



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VOIMALAITOSKATTILARAKENNUKSEN TERÄSRAKENTEIDEN MÄÄRÄESTIMOINNIN KEHITTÄMINEN TARJOUSVAIHEESSA

TEKIJÄ: Marianne Luostarinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Marianne Luostarinen			
Työn nimi Voimalaitoskattilarakennuksen teräsrakenteiden määräestimoinnin kehittäminen tarjousvaiheessa			
Päiväys	28.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	43/0
Ohjaajat lehtori Viljo Kuusela ja lehtori Matti Mikkonen			
Toimeksiantaja Sumitomo SHI FW Energia Oy, Civil and Structural Discipline Engineer Leo Lee			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä tiettyjä parametreja otantaan valituista yhtiön toteutuneista voimalaitosprojekteista, sillä projektikohtaiset parametrit ovat olennainen osa lähitulevaisuudessa kehitettävää määräestimointityökalua. Määräestimointityökalun avulla tulevaisuuden voimalaitostarjousten teräsmääräarviointi tulee olemaan tarkempaa. Tarkoituksena oli laatia ohje parametrien sisällöstä, luokittelusta ja etsintäkeinoista sekä laatia tulevaisuuden toimintatapa suunnittelu- ja mallintamiskäytännöistä parametrien lisäämisen helpottamiseksi. Lisäksi opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää helppokäyttöinen parametrien syöttötilanteen tarkastustyökalu teräsrakennesuunnittelijan sekä esimiehen käyttöön.</p> <p>Työskentely aloitettiin tarkastelemalla toteutuneiden projektien lähtö- ja suunnittelutietoja, 3d-rakennemalleja ja määrätiedostoja, joista selvitettiin parametreihin tarvittut tiedot. Tiedot syötettiin jokaiselle projektille erikseen luotuun projektikorttiin. Opinnäytetyön aikana otantaan valittiin lisää toteutuneita projekteja sekä projektikorttiin lisättiin uusia parametreja tilaajan toiveesta. Parametrien syöttämisestä projektikorttiin laadittiin ohje, joka helpottaa tulevaisuudessa tapahtuvaa parametritietojen syöttöä. Parametrien tarkastamista varten kehitettiin helppokäyttöinen työkalu projektikortin Excel-tiedostoon, jonka avulla parametreja täyttävä suunnittelija ja esimies pystyvät tarkastamaan parametritietojen täytön kokonaistilanteen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saavutettiin parametritietoa toteutuneista projekteista määräestimointityökalun kehittämiseen. Lisäksi työn tuloksena tehtiin uusi ohjeistus projektikortin täyttämistä varten, jotta tulevaisuudessa vältyttäisiin virheiltilä parametritietojen syötössä. Työn tuloksena kehitettiin myös työkalu parametrien kokonaistilanteen tarkastamista varten.</p>			
Avainsanat mallin tarkastelu, määräarviointi, teräsrakenteet, tiedonhallinta			
Luottamuksellisuus luvut 3.3.2, 4 - 6, 7.1 - 7.2			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Civil and Construction Engineering, Construction Architect			
Author Marianne Luostarinen			
Title of Thesis Improvement of Proposal Stage Quantity Estimation for Steel Structures of a Boiler Building			
Date	May 28, 2020	Pages/Appendices	43/0
Supervisors Mr Viljo Kuusela, Senior Lecturer and Mr Matti Mikkonen, Senior Lecturer			
Client Organisation Sumitomo SHI FW, Mr Leo Lee, Civil and Structural Discipline Engineer			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to find certain specific parameters from realized power plant projects chosen for research. Project specific parameters are an essential part of a quantity estimation tool, which will be developed in the near future by the company. In future the quantity estimation tool will provide more accurate and cost-efficient proposals. The purpose of the final project was to create an instruction manual of parameters which would give information for future parameter searching. In addition, the purpose was to create a tool for parameter checking to be used by structural designers and managers.</p> <p>The project was started by inspecting the realized projects. The parameters found in those projects were transferred to a project-specific project data card. During this final project the number of researched realized projects increased. The instruction manual of searching parameters and the parameter checking tool were created after finding all the parameters in the realized projects.</p> <p>As a result of this thesis enough parameter information for developing the quantity estimation tool in future was gained. The new instruction manual of parameters and the parameter checking tool were created to be used by structural designers and managers of the company.</p>			
<p>Keywords information management, model review, a quantity assessment, steel structure</p>			
<p>Confidential chapters 3.3.2, 4 - 6, 7.2 - 7.3</p>			

ALKUSANAT

Haluan kiittää Sumitomo SHI FW Energia Oy:n Structural Engineering -osaston Chief Engineer Heikki Holopaista mielenkiintoisen opinnäytetyön tarjoamisesta sekä Civil and Structural Discipline Engineer Leo Leeta kannustavasta opinnäytetyön ohjaamisesta. Kiitokset myös lehtori Viljo Kuuselalle opinnäytetyön ohjaamisesta.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	KATTILARAKENNUKSEN RAKENNESUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTIA	7
2.1	Rakennus	7
2.2	Kuormat	8
2.3	Suunnittelustandardit	9
3	KATTILARAKENNUKSEN TERÄSRAKENTEET	10
3.1	Kattilan yläpuolinen kannatuspalkisto	10
3.2	Kattilapilarit	12
3.3	Vaakakuormien sekä seismisten kuormien hallinta	13
3.3.1	Kattilaohjurit	13
3.3.2	(LUOTTAMUKSELLINEN)	15
3.4	Teräsrungon jäykistäminen	15
3.4.1	Universaalit seinäsiteet	16
3.4.2	Tornimainen jäykistys	18
4	ESTIMOINTIPARAMETRIT (LUOTTAMUKSELLINEN)	20
5	PARAMETRITIEDON HANKINTA (LUOTTAMUKSELLINEN)	21
6	TIEDONHANKINNAN VAIKEUDET (LUOTTAMUKSELLINEN)	22
7	TULOKSET JA POHDINTA	23
7.1	Ohjeistus projektikortin täyttämistä varten (LUOTTAMUKSELLINEN)	23
7.2	Jatkotutkimus (LUOTTAMUKSELLINEN)	23
7.3	Pohdinta	23
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	24

1 JOHDANTO

Sumitomo SHI FW Energia Oy toimittaa suuren kokoluokan voimalaitoksia, joiden teräsmäärät ovat valtavia. Teräsmääristä johtuen myös materiaalikustannukset ovat suuret. Aikaisemmin yrityksen tarjouksiin ei ole pystytty määrittelemään erittäin tarkasti voimalaitosrakennusten teräksien materiaalimenekkejä ja niistä koostuvia kustannuksia. Yritys haluaa tarkentaa tarjouksiinsa teräsmateriaalien määräravioita, jotta ylimääräiset materiaalmäärät ja niistä johtuvat lisäkustannukset voitaisiin minimoida jo tarjousvaiheessa. Määräarvioinnin tarkentamiseksi tarvitaan lisää referenssidataa useista yrityksen toteutuneista voimalaitosprojekteista.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kerätä yrityksen toteutuneista projekteista tarvittavat parametrit määräravioinnin parantamista varten sekä koota informaatiota tulevaisuudessa tapahtuvan parametritiedon syöttämisen helpottamiseksi. Projekteista kootut parametrit tulevat toimimaan pohjatietona tulevaisuudessa kehitettävälle määräestimointityökalulle, jonka tavoitteena on parantaa voimalaitosten kattilarakennusten teräsmääräravioita tulevaisuudessa jätettäviin tarjouksiin.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Sumitomo SHI FW Energia Oy (jäljempänä SFW). SFW on energia-alan teknologian ja tuotekehityksen edelläkävijä. Se tarjoaa kattila- ja savukaasunpuhdistuslaitosten suunnittelun, toimituksen ja asennuksen sekä laitosten kunnossapitosopimuksen projektitoimituksiinsa. Yrityksen ydinosamista ovat leijukerrosteknologia sekä erityisesti CFB- eli kiertopetikattilat. Yrityksen tuotteisiin kuuluu myös BFB- eli leijupetikattilat, ilmanpaineiset CFB- ja BFB-kaasuttimet, savukaasujen puhdistuslaitteistot sekä metallurgian jätelämpökattilat (WHB). SFW työllistää Suomessa lähes 500 työntekijää. Suomen pääkonttori sijaitsee Espoossa, mutta suurin osa työntekijöistä työskentelee Varkaudessa suunnittelun, huollon ja projektitoimitusten parissa. SFW on osa maailmanlaajuista Sumitomo Heavy Industries Ltd. -yhtiötä, joka työllistää yli 30 maassa noin 21 000 työntekijää. (Company Factsheet 2019, Sumitomo SHI FW.)

2 KATTILARAKENNUKSEN RAKENNESUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTIA

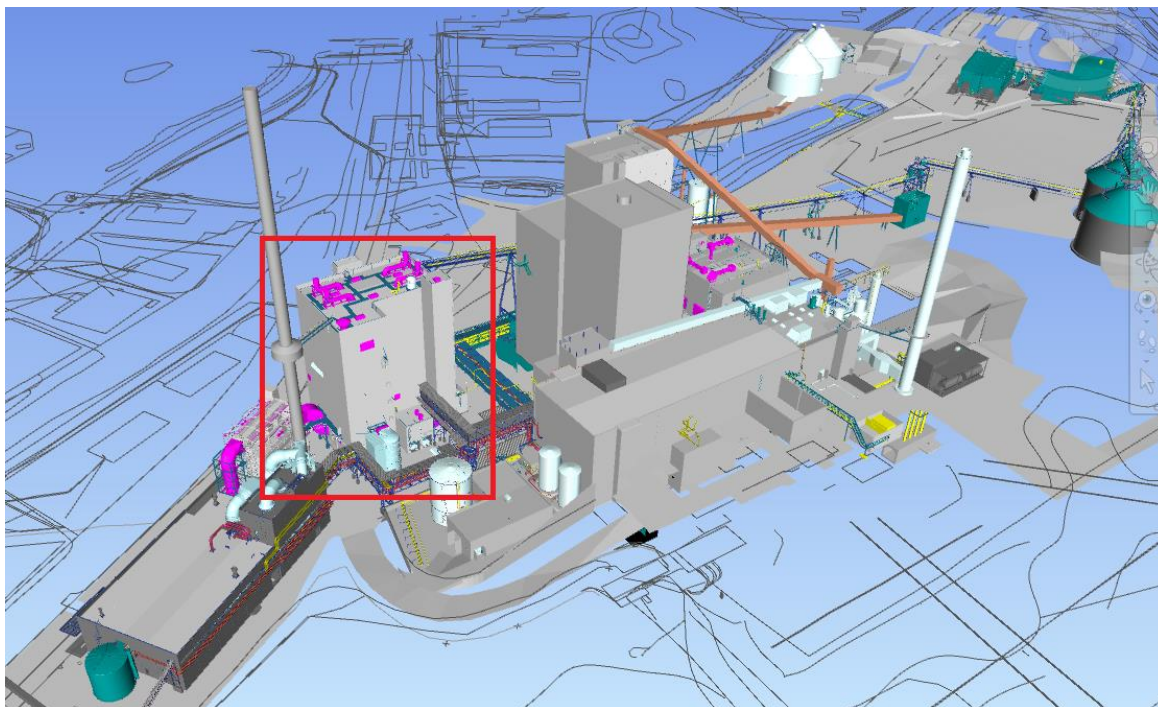
Uuden voimalaitostarjouksen jättäminen vaatii useiden seikkojen huomioon ottamista, sillä tarjous halutaan tehdä kilpailukykyiseksi ja kannattavaksi niin tarjouksen pyytäjälle kuin yritykselle. Jotta tarjoukseen jätettävästä teräsmääräarviosta saataisiin mahdollisimman todenmukainen, on kehitettävä keino määräärvioinnin parantamiseksi. Yhtenä keinona määräärvioinnin parantamiseksi SFW:n sisällä tullaan tulevaisuudessa kehittämään menetelmä, joka hyödyntää yrityksen toteutuneista projekteista saatavaa dataa.

Ennen kuin määräärvioinnin parannustyökalua voidaan alkaa kunnolla kehittämään, on etsittävä tietyjä parametreja jokaisen otantaan valitun toteutuneen projektin projektikansioista. Yrityksen toteutuneita voimalaitosprojekteja on erittäin monia, joten tiettyjen projektien valitseminen otantaan ja niistä tarvittavan tiedon hankkiminen vie aikaa ja vaatii pitkällistä työskentelyä tiedonhankinnan parissa. Parametreihin tarvittavien tietojen löytäminen on kuitenkin erittäin oleellisessa osassa tulevaisuudessa tarjousten määräärvioinnissa, joten on tärkeää löytää nämä tiedot ja varmistua niiden oikeellisuudesta. Kun ymmärretään voimalaitoksen kattilarakennuksen rakenteita, niiden suunnittelua ohjaavia tekijöitä sekä rakennuksen sisällä olevan laitteiston vaikutusta rakenteisiin, on helpompaa löytää parametreihin oikeita arvoja ja varmistaa niiden paikkansa pitävyys.

2.1 Rakennus

Voimalaitoskokonaisuus käsittää kohteesta riippuen useita erilaisia rakennuksia, rakennuksen osia sekä rakennusten sisällä olevia laitteistoja. Yrityksessä työskentelevän Civil Discipline Engineerin alaa on vastata alihankittavasta rakennusten ja rakennusosien teräsrakennesuunnittelusta projektikohtaisesti. Teräsrakenteet suunnitellaan seuraaviin voimalaitoksen osiin:

- kattilarakennus
- porraskäytävät
- tuuletinhuoneet
- polttoaine- ja lisäainesiilojen tukirakenteet
- ilman esilämmittimien tukirakenteet
- sähköhuoneet
- toimistot sekä muut mahdolliset huoneet (Civil Discipline 2008).



KUVA 1. Lahti Energian Kymijärven voimalaitoskokonaisuus

Kuvassa 1 on esitetty Lahti Energian Kymijärven voimalaitoskokonaisuus, jossa punaisella on ympäröitynä SFW:n toimittama Kymijärvi III -voimalaitoksen kattilarakennus. Kattilarakennuksen runkorakenteeseen suunniteltavia osia ovat asennuskerrokset, jäykistävät tasot ja rungon jäykistys, pilarit ja palkit, kattilaohjurit, teräsputkiprofiilit sekä kiinnityskokoonpanot. Tasorakenteisiin suunniteltavia osia ovat ritilät, rihlatut teräksiset lattiapellit eli turkkilevyt, kaiteet, potkulevyt, porraskäytävät ja tikkaat. Lisäksi suunnitteluun tarvittaessa kuuluvat myös seinä- ja kattorakenteet, pintakäsittelyt, LVI-ratkaisut, palovedet sekä laitteistot, kuten hissit, nostimet, keskuspyörimurit. (Civil Discipline 2008.)

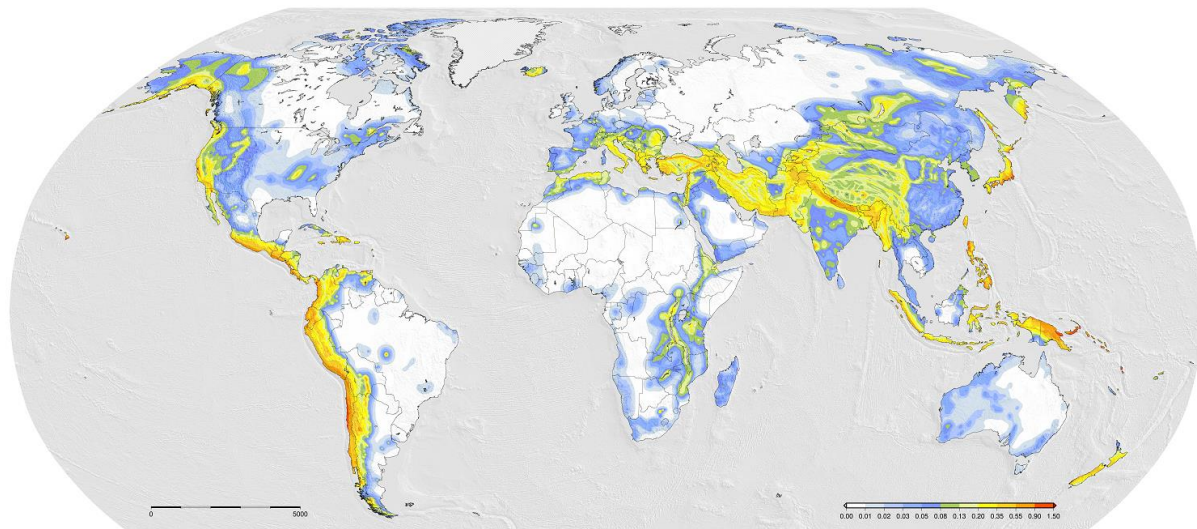
2.2 Kuormat

Kattilarakennukseen suunnitellaan runko- ja tasorakenteet ottaen huomioon rakennuksiin kohdistuvat ulkoiset ja sisäiset voimat sekä rasitukset. Ulkoisia voimia ovat tuuli- ja lumikuormat sekä mahdolliset seismiset kuormat. Kattilarakennuksen sisällä vaikuttavia voimia ovat tasokuormat sekä laitteistosta ja sen toiminnasta aiheutuvat kuormitukset ja pistekuormat.

Sääolot ja alueen seismisyys on otettava huomioon rakenteiden suunnittelussa. Kohteen maantieteellinen sijainti määrittää sääolosuhteisiin liittyvät suunnittelutarpeet. Tuuliolosuhteet, vuodenajan mukaan muuttuvat lämpötilat sekä talvella esiintyvät lumimäärät vaikuttavat rakenteiden suunnitteluun.

Seismisyys riippuu kohteen sijainnista (kuva 2) ja rakennuspaikan maaperän koostumuksesta eli maaperäluokasta. Yleensä Euroopassa projektit ovat sijainneet ei-seismisillä tai matalan seismisyyden alueilla, kun taas esimerkiksi Aasiassa ja Etelä-Amerikassa sijaitsevat projektit ovat

yleensä sijainneet kohtalaisen tai korkean seismisyyden alueilla. Alueen seismisyys ja maaperäluokka pitää tarkastaa aina projektikohtaisesti, sillä myös Euroopassa on korkean seismisyyden alueita ja Aasiassa matalan seismisyyden alueita. (Civil Engineering & Design Standards Manual 2012.)



KUVA 2. Mantereiden seismisyyttä havainnollistava kartta (M. Pagani, J. Garcia-Pelaez, R. Gee, K. Johnson, V. Poggi, R. Styron, G. Weatherill, M. Simionato, D. Viganò, L. Danciu, D. Monelli 2018)

2.3 Suunnittelustandardit

Suunnittelua ohjaavat suunnittelustandardit, jotka vaihtelevat projektin sijainnin ja asiakasvaatimusten mukaan. Euroopassa suunnittelua ohjaavat EN-, ISO- ja paikalliset standardit, kun esimerkiksi Kaukoidässä suunnittelua ohjaavat tyypillisesti kuvassa 3 osittain esitetyt amerikkalaiset suunnittelustandardit ANSI/AISC, ASTM tai paikalliset standardit. Tärkein amerikkalainen suunnittelustandardi rakenteiden kuormien määrittämisessä on ASCE 7 ja teräsrakenteiden suunnittelussa AISC 360. Standardit ohjaavat kaikkea suunnittelussa kuormien laskennasta kiinnikkeiden toleransseihin.

AISC - American Institute of Steel Construction

- ANSI/AISC 360: Specification for structural steel buildings.
- ANSI/AISC 341: Seismic provisions for structural steel buildings.
- ANSI/AISC 358: Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications.
- ANSI/AISC 303: Code of standard practice for structural steel buildings and bridges.
- AISC 420/SSPC-QP3: Certification Standard for shop application of complex protective coating systems.

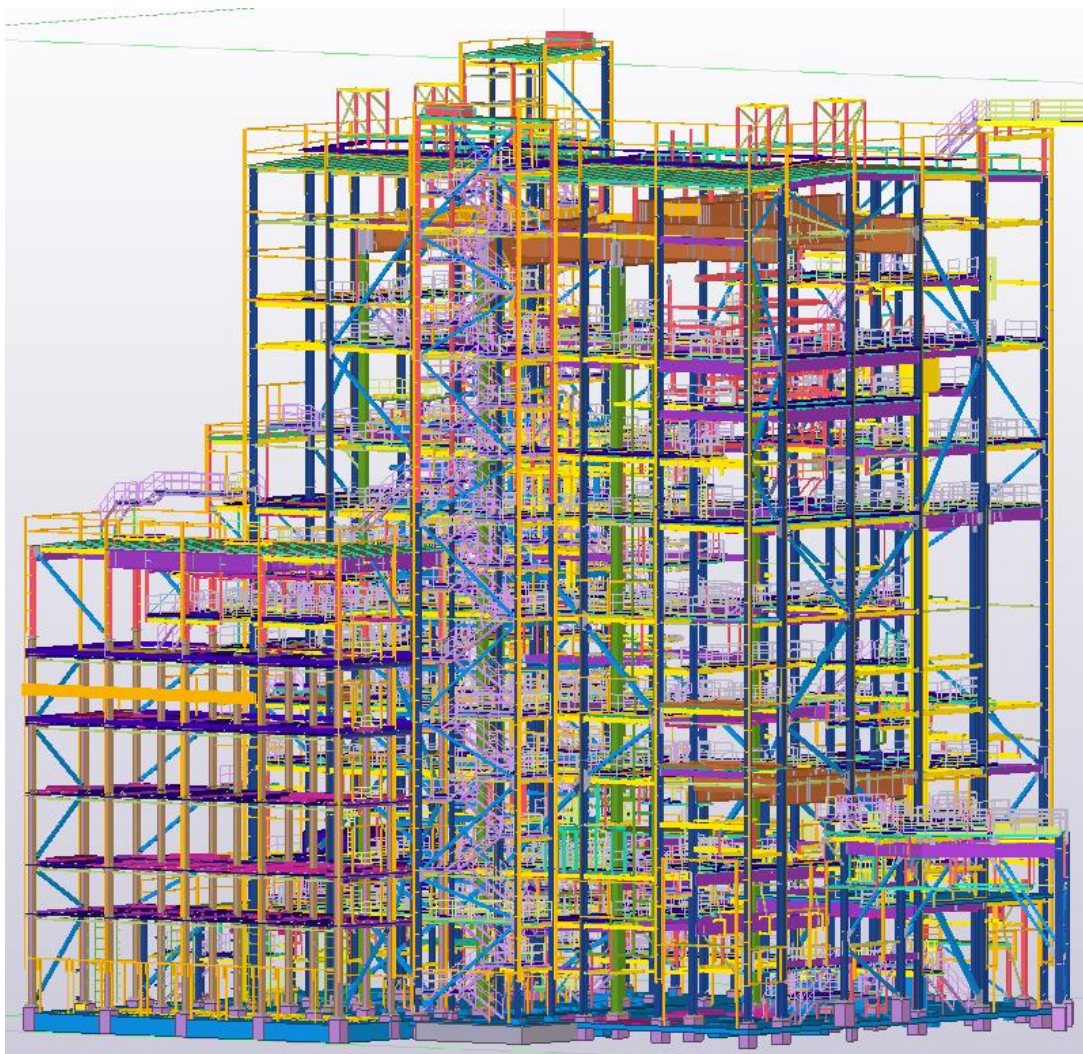
ASTM – American Society for Testing and Materials

- ASTM A6/A6M: Standard specification for general requirements for rolled structural steel bars, plates, shapes and sheet piling.
- ASTM A36/A36M: Standard specification for carbon structural steel.
- ASTM A53/A53M: Standard specification for pipe, steel, black and hot-dipped, zinc-coated, welded and seamless.
- ASTM A123: Standard specification for zinc (hot-dip galvanized) coatings on iron and steel products.
- ASTM A193/A193M: Standard specification for alloy-steel and stainless steel bolting materials for high temperature or high pressure service and other special purpose applications.
- ASTM A194/194M: Standard specification for carbon and alloy-steel nuts for bolts for high pressure or high temperature service or both.

KUVA 3. Ote amerikkalaisista suunnittelustandardeista (Civil Engineering & Design Standards Manual 2012)

3 KATTILARAKENNUKSEN TERÄSRAKENTEET

Voimalaitoksissa olevat kattilarakennukset ovat teräsrakenteisia ja ne ovat lähes poikkeuksetta ristikkojäykisteisiä pilari-palkkirunkoja. Kuvassa 4 on nähtävissä kattilarakennuksen teräsrakenteet. Kattilarakennuksissa on muutamia normaalista rakennuksesta poikkeavia rakenteita, joita ovat esimerkiksi kattilan kannatuspalkistot, kannatuspalkistoa kannattelevat pilarit, kuormien hallintaan suunniteltavat ohjurit sekä rakennuksen jäykistäminen.



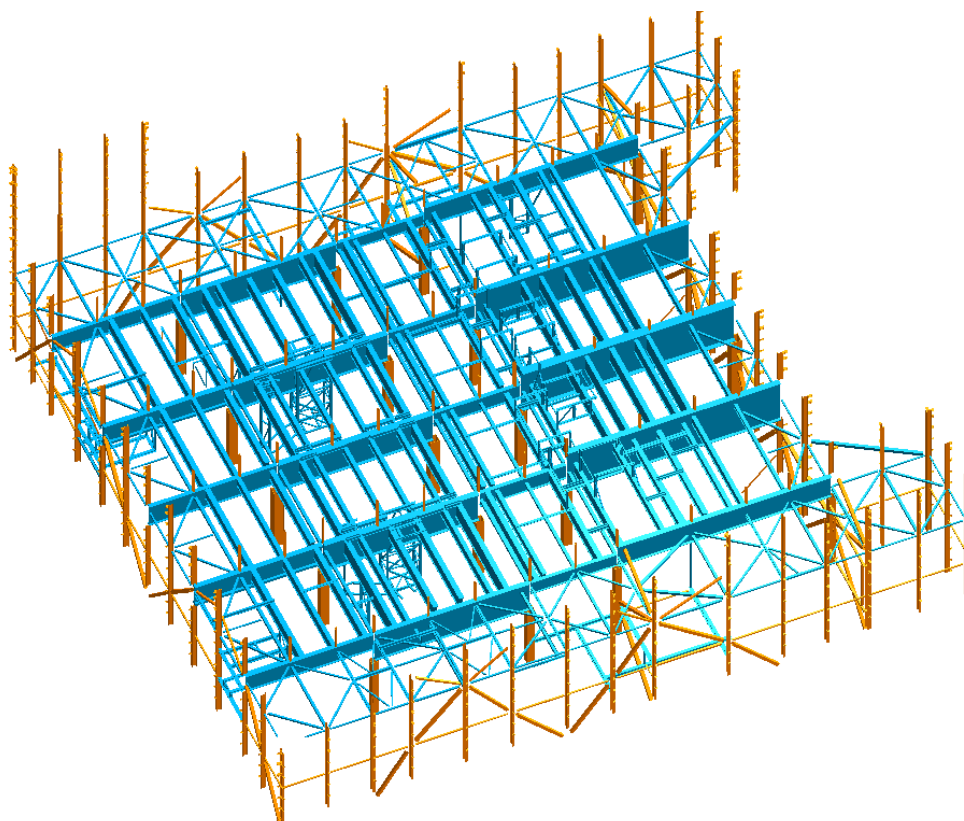
KUVA 4. Kattilarakennuksen teräsrakennemalli

3.1 Kattilan yläpuolinen kannatuspalkisto

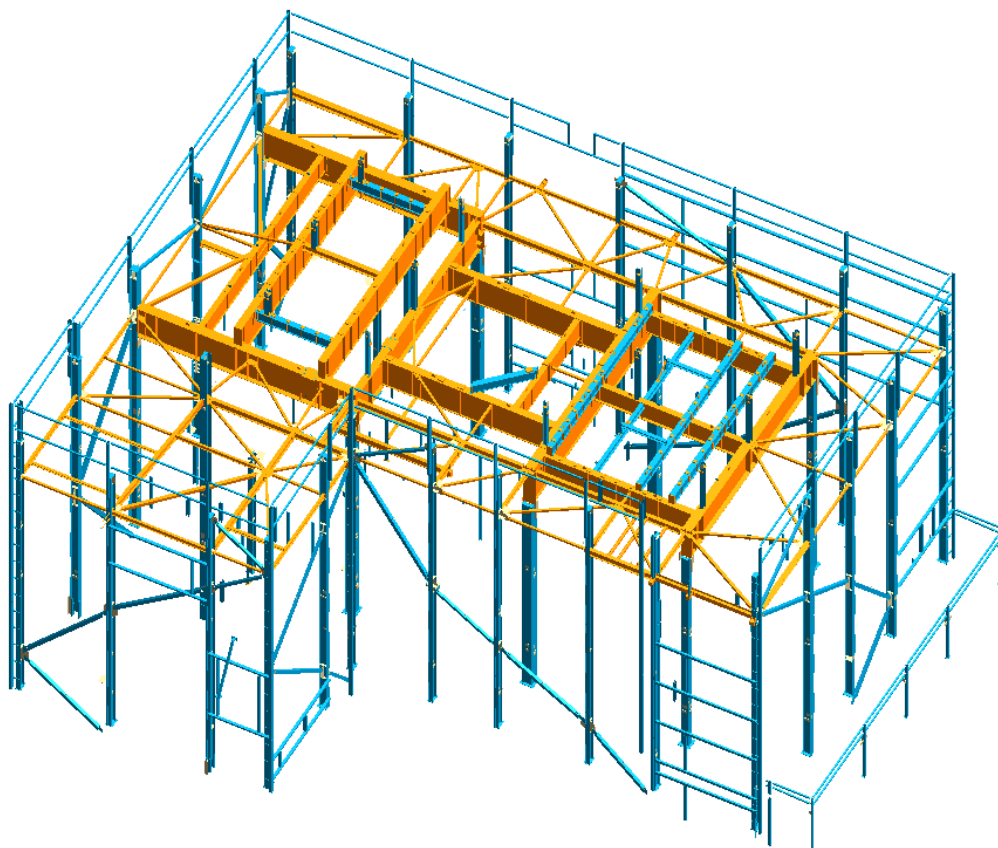
Kattila voidaan kannattaa sen ylä-, ala- tai keskiosista. Eniten käytetty kannatustapa on yläpuolinen kannatus. Tällöin kattilaa kannattelevat pystysuorat ripustustangot, jotka roikkuvat kiinni kattilan yläpuolisessa kannatuspalkistossa. Kattilan kannatuspalkisto koostuu useimmiten hitsatuista kotelopalkeista (WB) ja hitsatuista avoprofiileista (WI). Kannatuspalkisto kantaa kattilan kuormat ja siirtää ne hitsattujen kotelopilareiden kautta perustuksille. Kun kattilan kannatuspalkisto on edellä mainitun kaltainen rakenne, sallitaan kattilan lämpölaajenemisen tapahtuvan alaspäin. Kannatuspalkiston palkkien määrä, koko ja järjestys vaihtelevat riippuen kattilan koosta. Kuvassa 5 oleva kannatuspalkisto on suunniteltu suuremmalle kattilalle. Kannatuspalkistossa on useita

pienempiä palkkeja kannatettuna pilareilla palkin päistä. Palkkien pituus on minimoitu järjestelmällä kannatuspilareit tulipesän sivulle lyhemmän jännevälän suuntaisesti.

Kuvassa 6 on esitetty kannatuspalkkisto pienemmälle kattilalle. Kannatuspalkkistoon suunnitellaan korkeintaan muutamia palkkeja, jotka kannatetaan pilareilla vain palkkien päistä. Jos kannatuspalkkistossa on pelkästään yksi suuri palkki, kattilan takaseinän ja erottimen välisen kannatuspalkin välituentapilarin sijainti on haasteellinen kattilan eristämistä johtuvien tilahaasteiden vuoksi. Kun tilaa taipumista estäville vaakajäykisteille on vähän tai ei ollenkaan, maanjäristyksen sattuessa tämä paikka on kriittinen piste ei-toivotuille vaikutuksille.



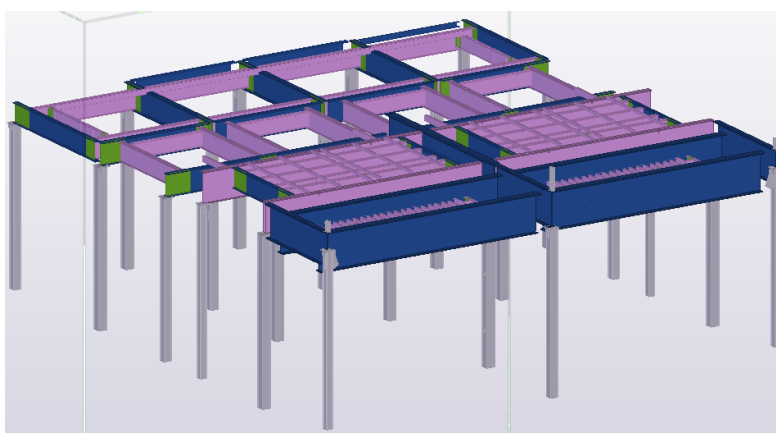
KUVA 5. Kannatinpalkkisto Etelä-Koreassa Samcheokin voimalaitoksessa, jossa yhden kattilan sähköteho on noin 500 MWe.



KUVA 6. Kannatinpalkisto Lahdessa KyVo 3 -voimalaitoksessa, jonka kattilan sähköteho on noin 150 MWe.

3.2 Kattilapilarit

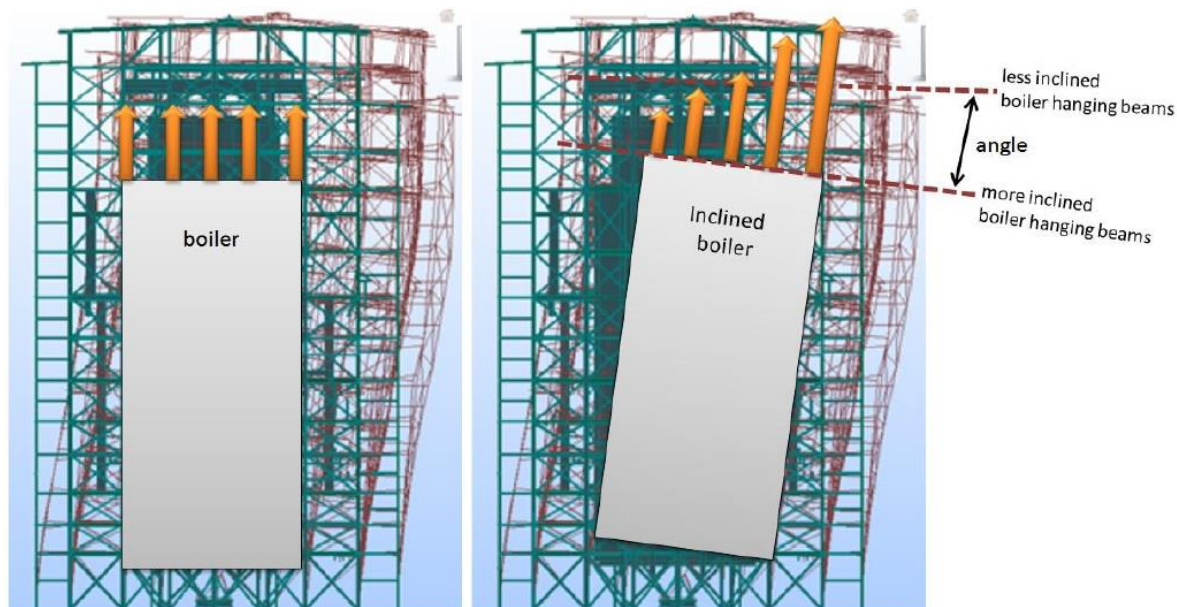
Kattilapilarit kannattelevat kattilan kannatuspalkistoa (kuva 7). Ne siirtävät kannatuspalkiston kautta kattilan painosta tulevan kuorman alaspäin aina perustuksille saakka. Pilarit suunnitellaan toteutettavaksi yleensä poikkileikkaukseltaan neliskulmaisena, rakenneteräksestä tehtynä kokoonpanona. Kattilapilarit voidaan suunnitella toteutettavaksi myös betonilla täytettyinä kotelo- eli liittopilareina. Kyseisten liittopilarien käyttö voi vähentää kattilan pilarien teräsmäärää yli kymmenen prosenttia verrattuna täysin teräksestä valmistettuihin pilareihin. Liittopilareiden käytöllä voidaan mahdollisesti pienentää kustannuksia.



KUVA 7. Kattilapilareita yläpuolelta kannatetun kattilan kannatuspalkiston kannattajina

3.3 Vaakakuormien sekä seismisten kuormien hallinta

Kuva 8 esittää kattilan kallistumista vaakakuormien vaikutuksesta. Vaakakuormien (tuuli, seisminen) vaikuttaessa kattilarakennukseen kattila pyrkii kallistumaan rakennuksen mukana, sillä kattila ja teräsrunko toimivat rakenteellisesti yhdessä. Kattilarakennuksen taipuman aiheuttamat kuormitukset otetaan vastaan kattilaohjaimilla ja pohjaohjurilla.



KUVA 8. Kallistunut kattila, kun rakenteeseen kohdistuu vaakasuuntaisia kuormituksia (Civil Engineering & Design Standards Manual 2012).

Tällaisissa tapauksissa kattilasta tulee osa vaakakuormia siirtävää rakennejärjestelmää ja suunnittelussa on varmistettava, että kattila on tarpeeksi vahva ottamaan näitä kuormia vastaan. Kattilan jäykkyyden mallintaminen osaksi laskentamallia on ratkaisu tähän. Kun kattila toimii osana kattilarakennuksen runkorakennetta, se mallinnetaan rakennuksen laskentamalliin kattilan jäykkyyttä kuvaavana korvausmallina. Kattilan korvausmallin päätarkoitus laskentamallissa on esittää rakenteellinen vuorovaikutus, jotta saavutetaan teknisesti riittävä tarkkuus rakennuksen jäykkyydelle sekä voimien jakaantumiselle.

3.3.1 Kattilaohjurit

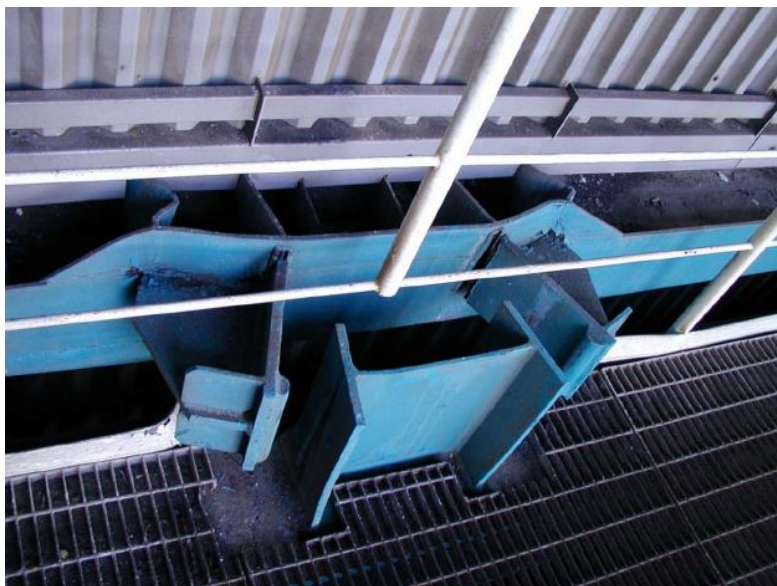
Kattilaa tuetaan yläpuolelta kannatuspalkistosta ja ohjataan keskiosista pystysuorilla kattilaohjureilla, jotka ovat sijoitettuna yleensä vähintään kahdelle eri jäykistystasolle. Kattilaohjurit ovat pystysuuntaisia palkkeja, jotka säätävät kattilan vaakasuuntaisia liikkeitä sekä estävät kattilan ja sitä ympäröivän teräsrunkon yhteentörmäyksen (kuva 9). Kattilaohjurit kiinnitetään päistään kattilaa ympäröivään kehyspalkkijärjestelmään ohjurihaarukoilla. Kattilaohjurit estävät kattilan lämpölaajenemisesta johtuvia liikkeitä. Kattilaohjurit sijoitetaan jäykistettyjen tasojen korkoihin.

Kattilaohjurien avulla mahdollistetaan vakaampi tuki kattilalle sekä vähennetään rakenteen huojumista. Kattilaohjureita ei pidä kiinnittää suoraan kattilan joustavaan putkiseinään, vaan ohjurit toteutetaan kehyspalkkijärjestelmän osana.



KUVA 9. Pystysuuntainen kattilaohjuri ja ohjurihaarukat

Kattilaohjureiden ja putkiseinän liitoksen yksityiskohtaiseen suunnitteluun kiinnitetään erityistä huomiota, sillä kattilan putkiseinän leikkausvoimakapasiteetti on kriittinen maanjäristysmitoituksessa. Kuvassa 10 on maanjäristyksestä koituneista voimista aiheutunut kattilaohjurin vaurioituminen. Kitkavoima ohjurin ja vaakasuuntaisen palkin välillä voi taivuttaa haarukkapalkkia. Tällainen taipuminen voidaan välttää jäykistämällä vaakasuuntainen haarukkapalkki.

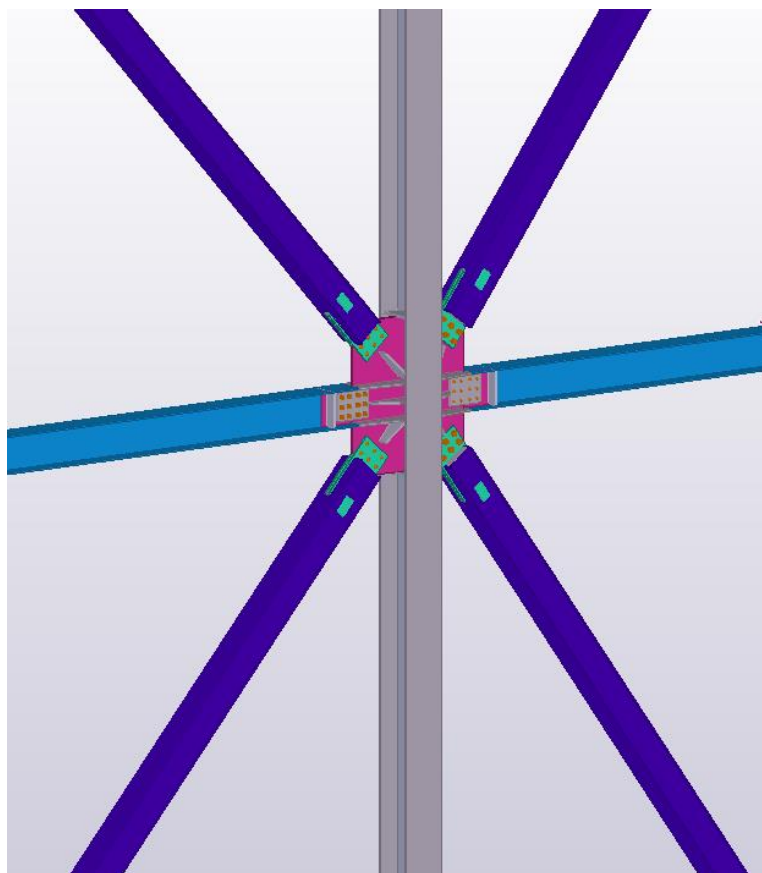


KUVA 10. Maanjäristyksestä koituneista voimista aiheutunut kattilaohjurin vaurioituminen (Civil Engineering & Design Standards Manual 2012)

3.3.2 (LUOTTAMUKSELLINEN)

3.4 Teräsrungon jäykistäminen

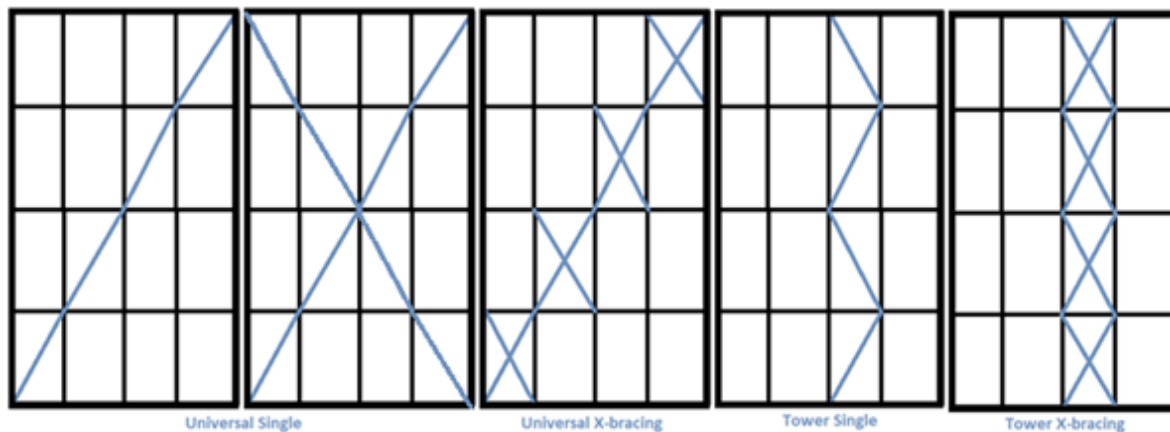
Seinäsiteet ovat yleensä nelikulmaisia tai pyöreitä rakenneputkia. Seinäsiteet ottavat vastaan vaakasuuntaisia voimia laitteista, tuulesta ja maanjäristyksistä sekä estävät rakennuksen liiallisen taipumisen. Seinäsiteiden liitokset suunnitellaan niin, ettei niihin tule liiallisia epäkeskeisyyksiä. Liitoksien symmetria auttaa vähentämään kiertymiä. Symmetria myös jakaa jäykisteille tulevia voimia tasaisesti. Pilarin, palkkien ja jäykisteiden liitokset suunnitellaan kuvan 13 mukaisesti menemään läpi samasta pisteestä voimien liiallisten epäkeskisyyksien vähentämiseksi.



KUVA 13. Pilarin, palkkien ja seinäsiteiden linjat kulkevat läpi liitoksen keskilinjan kohdalta.

Seinäsiteiden liitos seinäpilareihin toteutetaan ruuviliitoksella, jossa seinäside kiinnitetään siteen päähän hitsatuista palstalevyistä pilariin hitsattuun nurkkaliitoslevyyn. Seinälinjan palkkien liitos seinäpilareiden nurkkaliitoslevyihin toteutetaan ruuviliitoksella, jossa irralliset palstalevyt kiinnitetään pilarin nurkkaliitoslevyyn. Palstalevyt voivat olla joko vain liitoksen toisella puolella tai liitoksen molemmin puolin.

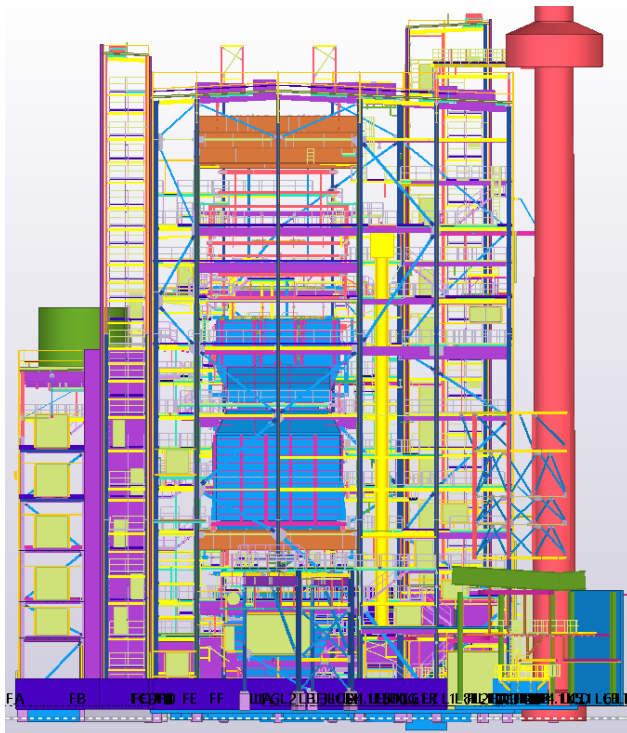
Kuvassa 14 on esitetty, kuinka rakennuksen ulkoseinälinjat jäykistetään eri tavoin riippuen seinälinjoille kohdistuvista kuormista. Jäykistystyyppit voidaan jakaa universaaleihin seinäsiteisiin, jotka eivät mene seinälinjan ruuduissa päällekkäin tai tornimaisiin seinäsiteisiin, jotka kulkevat seinälinjan ruuduissa päällekkäin. Nämä tyyppit voidaan jakaa vielä joko yksittäisiin siteisiin tai ristisiteisiin riippuen siitä, onko ruudussa yksi vai kaksi sidettä.



KUVA 14. Havainnekuva jäykistystyypeistä

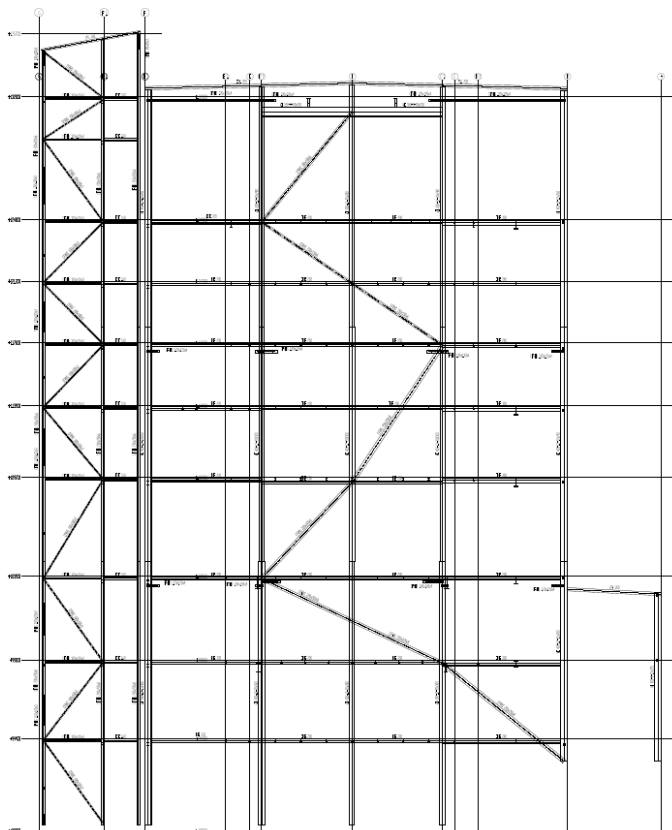
3.4.1 Universaalit seinäsiteet

Universaalia jäykistämistapaa käytetään yleensä ei-seismisillä tai matalan seismisyyden alueilla sijaitseissa kattilarakennuksissa, sillä universaalilla jäykistämistavalla rakennuksesta saadaan erittäin jäykkä. Universaalit koko seinälinjan jäykisteet muodostuvat diagonaalisista seinäsiteistä kattilarakennuksen ulkoseinälinjoilla. Ne kulkevat yleensä seinälinjan alareunasta vastapäiseen yläreunaan tai lähes yläreunaan tehden ulkoseinään suuria x- tai vaakasuuntaista v-kirjainta muistuttavia linjoja. Kuvassa 15 on esimerkki koko seinälinjan jäykistävästä diagonaalisista seinäsiteistä, jotka on aseteltu universaalisti seinälinjalle. Jäykisteet näkyvät kuvassa sinisellä värityksellä.



KUVA 15. Koko seinälinjan universaali jäykistystapa Tees Renewable Energy Plant -voimalaitoksessa Isossa-Britanniassa

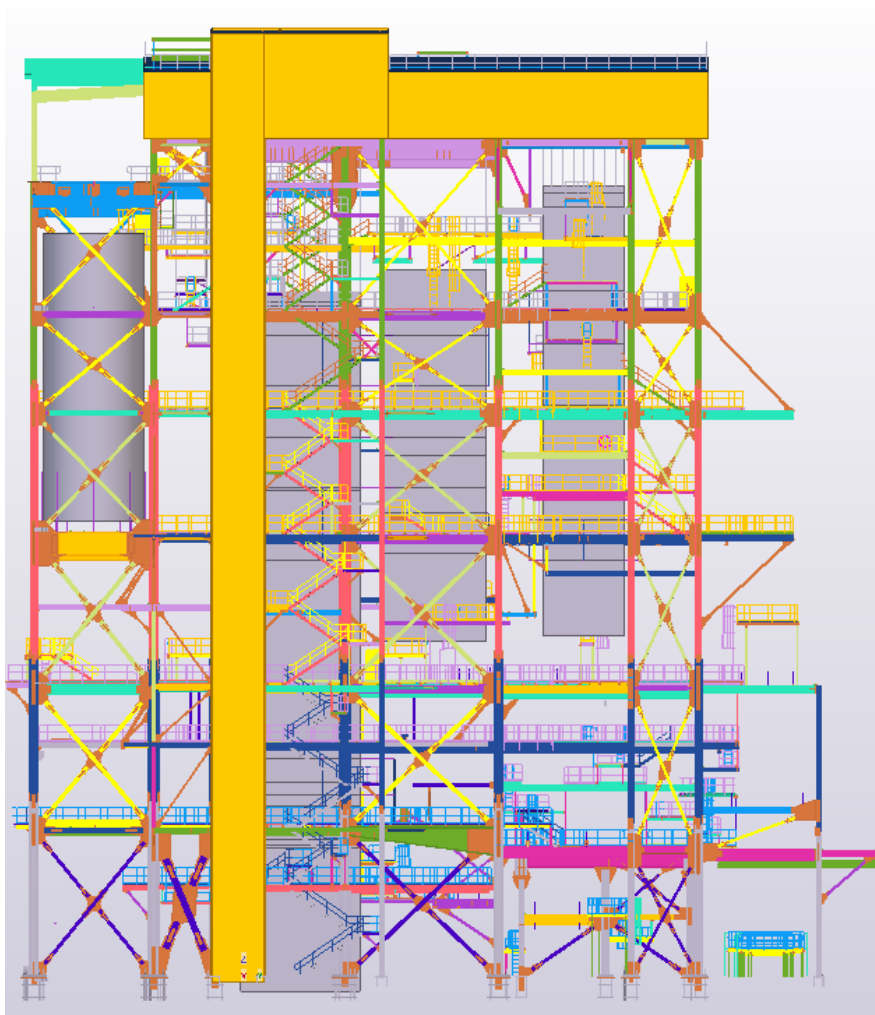
Universaalit osaseinälinjan jäykistävät seinäsiteet ovat malliltaan saman kaltaisia kuin universaalit koko seinälinjan jäykisteet, mutta ne eivät tule koko seinälinjan matkalle. Seinäsidelinja kulkee yleensä keskellä seinää, kuten kuvassa 16, mutta vaihtoehtoisesti se voi kulkea myös jommassa kummassa tai molemmissa seinälinjan reunoissa.



KUVA 16. Keskellä seinälinjaa kulkeva osittainen universaali seinäsidelinja

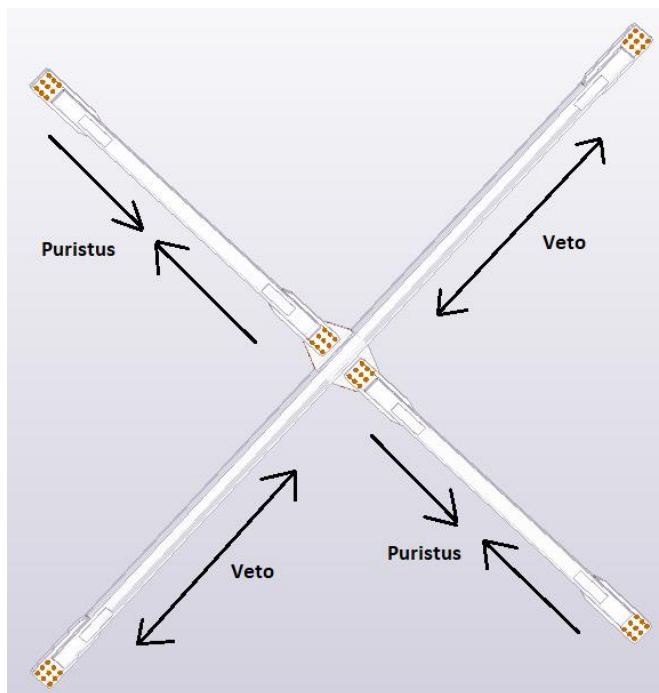
3.4.2 Tornimainen jäykistys

Tornimaisia jäykisteseinälinjoja suositellaan käytettäväksi korkean seismisyyden alueilla. Tornimaiset jäykistelinjat tekevät rakennuksesta joustavamman, jolloin maanjäristyksen sattuessa se joustaa huomattavasti enemmän kuin universaalein seinäsitein jäykistetty rakennus. Kuvassa 17 on käytetty tornimaisia ristikselinjoja kattilarakennuksen jäykistämiseen, koska rakennus sijaitsee korkean seismisyyden alueella.



KUVA 17. Tornimaisia ristikselinjoja Filippiineillä sijaitsevassa Cebu Therma Visayas Energy -voimalaitoksessa

Tornimaista ristikselinjoa käytettäessä ristisiteiden nurjahduspituus voidaan puolittaa, kun siteitä ei tarvita pystyvoimien välittämiseen, molemmat siteet ovat samaa profiilikokoa ja vähintään toinen side on toteutettu jatkuvana. Tornimaisissa ristisiteissä on myös enemmän jäseniä verrattuna universaaliin seinäsidejärjestelmään. Kun nurjahduspituus on lyhyt ja siteiden määrä on suurempi, saavutetaan kohtuullisia liitoskokoja. Jäsenten ollessa saman kokoisia niille kohdistuvat puristus- ja vetovoimat ovat yhtä suuria, kuten kuvassa 18.



KUVA 18. Puristus- ja vetovoiman tasapaino ristisiteissä

4 ESTIMOINTIPARAMETRIT (LUOTTAMUKSELLINEN)

5 PARAMETRITIEDON HANKINTA (LUOTTAMUKSELLINEN)

6 TIEDONHANKINNAN VAIKEUDET (LUOTTAMUKSELLINEN)

7 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin hankittua parametritietoa toteutuneista projekteista, jotta määräestimointityökalua voidaan kehittää lähitulevaisuudessa yrityksessä. Projektikorttiedostoa, jonne parametrit syötettiin, muokattiin mahdollisimman selkeäksi tiedostoksi. Projektikorttiin kehitettiin parametrien täyttämistä ja tarkastamista seuraava seurantatyökalu suunnittelijan ja esimiehen käyttöön. Opinnäytetyön tuloksena yritys sai tietoa tiedonhallinnallisista epäkohdista parametritiedon hankinnassa.

7.1 Ohjeistus projektikortin täyttämistä varten (LUOTTAMUKSELLINEN)

7.2 Jatkotutkimus (LUOTTAMUKSELLINEN)

7.3 Pohdinta

Opinnäytetyön teko eteni sujuvasti koko työskentelyn ajan. Kun parametrien etsinnässä tuli vastaan tilanteita, joissa kaikkia tietoja ei löytynyt, tiedot olivat jollain tavoin epäluotettavia tai oli mitä tahansa epäselvyyksiä, yrityksen ohjaaja auttoi aina kysyttäessä tai ohjasi asiasta tietävälle henkilölle. Opinnäytetyön edetessä ymmärrys parametritiedon etsinnän tärkeydestä kasvoi. Myös englannin kielen taito kehittyi huomattavasti, kun lähes kaikkien läpikäytyjen projektien kielenä on käytetty englantia. Ennen opinnäytetyön alkamista ei ollut mitään kokemusta voimalaitoksista, niiden rakenteista tai laitteistoista. Opinnäytetyön jälkeen on syntynyt käsitys voimalaitosten rakenteista ja laitteiden toiminnasta, vaikka tosin opiskeltavaa on vielä valtavasti edessä.

Opinnäytetyön kannalta ongelmallisinta oli aluksi tottua projektipankin käyttämiseen ja sen kansiorakenteiden toimintaan. Yrityksen sisällä on täysin omat toimintatavat, joten integroituminen näihin toimintatapoihin otti oman aikansa. Yrityksessä käytettävien käsitteiden ja lyhenteiden ymmärtäminen ja sisäistäminen vaati omatoimista selvittämistä eikä kaikki käsitteet ole tulleet vielä tutuiksi opinnäytetyön päätteeksikään.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön tekeminen suuressa monikansallisessa yrityksessä oli erittäin antoisaa ja opettavaista minulle. Uskon, että opinnäytetyössäni saavutetut tulokset palvelevat yrityksen tarpeita määräestimoinnin kehittämisessä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

FOSTER WHEELER ENERGIA OY. 2008. Civil Discipline [PowerPoint-esitys]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

FOSTER WHEELER ENERGIA OY. 2012. Vanttinen, Eetu. Civil Engineering & Design Standards Manual. [PDF-tiedosto]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

PAGANI, M., GARCIA-PELAEZ, J., GEE, R., JOHNSON, K., POGGI, V., STYRON, R., WEATHERHILL, G., SIMIONATO, M., VIGANÓ, D., DANCIU, L., MONELLI, D. 2018. [digikuva]. Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard Map (version 2018.1 - December 2018), DOI: 10.13117/GEM-GLOBAL-SEISMIC-HAZARD-MAP-2018.1.

SUMITOMO SHI FW. Company Factsheet [verkkoaineisto]. Sumitomo SHI FW [viitattu 2020-04-23]. Saatavissa: <https://www.shi-fw.com/wp-content/uploads/2019/06/Sumitomo-SHI-FW-Company-Factsheet.pdf>

SUMITOMO SHI FW. 2018. (LUOTTAMUKSELLINEN) [PDF-tiedosto]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW EMC. 2019. (LUOTTAMUKSELLINEN) [PowerPoint-esitys]. Shanghai. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY. 2018. Building Volume Calculation for Weight Estimation [PowerPoint-esitys]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY. 2019. Design Response Spectrum in Reference Projects [Excel-tiedosto]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY. 2019. Holopainen, Heikki. Earthquake Performance Requirements for Equipment [PowerPoint-esitys]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY. 2020. Lee, Leo. Analysis of Steel Quantity Base Values [Excel-tiedosto]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY. 2020. Lee, Leo. CIVIL, Steel Structures and Miscellaneous Steel Quantity Estimation [Excel-tiedosto]. Varkaus. Dokumentti yrityksen hallussa.

Kuvat 1, 4 - 7, 9, 13 - 18, 23 - 31, 33 ovat tekijän ottamia/piirtämiä kuvia.