tyyppi: IHotrolledparallel

poikkileikkauksen tyyppi

Poikkileikkauksen leveys $w = 220,0$ mm

Poikkileikkauksen korkeus $h = 210,0$ mm

Laippa / seinämäpaksuus $t_f = 11,0$ mm

Uuma / seinämäpaksuus $t_w = 7,0$ mm

sisäpuolen säde $r_i = 18,0$ mm

ulkopuolen säde $r_o = 0,0$ mm

maks. reunaetäisyys $+z e_{z+} = 105,0$ mm

maksimi reunaetäisyys suunnassa $-z e_{z-} = 105,0$ mm

maks. reunaetäisyys $+y e_{y+} = 110,0$ mm

maksimi reunaetäisyys suunnassa $-y e_{y-} = 110,0$ mm

$$\gamma_{M0} = 1$$

EN 1993-1-1 6.1 Finland

Materiaalimalli: Plastinen

EN 1993-1-1 / (6.18)

$$A_v = A_x - h t_w + (t_f t_w 2) = 5118,1 \text{ mm}^2$$

Tehollinen poikkileikkauspinta-ala (plastinen)

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 1049007 \text{ N}$$

EN 1993-1-1 / (6.18)

Plastisen leikkauksen käyttöaste:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 0,01$$

EN 1993-1-1 / (6.17)



HYVÄKSYTTY: Leikkauskestävyys Y suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.6

6.2.7 Vääntö ($x = 0$ mm)

Vääntötarkastelu

$$\gamma_{M0} = 1$$

EN 1993-1-1 (6.1) Finland

Poikkileikkausluokka: 1

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

myötölujuus

$$\tau_{Rd} = f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 205 \text{ MPa}$$

suunnittelujännitys

$$T_{Ed} = 0 \text{ Nm}$$

vääntömomentti

$$T_{Rd} = \tau_{Rd} I_t / t_{max} = 5049 \text{ Nm}$$

vääntökapasiteetti

$$I_t = k (2wt_f^3 + (h-2t_f) t_w^3) / 3 = 2,71E-07 \text{ m}^4$$

vääntöjäyhyysvakio

$$k = 1,29$$

muotovakio

$$I_w = (h-t_f)^2 w^3 t_f / 24 = 1,93266080333333E-07 \text{ m}^6$$

vääristymävakio

$$\tau_{v,y,Ed} = T_{Ed} t_f / I_t = 0 \text{ MPa}$$

leikkausjännitys

$$\tau_{v,z,Ed} = T_{Ed} t_w / I_t = 0 \text{ MPa}$$

leikkausjännitys

$$V_{pl,T,Rd,Y} = V_{pl,y,Rd} \sqrt{[1 - \tau_{v,y,Ed} / (1,25 f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}))]} = 1049001 \text{ N}$$

EN 1993-1-1 (6.26)

$$V_{pl,T,Rd,Z} = V_{pl,z,Rd} \sqrt{[1 - \tau_{v,z,Ed} / (1,25 f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}))]} = 423674 \text{ N}$$

EN 1993-1-1 (6.26)

Väännön käyttöaste:

$$T_{Ed} / T_{Rd} = 0,00 \quad \text{EN 1993-1-1 (6.23)}$$

$$V_{y,Ed} / V_{pl,T,Rd,Y} = 0,01 \quad \text{EN 1993-1-1 (6.25)}$$

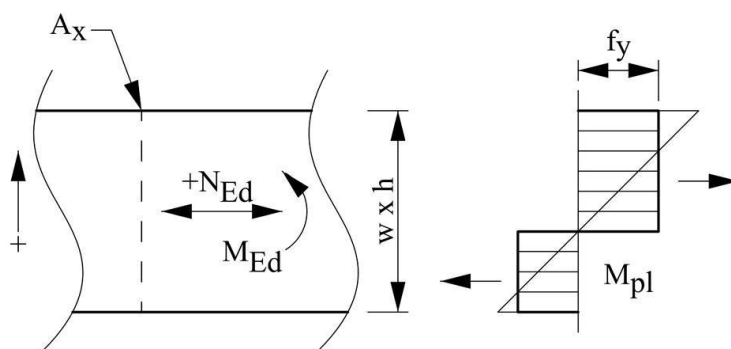
$$V_{z,Ed} / V_{pl,T,Rd,Z} = 0,18 \quad \text{EN 1993-1-1 (6.25)}$$



HYVÄKSYTTY: Vääntökestävyys täyttää normin EN 1993-1-1:2005 vaatimukset. Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.7

6.2.5 Taivutuskapasiteetti ($x = 0$ mm)

Taivutuskestävyyden / normaalivoiman laskenta Y suuntaan



$$M_{Ed} = -109973 \text{ Nm}$$

Taivutusmomentti y

Leikkausrasituksesta aiheutuva pienennetty myötölujuus:

Leikkaisvoimien vaikutus alle 50% kestävyydestä

leikkausvoimien vaikutusta ei huomioida

EN 1993-1-1 / 6.2.8 (2)

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

myötölujuus

Taivutus / normaalivoima kestävyys:

$$\gamma_{M0} = 1$$

EN 1993-1-1 (6.1) Finland

Poikkileikkausluokka: 1

poikkileikkauksen tyyppi: IHotrolledparallel

Materiaalimalli: plastinen

$$W_{pl} = 0,00056850 \text{ m}^3$$

Plastinen taivutusvastus

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} = 201817 \text{ Nm}$$

EN 1993-1-1 (6.13)

$$N_{Ed} = -3187 \text{ N}$$

pituussuuntainen jännitys

$$0.5 h t_w f_y / \gamma_{M0} = 260925 \text{ N}$$

EN 1993-1-1 (6.34)

normin mukaisesti ei huomioida normaalivoimaa

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 201817 \text{ Nm}$$

EN 1993-1-1 (6.34) / (6.35)

Taivutuksen & normaalivoiman käyttöaste:

$$M_{Ed} / M_{N,Rd} = 0,54$$

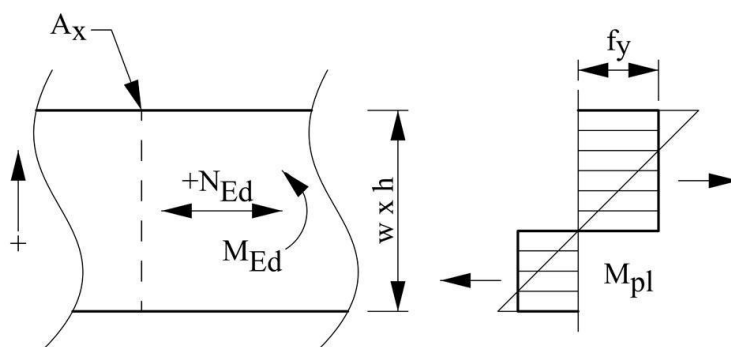
EN 1993-1-1 / (6.12)



HYVÄKSYTTY: Taivutuskestävyys Y suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.5

6.2.5 Taivutuskapasiteetti (x = 0 mm)

Taivutuskestävyyden / normaalivoiman laskenta Z suuntaan



$$M_{Ed} = 12091 \text{ Nm}$$

Taivutusmomentti z

Leikkausrasituksesta aiheutuva pienennetty myötölujuus:

Leikkaisvoimien vaikutus alle 50% kestävyyydestä

leikkaisvoimien vaikutusta ei huomioida

EN 1993-1-1 / 6.2.8 (2)

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

myötölujuus

Taivutus / normaalivoima kestävyys:

$$\gamma_{M0} = 1$$

EN 1993-1-1 (6.1) Finland

Poikkileikkausluokka: 1

poikkileikkauksen tyyppi: IHotrolledparallel

Materiaalimalli: plastinen

$$W_{pl} = 0,00027060 \text{ m}^3$$

Plastinen taivutusvastus

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} = 96063 \text{ Nm}$$

EN 1993-1-1 (6.13)

$$N_{Ed} = -3187 \text{ N}$$

pituussuuntainen jännitys

$$h t_w f_y / \gamma_{M0} = 521850 \text{ N}$$

EN 1993-1-1 (6.34)

normin mukaisesti ei huomioida normaalivoimaa

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 96063 \text{ Nm}$$

EN 1993-1-1 (6.34) / (6.35)

Taivutuksen & normaalivoiman käyttöaste:

$$M_{Ed} / M_{n,Rd} = 0,13$$

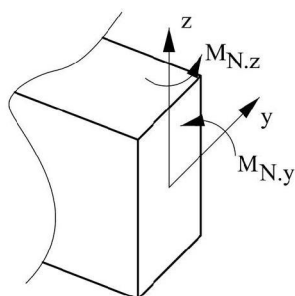
EN 1993-1-1 / (6.12)



HYVÄKSYTTY: Taivutuskestävyys Z suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.5

6.2.9 Kaksiakselialinen taivutus ($x = 0 \text{ mm}$)

Kaksiakselialinen plastinen tarkastelu



Plastinen yhdistetty kapasiteetti kaavan 6.41 mukaan:

poikkileikkauksen tyyppi: IHotrolledparallel

poikkileikkauksen tyyppi

$$n = 0,0014$$

kerroin α, β

$$\alpha = 2,0000$$

kerroin kaavaan 6.41

$$\beta = 1,0000$$

kerroin kaavaan 6.41

Kaksiakselialisen taivutuksen käyttöaste:

$$[M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd}]^{\alpha} + [M_{z,Ed} / M_{N,z,Rd}]^{\beta} = 0,42$$

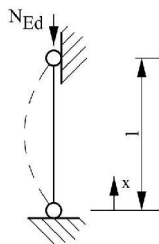
EN 1993-1-1 / (6.41)



HYVÄKSYTTY: Kaksiakselialinen taivutuskestävyys täyttää 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.2.9

6.3 Nurjahduskestävyys ($x = 0$ mm)

Nurjahduskestävyyden laskenta Y suuntaan



$$N_{Ed} = -50820 \text{ N}$$

mak. purist.

N_{cr} laskenta:

$$l_{eff} = 1$$

nurjahduspituuden kerroin

$$l = 8,85 \text{ m}$$

sauvan todellinen pituus

$$l_0 = l_{eff} l = 8,85 \text{ m}$$

tehollinen nurjahduspituus

$$n = 1$$

laskettu nurjahdusmuoto

$$E = 210 \text{ GPa}$$

kimmokerroin

$$I_y = 5,4097E-05 \text{ m}^4$$

jäyhyysmomentti

$$N_{cr} = n^2 \pi^2 E I_y / l_0^2 = 1431547 \text{ N}$$

Kriittinen kuorma

Nurjahduskäyrä:

$$A_x = 6434 \text{ mm}^2$$

poikkileikkauksen pinta-ala

$$\gamma_{M1} = 1$$

EN 1993 / 6.1 Finland

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

myötölujuus

$$\bar{\lambda} = \sqrt{(A_x f_y / N_{cr})} = 1,3$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 1,4785$$

$$\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}] = 0,4451$$

$$N_{b,Rd} = \chi A_x f_y / \gamma_{M1} = 1016553 \text{ N}$$

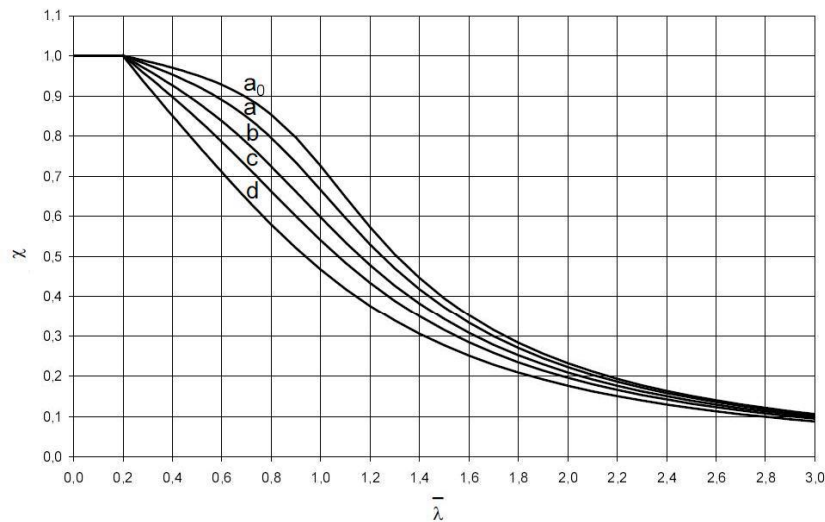
EN 1993-1-1 / (6.49)

nurjahduskäyrä: b

EN 1993-1-1 / (6.49)

($\chi < 1$) EN 1993-1-1 / (6.49)

EN 1993-1-1 / (6.47)



Nurjahduksen käyttöaste:

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,05$$

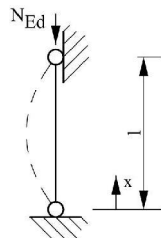
EN 1993-1-1 / (6.46)



HYVÄKSYTTY: Nurjahduskestävyys Y suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.3

6.3 Nurjahduskestävyys ($x = 0 \text{ mm}$)

Nurjahduskestävyyden laskenta Z suuntaan



$$N_{Ed} = -50820 \text{ N}$$

mak. purist.

N_{cr} laskenta:

$$l_{eff} = 1$$

$$l = 8,85 \text{ m}$$

$$l_0 = l_{eff} l = 8,85 \text{ m}$$

$$n = 1$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I_z = 1,95456E-05 \text{ m}^4$$

$$N_{cr} = n^2 \pi^2 E I_z / l_0^2 = 517227 \text{ N}$$

nurjahduspituuden kerroin
sauvan todellinen pituus
tehollinen nurjahduspituus
laskettu nurjahdusmuoto
kimmokerroin
jäyhyysmomentti
Kriittinen kuorma

Nurjahduskäyrä:

$$A_x = 6434 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{(A_x f_y / N_{cr})} = 2,1$$

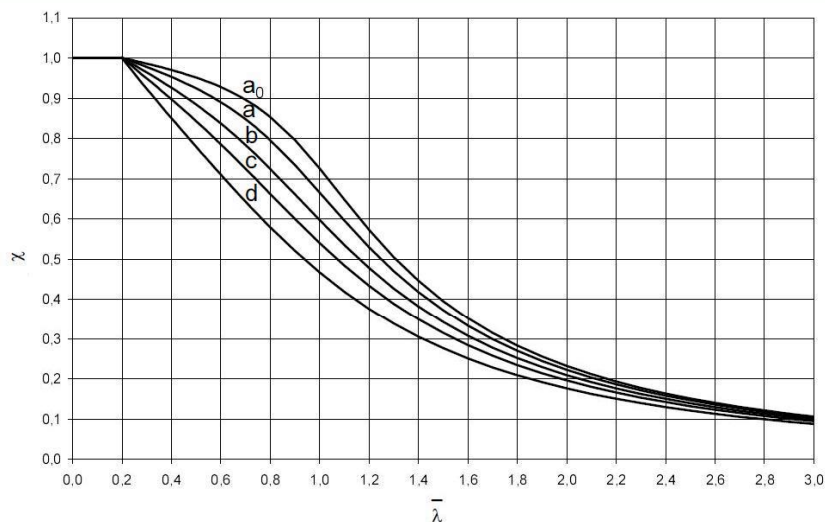
$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 3,1739$$

$$\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}] = 0,1801$$

$$N_{b,Rd} = \chi A_x f_y / \gamma_{M1} = 411371 \text{ N}$$

poikkileikkauksen pinta-
ala
EN 1993 / 6.1 Finland
myötölujuus
EN 1993-1-1 / (6.49)
nurjahduskäyrä: c
EN 1993-1-1 / (6.49)
($\chi < 1$) EN 1993-1-1 /
(6.49)
EN 1993-1-1 / (6.47)



Nurjahduksen käyttöaste:

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,12$$

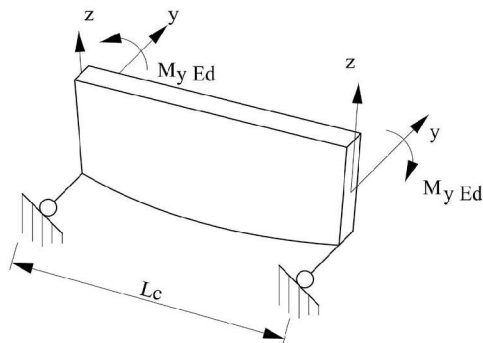
EN 1993-1-1 / (6.46)



HYVÄKSYTTY: Nurjahduskestävyys Z suuntaan täyttää EN 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.3

6.3.2 kiepahdus kohdassa ($x = 0$ mm)

Alalaipan tarkastelu



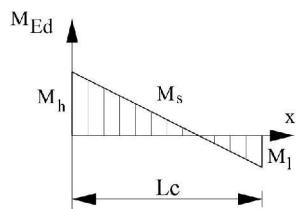
Yksinkertaistettu menetelmä 6.3.2.4:

$$M_{y,Ed} = -109973 \text{ Nm}$$

$$W_y = 0,000568 \text{ m}^3$$

$$M_{c,Rd} = W_y f_y / \gamma_{M1} = 201817 \text{ Nm}$$

Taivutusmomentti y
poikkileik. moduuli
plastinen taivutuskestävyys



$$M_h = -109973 \text{ Nm}$$

$$M_l = 0 \text{ Nm}$$

$$\psi = M_h / M_l = 0,00$$

$$k_c = 1 / (1,33 - 0,33 \psi) = 0,75$$

$$t_f = 11,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 7,0 \text{ mm}$$

$$w = 220,0 \text{ mm}$$

$$h = 210,0 \text{ mm}$$

$$A_f = t_f w + (h / 2 - t_f) t_w / 3 = 2639,3 \text{ mm}^2$$

$$I_{f,Z} = 0,000009762 \text{ m}^4$$

$$i_{f,Z} = \sqrt{I_{f,Z} / A_f} = 0,060815 \text{ m}$$

Momentti y alussa

Momentti y lopussa

taulukko 6.6

taulukko 6.6

Laippa / seinämäpaksuus

Uuma / seinämäpaksuus

Poikkileikkauksen leveys

Poikkileikkauksen korkeus

Laipan pinta-ala (30% uumasta)

Laipan jäyhyysmomentti

laipan jäyhyyssäde

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40$$

EN 1993 / 6.3.2.3 Finland

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,50$$

EN 1993 / 6.3.2.4 Finland

$$\beta = 0,75$$

EN 1993 / 6.3.2.4 Finland

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

myötölujuus

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235 / f_y)} = 76,399$$

EN 1993 / 6.3.2.4

$$L_c = 8,85 \text{ m}$$

Alalaipan vapaa pit.

Käyttöaste yksinkertaistetulla menetelmällä

$$\bar{\lambda}_f = k_c L_c / (i_{f,Z} \lambda_1) = 1,43$$

EN 1993 (6.59)

$$\bar{\lambda}_{f,lim} = \bar{\lambda}_{c0} M_{c,Rd} / M_{y,Ed} = 0,92$$

EN 1993 (6.59)

$$\bar{\lambda}_f / \bar{\lambda}_{f,lim} = 1,56$$

Käyttöaste yksinkertaistetulla menetelmällä

Tarkka menetelmä 6.3.2.1 & 6.3.2.3

Poikkileikkauksen leveys $w = 220,0 \text{ mm}$

Poikkileikkauksen korkeus $h = 210,0 \text{ mm}$

Laippa / seinämäpaksuus $t_f = 11,0 \text{ mm}$

Uuma / seinämäpaksuus $t_w = 7,0 \text{ mm}$

sisäpuolen säde $r_i = 18,0 \text{ mm}$

ulkopuolen säde $r_o = 0,0 \text{ mm}$

$$I_t = 2w t_f^3 + (h - t_f) t_w^3 / 3 = 217965,667 \text{ mm}^4$$

Vääntöjäyhyysvakio

$$I_\omega = (h - t_f)^2 w^3 t_f / 24 = 193266080333,333 \text{ mm}^6$$

Vääristymävakio

$$I_t = 271000,000 \text{ mm}^4$$

vääntövak. tietokannasta

$$\nu = 0,3$$

Poissonin luku

$$E = 210 \text{ GPa}$$

kimmokerroin

$$G = E / (2(1+\nu)) = 80,8 \text{ GPa}$$

liukkerroin

$$z_a = 0,100 \text{ m}$$

kuormatason etäisyys neutraaliakselista

$$z_s = 0,000 \text{ m}$$

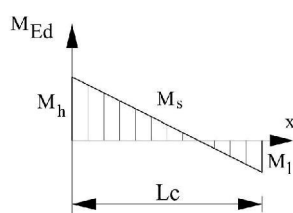
Leikkauskeskiö neutraaliakselista

$$z_j = z_s - 0,5 \int_A (y^2 + z^2) z / I_y dA = 0,000 \text{ m}$$

ECCS 8 / B.1 (300)

$$z_g = z_a - z_s = 0,100 \text{ m}$$

ECCS 8 / B.1 (300)



$M_h = -109973 \text{ Nm}$	Momentti y alussa
$M_l = 0 \text{ Nm}$	Momentti y lopussa
$\psi = M_h / M_l = 0,00$	taulukko 6.6
$k_c = 1 / (1,33 - 0,33 \psi) = 0,75$	taulukko 6.6
$k_\omega = 1,0$	Käyritysmää ei estetty
$k_z = 1,0$	effektiivinen pituuskerroin, alempi f.
$L_c = 8,85 \text{ m}$	Alalaipan vapaa pit.
$C_1 = 1,879$	ENV 1993-1-1 F.1.1 & F.1.2
$C_2 = 0,000$	ENV 1993-1-1 F.1.1 & F.1.2
$C_3 = 0,939$	ENV 1993-1-1 F.1.1 & F.1.2
$K_{\omega t} = \pi / k_\omega L_c \sqrt{(EI_\omega / GI_t)} = 0,483$	ECCS 8 (B.2)
$K_{\omega t} < 1$	kerroin C1 vähen.
$M_{cr} = C_1 \pi^2 EI_z / [(k_z L_c)^2] \{ \sqrt{[(k_z / k_\omega)^2 (I_\omega / I_z) + (k_z L_c)^2 GI_t / (\pi^2 EI_z)]} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \} - (C_2 z_g - C_3 z_j) = 222060,8 \text{ Nm}$	ENV 1993-1-1 (F.2)

Sallitun taivutusmomentin laskenta:

$W_y = 0,000568 \text{ m}^3$	poikkileik. moduuli
$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{(W_y f_y / M_{cr})} = 0,9533$	EN 1993-1-1 (6.56)
$\alpha_{LT} = 0,34$, Buckling curve: b	EN 1993-1-1 taulukko 6.3 & 6.5
$\Phi_{LT} = 0,5 (1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,935$	EN 1993-1-1 (6.57)
$\chi_{LT} = 1 / [\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2)}] = 0,728$	EN 1993-1-1 (6.57)
$\chi_{LT} < 1$	EN 1993-1-1 (6.57)
$\chi_{LT} < 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2$	EN 1993-1-1 (6.57)
$f_y = 355 \text{ MPa}$	myötölujuus
$\gamma_{M1} = 1$	EN 1993-1-1 6.1 Finland
$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1} = 146938,0 \text{ Nm}$	EN 1993-1-1 (6.55)

Käyttöaste 6.3.2.1 & 6.3.2.3:

$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 0,75$	EN 1993 (6.54)
------------------------------	----------------



HYVÄKSYTTY: Kiepahduskestävyys täyttää 1993-1-1:2005 vaatimukset Finland EN 1993-1-1:2005 / 6.3.2

6.3.3 taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus

Suurimmat sauvavoimat:

$$N_{Ed} = -3187 \text{ N}$$

$$M_{y,Ed} = -109973 \text{ Nm}$$

$$M_{z,Ed} = 12091 \text{ Nm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0 \text{ Nm}$$

$$\Delta M_{z,Ed} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{y,s} = 87755 \text{ Nm}$$

$$M_{z,s} = -9713 \text{ Nm}$$

$$M_{y,h} = -109973 \text{ Nm}$$

$$M_{z,h} = 12091 \text{ Nm}$$

$$M_{y,l} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{z,l} = 0 \text{ Nm}$$

mak. purist.

Taivutusmomentti y

Taivutusmomentti z

Taivutusmomentti y

Taivutusmomentti z

momentti y kesk.

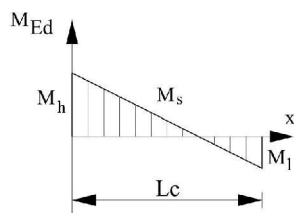
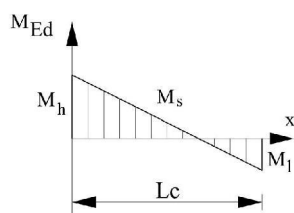
momentti z kesk.

Momentti y alussa

momentti z alussa

Momentti y lopussa

momentti z lopussa

Taivutusmomentti y**Taivutusmomentti z****Kapasiteetit ja vähennyskertoimet:**

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$N_{Rk} = f_y A = 2284113 \text{ N}$$

$$M_{y,Rk} = f_y W_{pl,y} = 201817 \text{ Nm}$$

myötölujuus

EN 1993-1-1 / 6.7

EN 1993-1-1 / 6.7

$$M_{z,Rk} = f_y W_{pl,z} = 96063 \text{ Nm} \quad \text{EN 1993-1-1 / 6.7}$$

$$\chi_y = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}] = 0,4451 \quad (\chi < 1) \text{ EN 1993-1-1 / (6.49)}$$

$$\chi_z = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \bar{\lambda}^2)}] = 0,1801 \quad (\chi < 1) \text{ EN 1993-1-1 / (6.49)}$$

$$\chi_{LT} = 1 / (\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2)}) = 0,728 \quad \text{EN 1993-1-1 (6.57)}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{(A_x f_y / N_{cr})} = 1,3 \quad \text{EN 1993-1-1 / (6.49)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{(A_x f_y / N_{cr})} = 2,1 \quad \text{EN 1993-1-1 / (6.49)}$$

Vuorovaikutuskertoimet

$$\Psi_y = M_{y,l} / M_{y,h} = 0,000 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$\Psi_z = M_{z,l} / M_{z,h} = 0,000 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$\alpha_{s,y} = M_{s,y} / M_{h,y} = -0,798 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$\alpha_{s,z} = M_{s,z} / M_{h,z} = -0,803 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$\alpha_{h,y} = M_{h,y} / M_{s,y} = -1,253 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$\alpha_{h,z} = M_{h,z} / M_{s,z} = -1,245 \quad \text{momenttien suhde}$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\psi = 0,600 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.3}$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4\psi = 0,600 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.3}$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,600 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.3}$$

$$k_{yy} = C_{my} (1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) N_{Ed} / (\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1})) = 0,602 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.1, B2.}$$

$$k_{yz} = 0,6 C_{mz} (1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) N_{Ed} / (\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1})) = 0,364 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.1, B2.}$$

$$k_{zy} = 1 - (0,1\bar{\lambda}_z / (C_{mLT} - 0,25) N_{Ed} / (\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1})) = 0,998 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.1, B2.}$$

$$k_{zz} = C_{mz} (1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) N_{Ed} / (\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1})) = 0,607 \quad \text{EN 1993-1-1 / B.1, B2.}$$

Yhdistettyjen vaikutusten käyttöasteet::

$$N_{Ed} \gamma_{M1} / (\chi_y N_{Rk}) + k_{yy} \gamma_{M1} (M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) / (\chi_{LT} M_{y,Rk}) + k_{yz} \gamma_{M1} (M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}) / M_{z,Rk} = 0,50 \quad \text{EN 1993-1-1 / (6.61)}$$

$$N_{Ed} \gamma_{M1} / (\chi_z N_{Rk}) + k_{zy} \gamma_{M1} (M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) / (\chi_{LT} M_{y,Rk}) + k_{zz} \gamma_{M1} (M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}) / M_{z,Rk} = 0,83 \quad \text{EN 1993-1-1 / (6.62)}$$



HYVÄKSYTTY: Yhdistettyjen vaikutusten stabiliteetti täyttää normin EN 1993-1-1:2005 Finland vaatimuksia. EN 1993-1-1:2005 / 6.3.3

Siirtymät (y suunnassa)

Sauvan paikalliset siirtymät

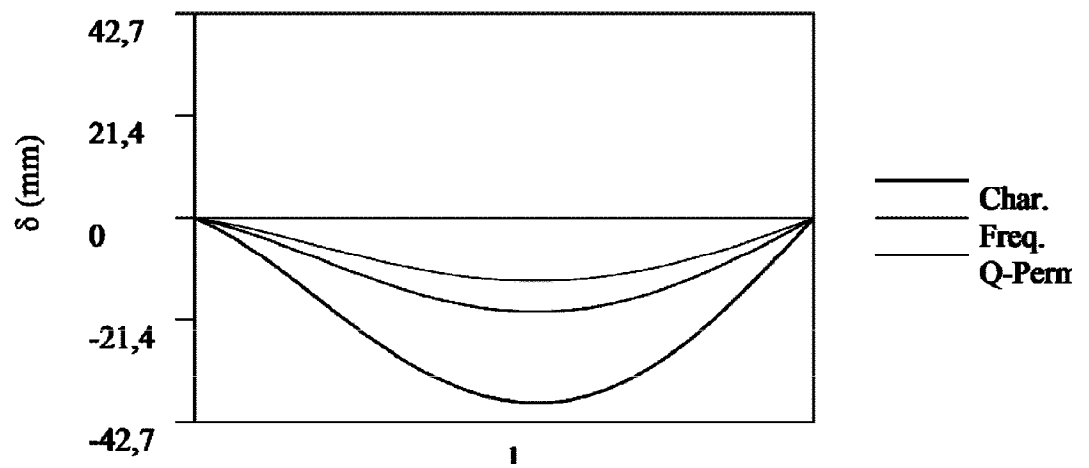
z-akseli, maksimiarvot:

Kuorman ominaisarvoyhdistely: -38,8 mm

Tavalliset kuormitusyhdistelyt: -19,6 mm

Puolipysyvien kuormitusten yhdistely: -13,3 mm

Siirtymäkuvaaja z suunnassa:



Globaalit siirtymät

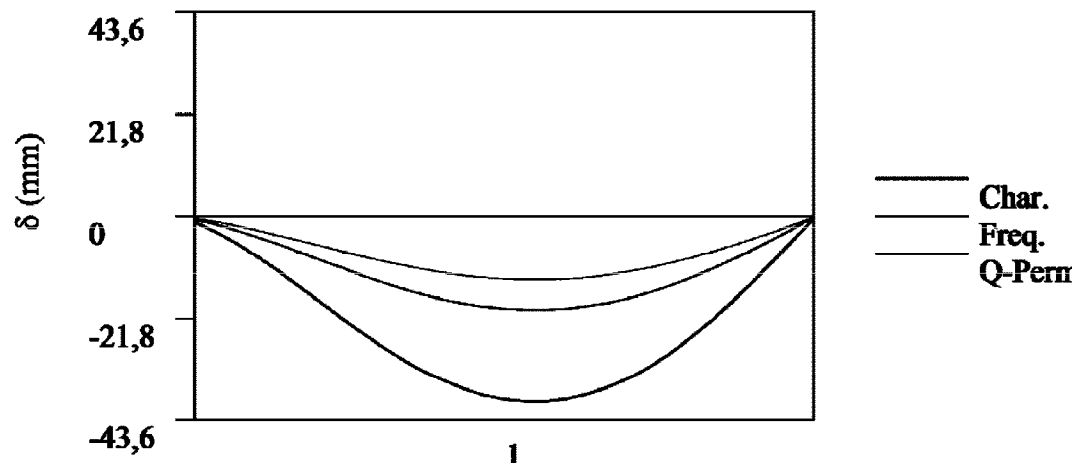
z-akseli, maksimiarvot:

Kuorman ominaisarvoyhdistely: -39,6 mm

Tavalliset kuormitusyhdistelyt: -20,0 mm

Puolipysyvien kuormitusten yhdistely: -13,5 mm

Siirtymäkuvaaja z suunnassa:



Siirtymät (y-akselin suunnassa)

Sauvan paikalliset siirtymät

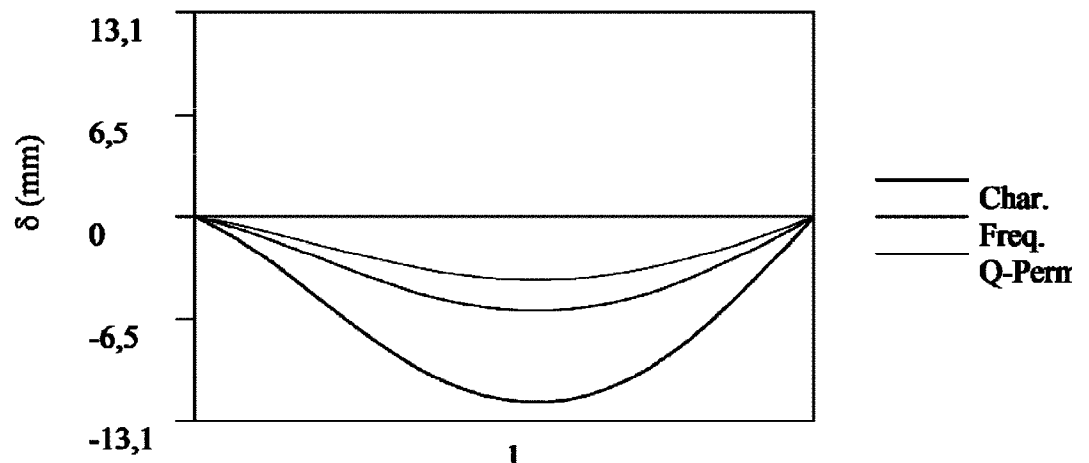
y-akseli, maksimiarvot:

Kuorman ominaisarvoyhdistely: -11,9 mm

Tavalliset kuormitusyhdistelyt: -6,0 mm

Puolipysyvien kuormitusten yhdistely: -4,1 mm

Siirtymäkuvaaja z suunnassa:



Globaalit siirtymät

y-akseli, maksimiarvot:

Kuorman ominaisarvoyhdistely: -11,3 mm

Tavalliset kuormitusyhdistelyt: -5,7 mm

Puolipysyvien kuormitusten yhdistely: -3,8 mm

Siirtymäkuvaaja z suunnassa:

