

Pekka Jaakkola

# Hitsattujen betoniraudoitekokoonpanojen hyödyntäminen rakennusten perustuksissa ja tartunnoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennesuunnittelu

Insinöörityö

2.4.2019

Tekijä Otsikko	Pekka Jaakkola Hitsattujen betoniraudoitekokoonpanojen hyödyntäminen rakennusten perustuksissa ja tartunnoissa
Sivumäärä Aika	74 sivua + 3 liitettä 2.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Kehityspäällikkö Mikael Diakhate Laboratorioinsinööri Matti Leppä
<p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Celsa Steel Service Oy</p> <p>Betoniteräsrakenteiden raudoittaminen on rakennushanketta tahdittava työvaihe. Käsin suoritettuna raudoittaminen vaatii erikoisosaamista ja työskentelyä ääriolosuhteissa. Tämä perinteinen raudoittamisen suorittamismenetelmä on aiheuttanut haasteita aikataulu-, kustannus- ja turvallisuussuunnittelussa.</p> <p>Tämän kehitysprojektin tavoitteena oli tunnistaa mahdollisia tuotteita helpottamaan ja nopeuttamaan raudoitustyötä paikallavalurakenteissa sekä valmistaa työkaluja näiden tuotteiden suunnittelua helpottamaan. Lopullisena tavoitteena oli tuottaa mahdollisimman paljon lisäarvoa niin asiakkaille kuin toimittajallekin. Kehitysprojekti suoritettiin kansainvälisesti Celsa Groupin pohjoismaisen liiketoimintayksikön Celsa Nordicin yhteistyöprojektina. Kehitetyt työkalut luotiin koko liiketoimintayksikön käytettäviksi.</p> <p>Työn kirjallisessa osiossa tarkastellaan kehitysprojektin etenemistä ja kehitettyjä ratkaisuja, sekä esitellään laskentaperiaatteita tuotettujen ratkaisujen taustalla. Työkalujen ja tuotteiden kehitys on perustunut eurokoodista löytyviin laskentakaavoihin ja betoninormien esittämiin vastaaviin laskelmiin. Työssä esitellään myös kehitettyjen asennusratkaisujen vertailua perinteisiin menetelmiin Celsa Steel Servicen suorittamien testien pohjalta.</p> <p>Kehitysprojektin tutkimusta tarkasteltiin usean eri tutkimusmenetelmän avulla, sillä projektiin kuului useita eri osa-alueita jolloin yhden tietyn tutkimusmenetelmän käyttäminen olisi ollut erittäin haastavaa. Tutkimukseen rajatut tavoitteet saavutettiin kuitenkin hyvin.</p> <p>Kehitysprojekti jatkuu kirjallisen työn valmistumisen jälkeen käyttäen hyväksi kehitettyjä työkaluja. Työssä esitettyjen tuotteiden laskelmat soveltuvat uusien tuotteiden kehitykseen ja helpottavat jatkotutkimusta.</p> <p>Työssä esiintyy Celsa Steel Service Oy:n yritysstrategiaa ja käytäntöjä. Tästä johtuen osia työstä on sensuroitu tai muokattu.</p>	
Avainsanat	Raudoittaminen, eurokoodi, kansainvälinen yhteistyö

Author Title	Pekka Jaakkola Utilization of welded reinforcement elements in foundations and connections
Number of Pages Date	74 pages + 3 appendices 2 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Mikael Diakhate, Development Manager Matti Leppä, Laboratory engineer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Celsa Steel Service Oy.</p> <p>Reinforcing manually is laborious and time consuming. It also induces a lot of physical stress for the worker and requires a specialization. This is demanding for the time schedule and the worker.</p> <p>Potential products to alleviate physical stress for the worker and reduce installation time for reinforcement we're identified in the development project. Planning tools for the development of new products were also built. The development project was an international project made in co-operation between different sections in the Celsa Nordic division. All produced planning tools were made to be used internationally within the division.</p> <p>The progress of the development project is focused on in the written part of the thesis. Focus is in explaining the developed planning tools and products. The planning tools and products were produced according to calculations in Eurocode and Finnish concrete norms. The written part also presents comparison between traditional methods of reinforcing and installation with welded reinforcement elements based on tests performed by Celsa Steel Service.</p> <p>The development project is ongoing and will use the planning tools and methods developed earlier in the project. The calculations and tools developed in the project can be applied in the production of future products.</p> <p>Using semi- and prefinished reinforcement elements can shorten production and delivery times and lessen the physical stress for the workers on site by transforming parts of the manual labor to be done through automation. The end goal is to produce as much of added value for the customer, and the company, as possible.</p> <p>The thesis includes strategic information from Celsa Steel Service Oy. Parts of the thesis have been censored and edited.</p>	
Keywords	Reinforcing, Eurocode, international co-operation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Celsa Steel Service Oy	4
1.2	Aiheen esittely	7
1.3	Teräsbetonirakentaminen	8
1.3.1	Haasteet	8
1.4	Työn lähtökohdat ja rajaukset	10
1.5	Tutkimusmenetelmät	12
2	Perusrakenteet ja suunnitteluperusteet	14
2.1	Lähtökohdat	14
2.2	Rakenteiden mitoitus	15
2.2.1	Mitoitusmenetelmät	16
2.2.2	Betonirakenteet	19
2.2.3	Perustuksien suunnittelu	19
2.3	Statiikka	21
2.4	Raudoituksen ankkuroituminen	21
2.4.1	Koukkujen ja lenkkien ankkurointikestävyys	26
2.4.2	Ankkurointi hitsatuilla poikkitangoilla	29
2.4.3	Leikkausraudoituksen ja hakojen ankkurointi	32
2.5	Muutosuunnittelun teoria	33
2.5.1	Muutosuunnittelu projekti	34
3	Raudoittekokoonpanojen kehittäminen	36
3.1	Käytetyt työkalut	36
3.2	Potentiaalisten raudoite-elementtien tunnistus	36
3.2.1	A-tikapuut	42
3.2.2	B-sohva ja D/H/U-Häkki	46
3.3	Yhteistyö Pohjoismaissa	48
3.4	Tutkimuksen eteneminen	49
3.5	Ratkaisujen todentaminen	50
4	Tutkimustulokset	51
4.1	Tunnistetut komponentit	51
4.1.1	B-sohva	51

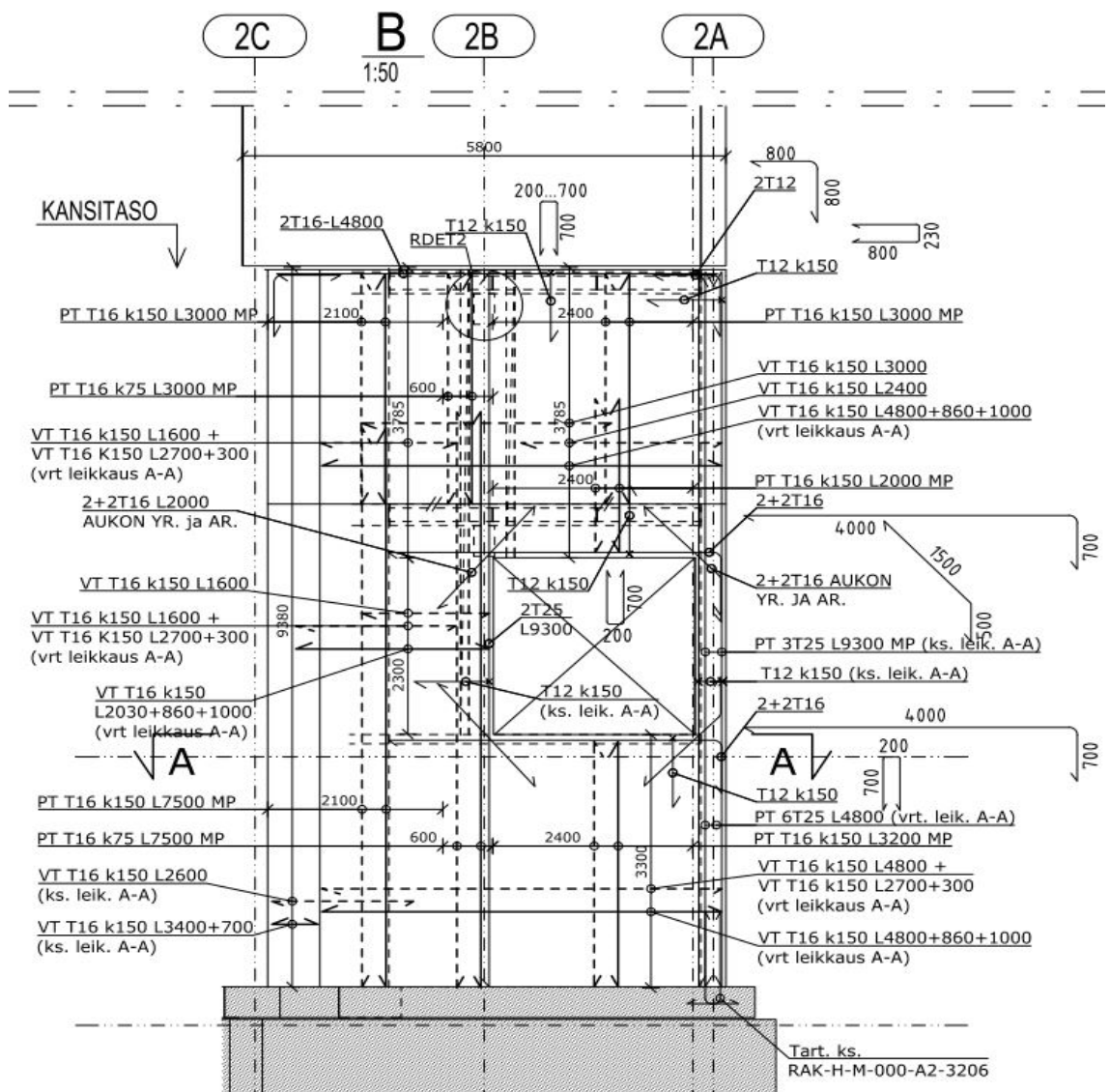
4.1.2	A-tikapuut	53
4.1.3	D, R, H, YJ ja U-häkit	55
4.2	Työkalut	56
4.2.1	Takaperinlaskenta	56
4.2.2	Ankkurointi Excel	59
4.3	Ratkaisun rajoitteet ja käyttömahdollisuudet	63
5	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	66
5.1	Valittu tutkimusmenetelmä	66
5.2	Tunnistettujen komponenttien käyttömahdollisuudet	67
5.3	Saavutetut hyödyt	68
5.4	Lisätarkastelut	69
5.5	Pilottihankkeet	70
5.6	Työmaamittaukset	70
5.7	Kustannustehokkuusmittaukset	71
5.8	Tulevaisuudennäkymät/jatko	72
5.8.1	Nordic Task Team	74
	Lähteet	75
	Liitteet	
	Liite 1. Taivutustyyppiluettelo	
	Liite 2. Liite vain yrityksen käyttöön	
	Liite 3. Liite vain yrityksen käyttöön	

## Lyhenteet ja merkit

Ø	Käytetään kaavoissa raudoitetankojen halkaisijana tässä työssä
BIM	Building Information modeling
CAD	Computer Assisted Desing
D	Käytetään lyhenteenä raudoitetankojen halkaisijasta tässä työssä.
QR	Q-Armering. Celsan oma järjestelmä
SOP	Standard Operation Procedure. Yhteisen mallin mukaan rakennettu toiminta- tai käyttöohje.
STM	Strut-and-tie models, ristikkomalli
SWP	Special Welded Product, käsinhitsattu tuote
$u_s$	raudoitetangon nimellinen ympäröimä $\pi * \varnothing$

## 1 Johdanto

Betonirauhoitus työ on luonteeltaan hyvin manuaalista työtä. Tällä hetkellä suuri osa raudoittamisesta suoritetaan vieläkin sitomalla irtotangot käsin yhteen sidelangalla, eli niin sanotulla "surrilangalla". Tämä on aikaa vievää sekä epäergonomista työtä. Raudoittajat joutuvat usein työskentelemään vaikeissa asennoissa jotka rasittavat selkää ja niveliä. Varsinaisen asennustyön lisäksi aikaa kuluu irtorauhoitteiden lajitteluun. Usein raudoitteet on suunniteltu leikattuna ja taivutettuna tiettyyn tarkkaan mittaan ja tästä johtuen työmaalla tulee tunnistaa jokaiselle erimittaiselle tangolle oma asennuspaikkansa.



Kuva 1. Raudoitussuunnitelma

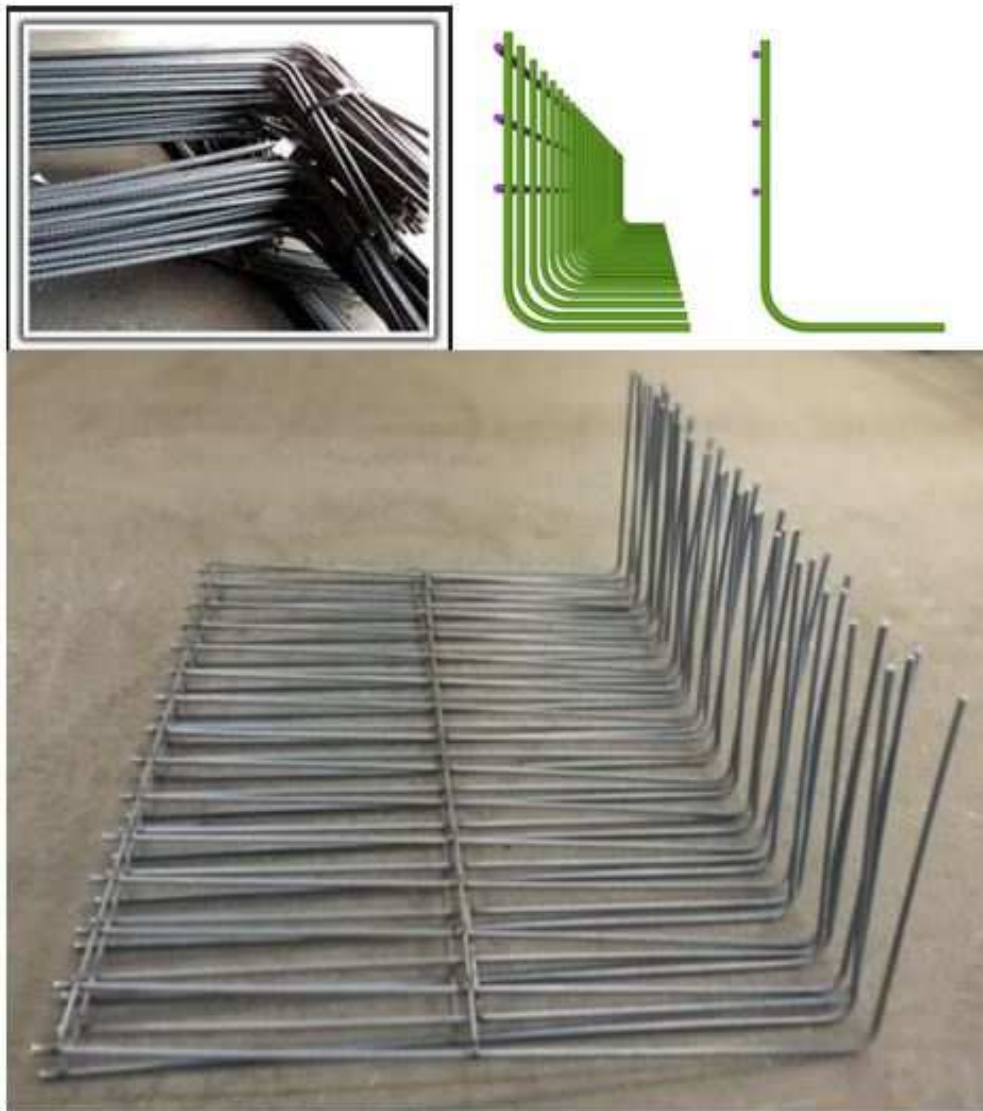
Nykyisillä menetelmillä haasteiksi nousee muun muassa toimitusaikataulut, asennukseen kuluva aika sekä asennuksen huono työergonomia. Toimitusaikataulun merkitys korostuu mittatilauksena tehdyillä irtoraudoitteilla, sillä mahdolliset listaus- tai asennusvirheet viivästyttävät asennuksen valmistumista entisestään. Mikäli virheitä ei voida paikata varastotuotteilla, riippuu toimitusaikataulu korvaavien tuotteiden tuotantoajasta.



Kuva 2. Raudoitteiden sidontaa "surrilangalla" [12]

Kehitysprojekti sai alkunsa halusta vastata näihin haasteisiin ja minimoida niiden synnyn mahdollisuus ja haitat. Tärkeimpänä ajatuksena kehitysprojektin pohjalla on muuttaa irtoraudoitteilla suoritettavia raudoitesarjoja suuremmiksi ja helpommin asennettaviksi raudoite-elementeiksi. Erilaisia raudoite-elementtejä suunnitellessa tulee kuitenkin ottaa huomioon erilaiset kuljetuksesta tai valmistuksesta johtuvat rajoitukset. Huomioon tulee myös ottaa valmistuksen kustannustehokkuus. Tarkoituksena on tunnistaa usein toistuvia elementtejä ja kehittää niistä helposti asennettavia tuotteita joita kutsutaan komponenteiksi. Lopullisena tavoitteena on tuottaa ratkaisu, jolla erilaisia raudoiteasennuksia voidaan suorittaa yhdistämällä erilaisia komponentteja toisiinsa nopeuttaen ja helpottaen raudoitustyötä ja kehittää puolivalmistettuja aihioita jotka voidaan tilauksesta taivuttaa toivottuun muotoon.





Kuva 3. Kuvassa irtoraudoitteita, suunniteltu komponentti ja valmiita komponentteja

Muuttamalla irtoraudoitteet komponenteiksi saadaan parannettua työergonomiaa vähentämällä ääriasentojen määrää, nopeutetaan asennustyötä muuttamalla yksittäisten tankojen asennus kokonaisuuksien yhdistelyksi, helpotetaan oikeiden asennuspaikkojen löytymistä työmaalla vähentämällä tunnistettavien ja lajiteltavien osien määrää sekä lyhennetään toimitusaikoja puolivalmistettujen aihoiden avulla.

## 1.1 Celsa Steel Service Oy

Celsa Steel Service Oy on osa vuonna 1967 perustettua Celsa Groupia, joka on kasvanut yhdeksi Euroopan suurimmista betonirauδοitetoimittajista. Celsa Groupilla on toimipisteitä 8:ssa eri maassa ja se on markkinaosuudeltaan Pohjoismaiden suurin rauδοite-toimittaja. Suomen osasto kuuluu suurempaan Celsa Nordicin liiketoimintayksikköön ja on markkinaosuudeltaan Suomen suurin betonirauδοitetoimittaja. Celsa Group työllistää yli 9600 ihmistä 120 työpisteessä.



Kuva 4. Celsa Groupin eri osastoja

Celsa Steel Service Oy:n betonirauδοitteet valmistetaan Norjassa Mo i Rana:ssa kierrätetystä jäteteräksestä valokaariuunissa. Yhtiö on panostanut tuotannossaan ympäristöystävällisyyteen ja kierrätykseen ja Celsan tuottama teräs kuuluu Euroopan ympäristöystävällisimpiin päästöjen ja kestävyyskaarensa perusteella. Celsa Nordic kierrättää vuosittain noin 700 000 tonnia terästä. Mo i Ranasta teräkset kuljetetaan laivalla Suomeen Åminneforsin satamaan joko kieppeinä tai määrämittäisinä tankoina.

Suomessa Celsa Steel Service Oy:llä on kolme tehdasta Espoossa, Äminneforsissa ja Pälkäneellä. Näistä suurin kooltaan ja tuotantomäärältään on Äminneforsin tehdas, jossa valmistetaan määrämittaan leikattuja ja mittatilauksena taivutettuja raudoitetankoja, bamtec-mattoraudoitteita, automaattihitsauskoneella valmistettuja pilareita sekä käsin hitsattuja raudoitekokoonpanoja. Espoon tehtaalla tuotetaan samoja tuotteita kuin Äminneforsissa, pois lukien Bamtec-mattoraudoitteet sekä koneellisesti hitsatut pilarit.



Kuva 5. Bamtec-mattoraudoitteen levittämistä [13]

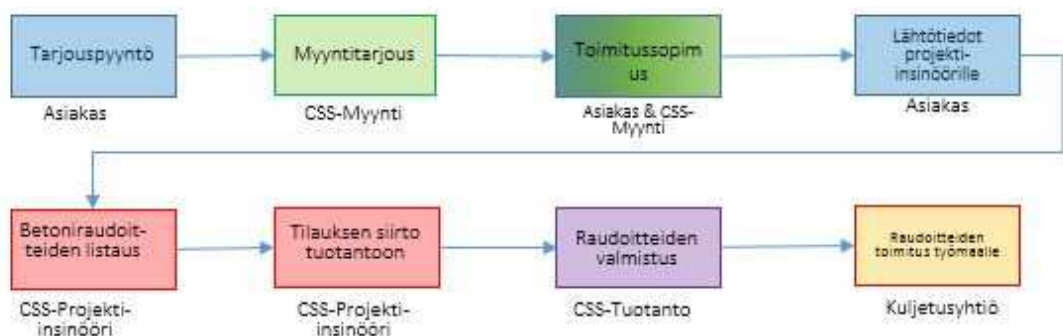
Pälkäneen tehdas on erikoistunut koneellisesti hitsattujen raudoiteverkkojen tuotantoon. Pälkäneen tehtaalla valmistetaan myös taivutetuista verkoista tukipukkeja ja hakakoreja, sekä kaistaverkkoja joita käytetään irtoraudoitteiden korvaamiseen esimerkiksi betoni-laattojen yläpinnassa tukien kohdalla.



Kuva 6. Vasemmalla verkosta taivutettu R-tyyppin komponentti, oikealla hitsattu paalupilarikomponentti

Viime aikoina Celsa Steel Service on pyrkinyt lisäämään tarjottuihin palveluihinsa enemmän asiantuntijapalveluita sekä jatkojalostettuja tuotteita, kuten mittatilaustyönä tai varastokokonaina valmistettuja kokoonpanoja. Näillä pyritään nopeuttamaan asennusta työmaalla sekä parantamaan työergonomiaa esimerkiksi vähentämällä ääriasentoja asennuksen yhteydessä.

## Raudoitushankkeen eteneminen



Kuva 7. Raudoitushankkeen eteneminen myynnistä toimitukseen

## 1.2 Aiheen esittely

Rakennusala on perinteisesti ollut hyvin hitaasti kehittyvä, ja uusien menetelmien laaja käyttöönotto on usein ollut hidasta. Alalla esiintyy jopa muutosvastaisuutta usealla eri tasolla. Kehitystyössä on tästä johtuen keskitytty myös luomaan mahdollisimman helposti käyttöönotettavia ratkaisuja, ja alusta alkaen on pyritty miettimään ratkaisujen asennuksen helpoutta sekä alustavasti suunniteltu käyttöohjeita tuleville ratkaisuille. Uusien tuotteiden kehityksessä on otettu huomioon aikaisemmin kehitettyjä asennustyötä helpottavia palveluja ja ratkaisuja.

Opinnäytetyössä on tarkoituksena kerätä tietoa erilaisista toistuvista raudoiteratkaisuista, jotka tällä hetkellä asennetaan vielä irtotankoina sekä jatkaa olemassa olevien komponenttien kehitystä. Tämä suoritetaan kehittämällä olemassa olevia tuotteita joko teknisesti tai standardisoimalla sovittujen viitekehysten sisällä olevia ratkaisuja suoritettavaksi esivalmistetuista pohjaelementeistä ja luomalla näistä varastotuotteita. Työ tehdään osana pohjoismaalaista yhteistyöprojektia, joka liittyy raudoitteiden komponenttisointiin. Celsan valikoimissa on jo nyt komponenttisoituja esivalmistettuja raudoitekokonpanoja ja projektin tavoitteena onkin monipuolistaa ja kehittää tätä valikoimaa sekä luoda parempia työkaluja näiden suunnitteluun.

Tavoitteena on myös lyhentää toimitusaikoja, joka palvelee niin asiakasyrityksiä kuin tuotantoakin. Johtuen Suomen vuodenajoista ja ilmastosta painottuu varsinainen rakennustyö usein kesälle luoden epätasapainoisen kuormituksen tuotantoon. Talvisin kysyntä on yleensä vähäisempää ja kesällä taasen verrattain suurta. Tämä aiheuttaa haasteita tuotantolaitoksien toiminnalle. Käyttämällä hiljaisempina aikoina valmistettuja varastoituja tuotteita tai puolivalmistettuja muokattavia aihioita voidaan tasata epätasapainoa kuormituksessa. Näin voidaan vastata työmaiden nopeisiin aikatauluihin ja muutoksiin kasvattamatta toimitusaikoja kohtuuttoman pitkiksi kiireellisempinä aikoina.

Kokonaisuudessaan tarkastellaan hieman myös ideologiaa ja tarvetta uusien ratkaisujen takana. Tarkoituksena on myös tarkastella mahdollisia saavutettavia hyötyjä muustakin näkökulmasta kuin uusien tuotteiden markkinoille tuominen. Projektissa on koitettu miettiä mahdollisimman paljon lisäarvon tuottamista niin asiakasyrityksille kuin Celsa Steel Servicellekin.

Työssä esitetään eurokoodin mukaista laskentaa ratkaisujen validisoimiseksi sekä niiden pohjalta rakennettuja työkaluja ja testiolosuhteissa tehtyjä asennuksia.

### 1.3 Teräsbetonirakentaminen

Teräsbetonirakenteiksi kutsutaan betonirakenteita joiden sisällä on teräksestä tehty raudoiterunko. Tämä yhdistelmä on erittäin toimiva betonin suuren puristuskestävyyden ja teräksen korkean myötölujuuden vuoksi. Teräsbetonirakenteissa betoni ottaa vastaan suoria puristusvoimia teräksen ottaessa vastaan leikkausvoimia ja momenttia [1 s.17]. Teräsbetonirakentaminen on tänä päivänä yleisin rakennustekniikka niin infrarakenteissa kuin talorakentamisessakin maailmanlaajuisesti [1 s.17]. Tämä rakentamismenetelmä on myös erittäin kustannustehokas sekä laajan käyttönsä vuoksi kokenutta työvoimaa on kohtalaisen helposti saatavilla.

Teräsbetonirakentaminen voidaan jakaa rakenteiden valmistustavan mukaan kahteen, elementtirakentamiseen ja paikallavalurakentamiseen. Usein myös valtaosin elementteille suoritettuihin rakennuksiin tehdään osia paikallavaluna, esimerkiksi ontelolaatastojen päätyihin tai pienempiin kokonaisuuksiin joita varten ei kannata valmistaa valmiita elementtejä. Suomessa pakolliset väestönsuojat tehdään suurimmaksi osaksi paikallavaluina, sekä rakennusten perustukset ovat suurimmalta osalta paikallavaluna suoritettuja.

#### 1.3.1 Haasteet

Teräsbetonirakenteiden raudoittaminen perinteisin menetelmin on aikaa vievää ja sen suorittamiseen vaaditaan erikoisosaajia. Yksittäisten hakasten sitominen tapahtuu joko raudoittajan omissa tiloissa, työmaalla kentällä, mikäli siihen on tilaa ja aikaa, tai suoraan valumuotteihin, riippuen rakenteen monimutkaisuudesta sekä asennuspaikasta. Tarkka raudoittaminen vaatii jakojen seuraamista sekä tankojen asentojen tarkistusta, joka hidastaa työtä. Vaihtuvat jaot raudoituksissa luovat myös oman ongelmansa. Raudoitustyön tekeminen on tekijälleen raskasta ja keho kuluttavaa, johtuen työn luonteen mukaisista asennusasunnoista sekä asennuspaikkojen haasteista.



Kuva 8. Raudoittamista suoraan muottiin [12]

Perinteisillä menetelmin tehdyt raudoitustyöt tapahtuvat yksittäisillä, irtonaisilla tangoilla. Näiden siirtäminen työmaalla asennuspaikan viereen on hitaampaa kuin valmiiden elementtien tai komponenttien. Irtoraudotteet toimitetaan yleensä niputettuina isommiksi kokonaisuuksiksi, joiden tyyppi on esitetty niissä kiinni olevissa nippulapuissa. Jotta oikeat tangot löytävät työmaalla paikoilleen tulee ne jaotella työmaalla käsin pituuden, halkaisijan ja taivutusten mukaan. Työmaiden pitkittyessä irtonaiset tangot saattavat sekoitua toisiinsa ja hävitä esimerkiksi talvella lumihankien alle. Kaikki tämä kuluttaa miestyöntunteja ja ne voidaan laskea aikahävikiksi. Komponenttien käyttö vähentää tätä hukka-aikaa, sillä niiden löytäminen ja tunnistaminen työmaalla on helpompaa, sekä siirrettäessä komponenttia voidaan siirtää kerrallaan enemmän terästä verrattuna irtonaisiin tankoihin.



Kuva 9. Yllä: Irtorautoitteita, alla: Valmis komponentti

#### 1.4 Työn lähtökohdat ja rajaukset

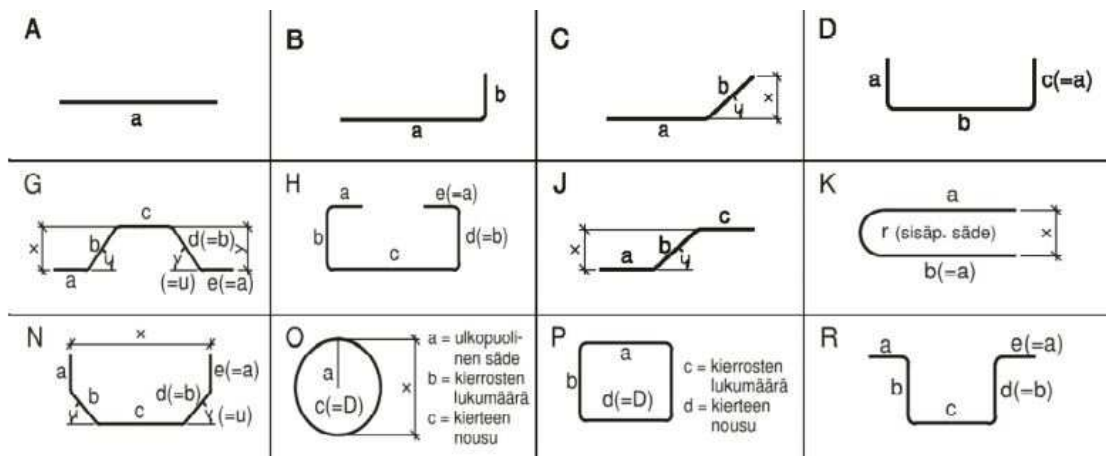
Opinnäytetyöhön aihe valikoitui Celsa Nordicin yhteistyöprojektin yhteydessä, jonka tarkoituksena oli rakentaa aikaisemmin kehitetyn Re-Inforce [4 s.3] mallin pohjalta komponenttikirjastoa yhtiön käyttöön. Pohja komponenttiprojektille oli laskettu jo aiemmin muuntosuunnittelu projektin yhteydessä, jonka tarkoituksena oli luoda yhteneväisiä ratkaisuja asuinkerrostalojen paikallavalu-laattojen raudoittamiseen koneellisesti hitsatuilla verkoilla. Komponenttiprojekti on luonteeltaan laajempi, ja sen tarkoituksena on kehittää ratkaisuja, joita voidaan soveltaa kaikkeen teräsbetonirakentamiseen.



Kehitysprojektin parissa työskentelee Celsan projekti-insinööri, kehityspäällikkö sekä myynti-insinööri Suomesta, sekä projekti-insinööri Ruotsista. Aktiivisen ryhmän lisäksi kehitysprojektissa konsultoidaan myös muita Celsa Nordicin työntekijöitä.

Tähän työhön valikoidaan kirjoitushetkellä tunnistettuja komponentteja sekä työn alla olevia mahdollisia komponentteja sekä niiden käyttökohteita. Yhteistyöprojekti on tällä hetkellä jatkuva eikä sille ole asetettu tarkkaa loppumispäivämäärää, täten työhön rajautuu jo saavutettuja tuloksia sekä mahdollisia tulevaisuudennäkymiä.

Jatkaen muuntosuunnittelu ratkaisujen ajatusta, kehitysprojektissa keskityttiin aluksi tutkimaan asuinkerrostalojen perustuksia. Projektin alkuvaiheessa tutkittiin vanhoista projekteista toistuvia taivutuksia, jotka olisivat potentiaalisesti komponenttisoitavissa. Suomessa kehitystyössä keskityttiin D-tyyppin hakasiin, sillä ne ovat erittäin toistuva rakenne varsinkin jatkuvissa nauha-anturoissa. Samanaikaisesti Ruotsissa keskityttiin B-tyyppin hakasiin, sillä ne kattavat erittäin suuren osan Ruotsin raudoitetuotannosta. Tarkoituksena on kehittää ratkaisuja, joita voidaan käyttää kaikissa pohjoismaissa. Projektin eri vaiheissa on konsultoitu Tanskan sekä Norjan edustajia, jotka ovat antaneet palautetta kehitetyistä ratkaisuista.



Kuva 10. Esimerkkejä taivutustyypeistä, Celsa Steel Service Oy

Tässä työssä käsitellään komponenttiprojektia laajemmin teoria- sekä tavoitetasolla, ja paneudutaan tarkemmin jo kehitettyihin komponentteihin. Työn rajaus on tehty koskemaan tavoitteita projektin taustalla sekä tämän hetkisiä kolmea tunnistettua komponenttia, johtuen projektin jatkuvasta luonteesta. Työssä esitetään kehitettyjä työkaluja sekä esitellään ja käsitellään projektin seuraavia askelia ja suunniteltuja kehityskohteita.

Projektiin liittyen on kehitetty erilaisia sisäiseen käyttöön tulevia työkaluja, jotka esitellään tässä työssä. Työkaluista esitellään niiden runkomalli tai tämänhetkinen malli. Nämä saattavat poiketa valmiista työkaluista johtuen niiden kehittymisestä tutkimuksen jatkuessa. Päätökset yleisistä linjoista ja rungosta työkaluille on tehty jo varhaisessa vaiheessa tutkimustyötä, jotta voidaan taata eri maiden tuottamien tutkimustulosten yhteensopivuus ja rakennettujen työkalujen käyttökelpoisuus kaikissa pohjoismaisissa yksiköissä. Johtuen kansainvälisestä yhteistyöstä on työkieleksi valikoitunut englanti, mutta työkaluista ja ohjeista tuotetaan vielä jokaisen maan omalle kielelle käännettyt versiot. Näiden työkalujen pohjalta rakennetaan myös markkinointia tukevaa materiaalia sekä valmistetaan asennus- ja käyttöohjeita valmistetuille tuotteille. Markkinointimateriaaliin sekä käyttöohjeisiin luodaan yhteisen pohjan avulla jokaiselle maalle omiin erityispiirteisiinsä sopivat versiot, jotka kirjoitetaan jokaisen maan omalla kielellä helppolukuisuuden takaamiseksi.

### 1.5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetään hyväksi useita eri aineistolähteitä. Tutkimuksen suorittamiseksi kerätään yhtiön työntekijöiltä sekä asiakasyrityksiltä hiljaista tietoa, jota sovelletaan ratkaisuiden kehittämisessä ja parhaiden mahdollisten tuotteiden tuotannossa. Hiljaisen tiedon pohjalta voidaan kehittää jo tuotettuja tuotteita, mikäli tuotteessa huomataan ongelmia, puutteita tai kehitysmahdollisuuksia. Tämä toteutetaan esittelemällä saatutuja tuloksia ja kehitettyjä tuotteita yhtiön sisällä eri osastojen edustajille ja avataan mahdollisuus kommentointiin, jonka mukaan tuotetta kehitetään edelleen. Tämä mahdollistaa mahdollisten ongelmien tai parempien menetelmien tunnistamisen laajemmalla skaalalla kuin tutkimukseen aktiivisesti osallistuvien osapuolien työllä saadaan aikaiseksi. Yhtenä haasteena voidaan pitää tämänhetkistä puutteellista tietoa tuotteiden lopullisesta asennuksesta työmaalla. Asiantuntemus kehitystyön suorittajilla painottuu tuotteiden suunnitteluun ja tuotannon prosesseihin.

Aineistona käytetään edellä mainittua hiljaista tietoa, teknisiä tietoja jotka kerätään alan kirjallisuudesta, tuotannon tilastotietoja, suunnittelijoilta saatuja suunnitelmia sekä asiantuntija haastatteluja. Yrityksen suorittama tutkimus on kehittämisprojekti, jossa pyritään löytämään uusia tuotteita muuntamalla vanhoilla menetelmillä suoritettuja ratkaisuja esivalmisteisiksi tuotteiksi ja on luonteeltaan kehittämishanke. Opinnäytetyö on luonteeltaan raportti kehittämishankkeen lähtökohdista sekä tilannekatsaus tutkimuksen ensimmäisen vuoden aikana saavutetuista tuloksista sekä tuotteista.

## 2 Perusrakenteet ja suunnitteluperusteet

### 2.1 Lähtökohdat

Tutkimuksessa on käytetty kirjallisina lähteinä Betoni Yhdistyksen julkaisemia tekniikan ja suunnittelun oppikirjoja, RIL-julkaisuja, SFS 1992-1 ja SFS 1992-2, Eurocode 2:sta, RATU kortiston materiaalia sekä aiheeseen liittyviä opinnäytetöitä. Edellä mainittuja on käytetty Suomessa tehdyn tutkimuksen suorittamiseen eikä tietoa Ruotsissa käytetyistä kirjallisista lähteistä ole kerätty, sillä yhteinen kehitystyö perustuu siinä määrin luottamukseen, ettemme koe tarvetta tarkastaa muiden maiden yksikköjen kirjallisia lähteitä, ellei löydyissä tuotteissa huomata selkeää ristiriitaa suomalaisen rakentamistavan tai mitoituksen välillä.

Kirjallista aineistoa on käytetty avuksi tutkiessa erilaisia mitoitekniisiä ja rakennustekniisiä tekijöitä jotka liittyvät kehitettäviin tuotteisiin. Suurimmalta osin toiminnalliset rakenteet pysyvät samanlaisina ja ainoastaan asennettavan tuotteen muoto muuttuu, täten niiden tutkimiseen ei tarvitse käydä läpi järin kattavaa kirjallista materiaalia. Huomioitavaa on, että jopa edellä mainitun kaltaisten komponenttien suhteen on tehty teoreettista tarkastelua, siinä määrin kuin mitoitekniiset laskelmat perustuvat samoihin kaavoihin kuin muissa tutkituissa tuotteissa.

## 2.2 Rakenteiden mitoitus

Rakenteiden mitoitus perustuu rajatilamitoitukseen. Rajatilamitoituksessa rakenteen käyttäytymistä tarkastellaan rakenteiden toimintamallien avulla erilaisissa rajatiloissa, Rajatiloja ovat:

- murtorajatilat
- käyttörajatilat.

Murtorajatiloja ovat tilanteet joissa rakenteen sortuminen tai sitä edeltävä tila aiheuttaa vaaraa ihmisen turvallisuudelle tai omaisuudella. Tällaisia tilanteita ovat:

- rakenteen tasapainon menetys, kun sitä tarkastellaan jäykkänä kappaleena
- rakenteen vaurioituminen liiallisen siirtymän, mekanismiksi muuttumisen, materiaalin murtumisen tai stabiiliuden menettämisen takia
- rakenteen vaurioituminen väsymisen tai muun ajasta riippuvan vaikutuksen takia.

Yhdistelmän kaava	Pysyvät kuormat <sup>a</sup>		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat <sup>b</sup>
	Epäedulliset	Edulliset		
Pysyvien, muuttuvien ja muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelmä				
kaava 6.10a (FI) <sup>c</sup>	$1,35 K_{FI} G_k$	$0,9 G_k$		
kaava 6.10b <sup>c</sup>	$1,15 K_{FI} G_k$	$0,9 G_k$	$1,5 K_{FI} Q_{k,1}$	$1,5 K_{FI} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<b>Merkinnät</b> <sup>a</sup> Kun pysyvän kuorman vaihtelua ei pidetä merkittävänä, $G_{k,j,sup}$ ja $G_{k,j,inf}$ voidaan merkitä $G_k$ <sup>b</sup> $\psi_{0,i}$ :n arvo saadaan Suomen kansallisen liitteen taulukosta A.1.1 (FI) (arvot ovat myös taulukossa 3) <sup>c</sup> kerroin $K_{FI}$ riippuu luotettavuusluokasta (ks. SFS-EN 1990 taulukko B2) - luokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$ (vaativat rakenteet, vahingot vaurion syntyessä suuria) - luokassa RC2 $K_{FI} = 1,0$ (tavanomaiset rakenteet) - luokassa RC1 $K_{FI} = 0,9$ (vaatimattomat rakenteet, vahingot vaurion syntyessä vähäisiä)				

Kuva 11. Kuormien mitoitusarvot murtorajatilassa [11 s.5]

Käyttörajatiloiksi katsotaan tilanteet, joissa rakenteen tai rakenneosien normaali toiminta häiriintyy. Tilanteet haittaavat ihmisten mukavuutta tai heikentävät rakenteen ulkonäköä tai säilyvyyttä, mutta niistä ei ole haittaa rakenteen välittömälle turvallisuudelle.

Käyttörajatiloina tarkastellaan

- siirtymiä jotka vaikuttavat rakenteen ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen ja rakenteen toimivuuteen,
- värähtelyjä, jotka saavat ihmiset tuntemaan olon epämukavaksi tai rajoittavat rakenteen käyttökelpoisuutta ja
- vaurioita, jotka vaikuttavat kielteisesti rakenteen ulkonäköön, säilyvyyteen tai toimivuuteen.

Tyypillisiä betonirakenteiden käyttörajaitiloja ovat palkkien ja laattojen halkeamaleveysrajatila ja taipumarajatila [5 s.18].

### 2.2.1 Mitoitusmenetelmät

Rakenteiden mitoitukseen on olemassa useita tänäkin päivänä sallittuja menetelmiä, tosin uudet menetelmät ovat korvanneet vanhat suurimmalta osin. Ennen rajatilamitoituksen kehittämistä 1964 oli käytössä ACI:n hyväksymä plastisiin jännitystarkasteluihin perustuva kestävyysmenetelmä sekä sallittujen jännitysten menetelmää. Valtaosa mitoituksesta suoritetaan kuitenkin nykyään rajatilamitoituksella.[2 s.14.]

Sallittujen jännityksien käyttö betonirakenteiden suunnittelussa oli 1970-luvulle asti käytännössä ainut menetelmä ja sillä katsottiinkin saavutettavan toimivia ratkaisuja [2 s.14]. Tässä ratkaisussa käytetyt menetelmät ovat periaatteessa vieläkin kelpoja, mutta menetelmän käytöllä on rajoituksia jotka vaativat lisätarkastelua.

Sallittuja jännityksiä tarkastellessa asetetaan rakenteelle suurin sallittu jännitys ja rakenteiden mitoitusarvoille asetetaan varmennuskertoimia jotka laskevat rakenteen mitoituskestävyyttä todellista tilannetta pienemmiksi [2 s.15]. Näin saadaan mitoitukseen rajaehdoiksi jännitystasoja jotka alittavat todellisen rakenteen kestävyuden, sillä sallittu jännitys on aina ominaislujuutta pienempi. Tämä menetelmä ei kuitenkaan kerro mitä tapahtuu sallittujen jännitysten ylittyessä ylikuormituksen tapahtuessa, eikä murtumiseen johtavan ylikuormituksen määrää [2 s.15]. Menetelmässä tulee tarkastella molempien rakenteissa olevien materiaalien, teräksen sekä betonin, jännityksiä ettei kummankaan mitoitusjännitykset ylity.

Kokonais- ja osavarmuus menettelyillä voidaan tarkastella tarkemmin kuormien vaikutuksia erilaisissa tilanteissa korottamalla niitä tapauskohtaisesti erilaisilla osavarmuus kertoimilla [5 s.19-24]. Näin voidaan määrittellä rakenteella oleville kuormille raja, johon niiden tulee ylittää ennen rakenteen murtumista, murtumiskuorma. Osavarmuusmenettelyillä lasketuista kuormista saadaan selville rajatilamitoituksessa käytettävät kuormat erilaisille rajatiloille. [5 s.25-29.]

Rajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen käyttäytymistä erilaisissa rajatiloissa [2 s.17]:

- Murtorajatilat
- Käyttörajatilat
- Palomitoituksen rajatilat ja onnettomuusrajatilat.

Murtorajatilamitoituksessa käsitellään rakenteen murtumatta kestäviä maksimikuormia sekä varmistetaan rakenteen mahdollisimman turvallinen pettäminen näiden kuormien jostain syystä ylittyessä. Käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen maksimikuormia pienempien kuormien vaikutusta rakenteen säilyvyyteen ja estetiikkaan. Palotilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen käyttäytymistä tulipalotilanteessa ja pyritään varmistamaan rakenteelle paloturvallisuusluokka. [2 s.17-19.]

Rajatilamitoituksessa käytettäviin menetelmiin on kehitetty käytäntöjä yhtenäistävää materiaalia Eurooppalaisella tasolla. Tältä pohjalta on kehitetty Euroopan standardisointijärjestö CEN:än Eurocode-standardit:

- Eurocode 0 = Rakenteiden suunnittelun perusteet
- Eurocode 1 = Rakenteiden kuormitukset
- Eurocode 2 = Betonirakenteiden suunnittelu
- Eurocode 3 = Teräsrakenteiden suunnittelu
- Eurocode 4 = Betonin ja teräksen liittorakenteiden suunnittelu

- Eurocode 5 = Puurakenteiden suunnittelu

Kehitettävien komponenttien kelpoisuutta on tarkasteltu näiden yhteisten Eurooppalaisien standardien avulla. Näin pyritään luomaan mahdollisimman yleispätevä ratkaisu joka ottaa huomioon erilaiset säännöt ja rajoitukset jotka on esitetty Eurocode:issa. Tämän tutkimuksen kannalta oleellisin ja käytetyin on Eurocode 2.

Eurokoodien mukaiset EN standardit perustuvat esistandardeihin ENV joiden avulla tuteltiin standardien käyttöön. Näiden käytöstä saadun palautteen ja kehitysehdotuksien perusteella luotiin lopulliset suunnittelustandardit, poiketen esistandardeista esittämistavan, esittämisjärjestyksen ja osaksi sisällön puolesta. Standardien kehitys jatkuu käyttökokemusten perusteella ja niistä julkaistaan uusia ja tarkennettuja versioita vielä standardien ratifioimisen jälkeenkin.[2 s.20.]

Suomessa ei ole määritelty tarkoitusta suunnitteluohjeille ja normeille. Suunnittelua säätelevät erilaiset säännökset on jaettu hierarkkisesti seitsemään erilaiseen luokkaan, jotka ohjaavat suunnittelua ja rakentamista [2 s.20.]:

1. Määräykset, joita on ehdottomasti noudatettava
2. Viranomaisohjeet, joiden mukaan suunniteltuna rakenne on viranomaisten hyväksyttävä (Rakentamismääräyskokoelman osat B = RakMK B, rakenteiden lujuus)
3. Standardit, jotka ovat sitovia siltä osin kuin rakentamismääräykset tai suunnitteluasiakirjat edellyttävät
4. Yhdistysten suositukset, mm. by50, RIL-normit jne.
5. Oppikirjat
6. Tutkimusjulkaisut
7. Tuotevalmistajien omat esitteet, käyttöselosteet jne.

Ristiriitatilanteissa on ylempänä hierarkiassa olevaa tietoa noudatettava aina [2 s.20-21].



### 2.2.2 Betonirakenteet

Betonirakenteiden mitoituksessa tarkastellaan betonin omaa kestävyyttä raudoittamattomana sekä kestävyyttä raudoitettuna. Tarkasteluun kuuluu myös rakenteen toimivuuden kannalta tarpeellisen raudoitusmäärän mitoitus ja tarkastelu [2 s.371-375]. Betonirakenteiden mitoitusta voidaan tehdä betoninormien suunnitteluohjeiden ja Eurocode 2:sen avustamana.

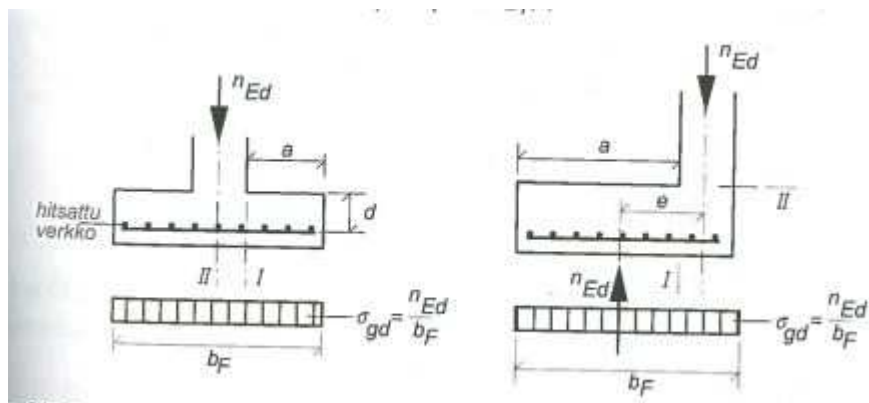
### 2.2.3 Perustuksien suunnittelu

Tutkimuksen kannalta yksi olennaisista tarkastelun kohteista on rakennuksen perustukset sekä niiden raudoitusratkaisut. Kellarikerroksista ylöspäin on onnistuttu tunnistamaan jo suuri osa mahdollisista esivalmisteisista raudoitteista, mutta ratkaisuja perustuksille tai kellarikerroksen perusmuureihin ei tutkittu. Tässä tutkimuksessa onkin asetettu painoarvoa perustuksien ja perusmuurien raudoittamiseen tuotettaville hitsatuille elementeille.

Rakennuksessa voi olla erilaisia perustusrakenteita, joita ovat perusmuurit, seinäanturat, pilarianturat, peruslaatat, peruspalkit ja paaluperustukset, joiden kautta rakenteen kuormat siirtyvät rakennuspohjaan. Perustustyyppin valintaan tärkeimpiä vaikuttavia tekijöitä ovat maapohjan laatu sekä suunnitellun rakennuksen koko.[2 s.450.]

Perusmuurit ovat kellarikerroksen ulkokuoren muodostavia seiniä jotka sijaitsevat ainakin osaksi maanpinnan alapuolella. Perusmuurin ulkopuolella olevat maamassat aiheuttavat perusmuuriin poikittaista kuormaa yhdessä maanpinnan hyötykuorman kanssa. Perusmuurit mitoitetaan näistä poikittaisista voimista johtuen samalla tavoin kuin epäkeskisesti kuormitetut seinät. Tämä saattaa aiheuttaa momenttia perusmuurin ja anturan liitoskohtaan. Yleensä tämä epäkeskisyys on kuitenkin sellainen, ettei perusmuureja tarvitse raudoittaa, silti anturan ja perusmuurin työsaumaan asennetaan D8 k 300...500 lenkkirauditus varmistamaan työn aikaista leikkautumista vastaan. [2 s.446.]

Raudoitetuissa seinänturoissa raudoituksen ankkurointi tulee suorittaa aina täydelle vetovoimalle sillä raudoitetut anturat toimivat vetotangollisen puristuskaaren tavoin [2 s.447]. Anturoissa raudoituksen säilyvyys aiheuttaa vaatimuksia betonipeitteelle, maata vasten valaessa suojabetonin paksuuden tulee aina olla vähintään 50 mm [2 s.447]. Anturat joudutaan usein mitoittamaan paksuudeltaan suuremmiksi kuin taivutus vaatisi halkeamaleveyksien minimoimiseksi sekä leikkauskestävyyden saavuttamiseksi ilman leikkausraudoitusta.[2 s.447.]



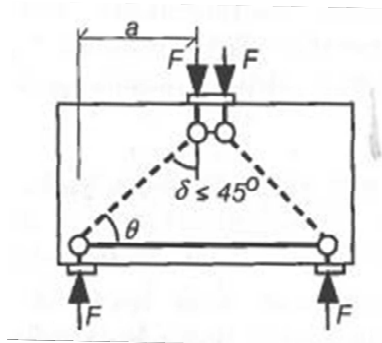
Kuva 12. Raudoitettu seinäntura, keskeisesti- ja epäkeskeisesti kuormitettu malli. [2 s.447]

Hitsattuja verkkoja käytettäessä ei tarvitse suorittaa ylösnostoja päissä mikäli hitsatun verkon ankkurointikestävyys on riittävä. Alle 150 mm jaolla ei tarvitse tehdä halkeamataarkastelua. [2 s.448.]

### 2.3 Statiikka

Tarkastellessa anturoille jakautuvia voimia voidaan käyttää STM-mallia. Ristikkomallien käyttö perustuu täysin plastisuusteoriaan ja mallin kehittämisen taustaksi tarvitaan kimmoteorian mukaisia jännityksiä ja jännityskeskittymiä. Ristikkomallia käyttäessä voidaan puristussauvoina käyttää betonia ja vetosauvoina raudoitusta. Nämä liittyvät toisiinsa solmuissa, joissa sauvojen voimatasapainon tulee olla varmistettu [2 s.430].

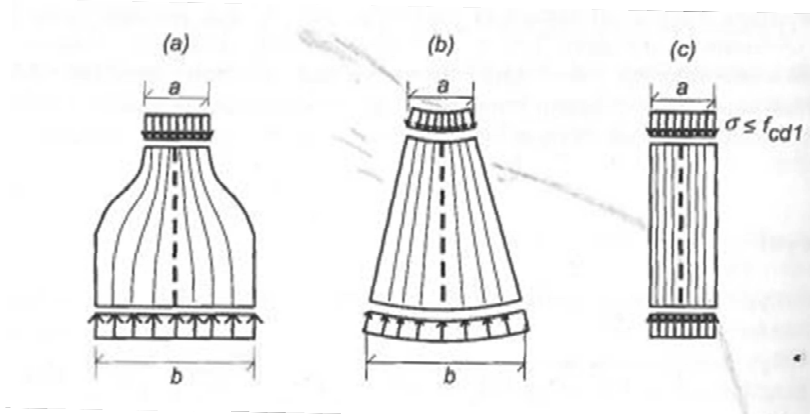
Seinän kautta anturalle välittyvä voima voidaan olettaa pistemäiseksi kuormaksi, joka jakautuu puristusvoimaksi anturalle maksimissaan  $\delta=45^\circ$  kulmassa seinästä lähtien [2 s.434].



Kuva 13. Ristikkomallin mukaiset puristus ja vetosaumat anturassa [2 s434]

### 2.4 Raudoituksen ankkuroituminen

Betonin vetolujuus on erittäin matala toisin kuin puristuslujuus. Yksi tapa tulkita rakenteessa vaikuttavia voimia on plastisuusteorian mukainen ristikkomalli, jossa voimat voidaan jakaa puristus- ja vetosauvoiksi [2 s.430]. Raudoitteen tehtävänä on toimia vastaavina vetosauvojen jännityksille [2 s.434]. Betoni materiaalina kutistuu kuivuessaan joka aiheuttaa rakenteeseen lisävetovoimia ja saattaa aiheuttaa halkeilua rakenteeseen. Myös näitä voimia vastaan on syytä raudoittaa rakenne. Raudoitteilla voidaan myös suorittaa tartunnat valukatosten jälkeen rakenteelta toiselle, esimerkiksi anturoiden tartunnat päälle valettavaan perusmuuriin. [2 s.463-483.]



Kuva 14. Voimajakauma diagrammit, pullomainen, viuhka ja prisma [2 s.436]

Raudoitteiden suunnittelussa tärkeimpiä tekijöitä on raudoitteiden ankkuroituminen. Ankkuroitumisen yhteydessä syntyvät ankkuroimisvoimat tulee mitoittaa niin että tangot voivat ankkuroitua tartuntavoimien jakautuessa rakenteelle aiheuttamatta halkeilua tangon suunnassa tai betonin lohkeilua [2 s.463]. Esimerkiksi tangon halkaisija vaikuttaa siitä syntyviin tartuntavoimiin, ohuempien tankojen ankkuroituessa helpommin kuin paksummat [2 s.463]. Ohuempien tankojen venymät halkeama kohdalla ovat suuremmat tangon plastisoituessa ja niiltä vaaditaan rakenteen kestävyysvuoksi suurempaa sitkeyttä. Tankojen tartuntalujuuden perustuvat kokeisiin eikä kokeita ole tehty D32 paksummilla tangoilla.

Rakenteessa vetoa vastustavien voimien riittävyys varmistetaan suorissa tangoissa ankkurointipituudella  $l_b$ , jonka suuruus määrittyy tarkasteltavista puristus- tai vetovoimien suuruudesta [2 s.463]. Rakenteen vaatiman tilan määrää voidaan vähentää ankkuroimiskapasiteettia kasvattavia päätykoukkuja, päätyankkureita, tyssättyjä ankkureita tai hitsattuja poikkitankoja. Näiden ratkaisujen ankkuroimiskapasiteettia voidaan tarkastella määrittelemällä suoraa tankoa vastaava ekvivalentti ankkurointipituus  $l_{b,eq}$ , joka koskee vain vedettyjä tankoja. Näillä ei ole vaikutusta puristettuihin tankoihin, pois lukien tyssätyt ankkurit. [2 s.463.]

Ankkurointipituutta arvioidessa määritetään ankkurointipituuden perusarvo joka tarkoittaa vaadittua ankkurointipituutta pituudella vaikuttavaan vakioon tartuntalujuuteen  $f_{bd}$  perustuen. Vaadittua ankkurointipituutta merkitään  $l_{b,rqd}$  ja se lasketaan kaavasta [2 s.464]:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$$

Kaavassa  $\sigma_{sd}$  merkitsee teräsännitystä ankkurointipituuden laskemiskohdassa tangon päätä kohden. Jännityksen tulee olla pienempi kuin vakio tartuntalujuus  $f_{bd}$ . Taivutetuissa tangoissa pituus  $l_b$  mitataan tangon keskiviivaa pitkin. Tekijällä  $\emptyset$  merkitään ankkuroitavan tangon halkaisijaa, hitsattujen tankoparien tai lankaparien tapauksessa käytetään ekvivalenttia halkaisijaa  $\emptyset_n = \emptyset\sqrt{2}$ . [2 s.464.]

Vaadittua ankkurointipituutta laskettaessa tulee ottaa huomioon erilaisia tekijöitä, kuten tartuntaolosuhteet, betonipeitteen paksuuden vaikutukset, poikittaisen raudoituksen tartuntaa parantavat vaikutukset, hitsattujen poikittaistankojen vaikutukset, ankkurointipituudella vaikuttavan poikittaisen paineen vaikutus tankoa pitkin tapahtuvan halkeamisen estäjänä sekä betonipeitteellä varustettujen tankojen muodon vaikutus [2 s.465]. Tartuntaolosuhteet määrittelevät betonin vetolujuuteen  $f_{ctd}$  verrannollisen tartuntalujuuden  $f_{bd}$ . Betonin vetolujuus voidaan laskea betonin taulukkoarvoista, joka riippuu betonin lujuusluokasta.

Taulukko 3.1 Betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet

Betonin lujuusluokka	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	Analyttinen yhteys/viittaus
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk, 0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5 % fraktiili
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk, 0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95 % fraktiili
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22((f_{cm}/10))^{0,3}$ ( $f_{cm}$ MPa)
$\epsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	ks. kuvaa 3.2 $\epsilon_{c1}$ (‰) = $0,7 f_{cm}^{0,31} \leq 2,8$

Kuva 15. Betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien taulukko SFS 1992-1-1 mukaan [6 s.30]

Betonin vetolujuus [2 s.40]:

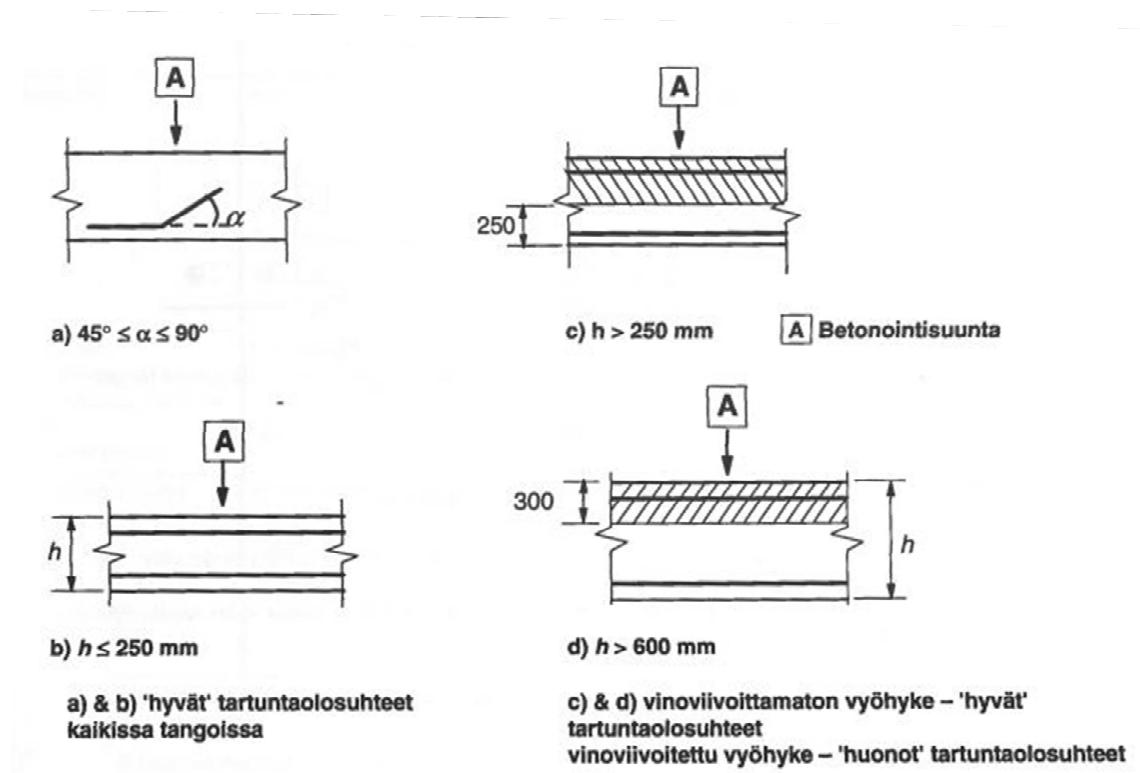
$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk,0.05} / \gamma_C$$

Betonin vetolujuuden avulla saadaan ratkaistuksi harjatankojen tartuntalujuus  $f_{bd}$  kaavalla [2 s.82]:

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd},$$

missä:

- $\eta_1$  = tartuntatilanteesta riippuva luku = 1 hyvissä tartuntaolosuhteissa tai 0,7 muissa tartuntaolosuhteissa
- $\eta_2 = 1$ , kun käytetään  $\leq D32$  tankoja, muissa tapauksissa =  $(132 - \emptyset) / 100$



Kuva 16. Ankkurointiolosuhteiden määrittely SFS 1992-1-1 mukaan [6 s.133]

Ellei muita ankkurointivaatimuksia ole esitetty, tulee kaikki tangot ankkuroida vähimmäisankkurointi pituudella  $l_{b,min}$  [2 s.464-465]:

- $l_{b,min} > \max\{0,3l_{b,rqd}, 10 * \emptyset, 100mm\}$  vedetyissä tangoissa
- $l_{b,min} > \max\{0,6l_{b,rqd}, 10 * \emptyset, 100mm\}$  puristetuissa tangoissa

Ankkurointipituuden mitoitusarvo  $f_{bd}$  lasketaan suhteessa pituuden perusarvoon  $l_{b,rqd}$  [2 s.465]:

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

Kertoimet  $\alpha_1 \dots \alpha_5$ :

- $\alpha_1$  huomioi riittäväällä betonipeitteellä varustettujen tankojen muodon
- $\alpha_2$  huomioi betonipeitteen vaikutuksen
- $\alpha_3$  huomioi poikittaisen raudoituksen tartuntaa parantavan vaikutuksen
- $\alpha_4$  huomioi ankkurointipituudella olevien hitsattujen poikittaistankojen vaikutuksen
- $\alpha_5$  huomioi ankkurointipituudella vaikuttavan poikittaisen paineen tankoa pitkin tapahtuvan halkeamisen estäjänä

Huomioitavaa on rajoitukset kertoimien tulolle:

$$0,7 \leq \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_5 \leq 1.$$

Tulon ollessa pienempi tai suurempi kuin raja-arvot käytetään lähempää raja-arvoa laskennassa.

Ankkuroimispiteuttä voidaan tarkastella myös betoninormien avulla, niissä esitetyt tiedot poikkeavat hieman eurokoodien mukaisista. Betoninormeissa esitetään vähimmäisankkurointipituutena  $l_{b,min,BN} = 10 * \varnothing$ . Riippuen ankkurointikohdan jännityksestä  $\sigma_s \leq f_{sd}$  ankkuroidaan tangot pituutta  $l_{bd} \geq l_{b,min,BN}$  käyttäen ehdon  $F_{bd} \geq \sigma_s * A_s$  täytyessä [2 s.467]:

$$F_{bd} = f_{bd} * u_s * l_{bd}$$

$$f_{bd} = k_b * f_{ctd}$$

kertoimen  $k_b$  ollessa taulukon 2/7.1 mukainen.

**Taulukko 2/7.1** Betoninormien mukaiset tartuntakertoimen  $k_b$  suuruudet.

Tartuntatila	Harjatanko	Pyörötanko	Jännepunos
I Tangon ja vaakatason välinen kulma (valuasennossa) $\geq 45^\circ$ tai raudoituksen etäisyys rakenteen alapinnasta enintään 300 mm	2,4	1,0	1,1
II Raudoituksen etäisyys alapinnasta yli 300 mm tai rakenteet, joiden ankkurointialueella esiintyy poikittaisesta vedosta aiheutuvaa halkeilua	1,7	0,7	0,8

Harjatanko: A500HW, A700HW, B500K, B600KX, B700K, pyörötanko: S235JRG2

Kuva 17. Betoninormien mukaiset tartuntakertoimen  $k_b$  suuruudet [2 s.467]

#### 2.4.1 Koukkujen ja lenkkien ankkurointikestävyys

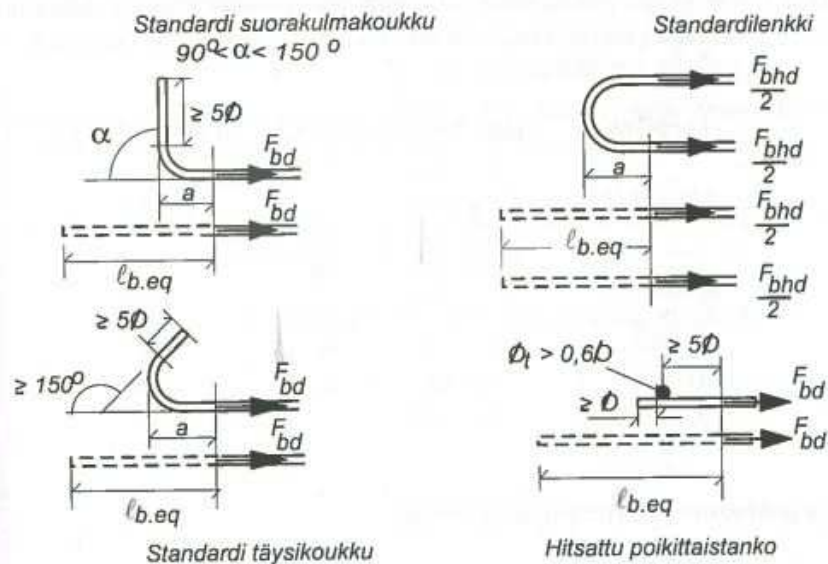
Raudoitteiden ankkurointi suoritetaan joskus taivutetuilla koukuilla tai lenkeillä tapauksissa joissa vaadittua ankkuroimispiteuttä ei voida suorittaa suoraan tangoin johtuen esimerkiksi tilan puutteesta [2 s.463]. Taivutuksien tuottamille lisäankkuroimisvoimille on esitetty mitoitus ja laskentaa Eurocode 2:ssa sekä betoninormeissa [2 s.469-472].



Eurocode 2:ssa esitetään laskenta ekvivalentilla ankkurointipituudella standardikoukkujen ja lenkkien avulla saavutetulle tartuntakestävyydelle  $F_{bd}$ , joka ratkaistaan kaavasta  $F_{bd} = l_{b,eq} \cdot u_s \cdot f_{bd}$ . Ankkurointivoima  $F_{bd}$  vaikuttaa taivutuksen ulkoreunasta mitan  $a$  päässä,  $a = \emptyset + \emptyset_m$ , missä  $\emptyset$  = tangon halkaisija ja  $\emptyset_m$  = taivutusympyrän halkaisija [2 s.469].

- $l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd}$ , kun tanko on taivutettu

”Kuvasta 3a/7.1 on huomattava, että  $l_{b,eq}$  asemointi tankoon nähden on erilainen kuin Eurocode 2 vastaavassa kuvassa esitetään, joka lienee virheellinen. Oleellista tässä tapauksessa on, että voima  $F_{bd}$  ankkuroituu mittaa  $l_{b,eq}$  vastaavasti tietyn pituuden päästä taivutetun osan kääntyttyä vaakasuoraksi”. [2 s.469.]



**Kuva 3a/7.1** Eurocode 2 mukainen ekvivalentti ankkurointipituus  $l_{b,eq}$  standarditapauksissa. Mitta  $a$ , mistä alkaen  $l_{b,eq}$  lasketaan, on  $a = \emptyset + \emptyset_m$ .  $\emptyset_m$  = taivutusympyrän halkaisija.

Kuva 18. Päätykoukkujen ja lenkkien ekvivalentti ankkurointipituus Eurocode 2 mukaan [2 s.470]

Betoninormeissa käsitellyt standardikoukut ja -lenkit ovat samanlaisia kuin Eurocodessa, mutta ankkuroitumisen tarkastelu tapa eroaa. Betoninormeissa ankkuroitumista tarkastellaan lisäämällä suoran osan AB ankkurointipituuteen  $l_b$  koukun kapasiteettia edustava lisäpituus  $l_{bh} = 10 \cdot \emptyset$  ja ankkurointipituudeksi saadaan  $l_{bd} = l_b + l_{bh}$ .

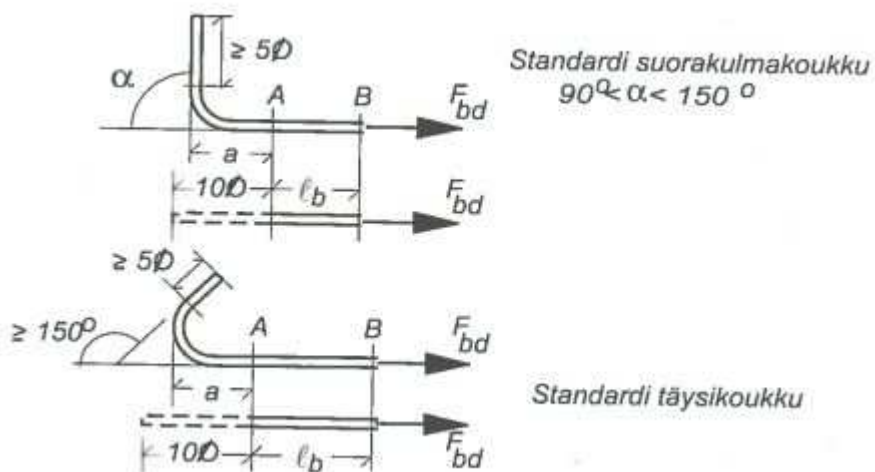
Lenkin ankkurointikestävyys lasketaan kaavasta:

$$F_{bhd} = \emptyset_m \cdot \emptyset \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{s / \emptyset} \leq 3 \cdot \emptyset_m \cdot \emptyset f_{cd}$$

missä:

- $\emptyset_m$  on koukun sisäpuolen taivutusympyrän halkaisija
- $\emptyset$  on tangon halkaisija
- $s$  on rinnakkaisten lenkkien taivutustasojen välinen etäisyys, ei kuitenkaan suurempi kuin taivutustason etäisyys betonipinnasta kaksinkertaisena.

Halkaisuvoimaksi lenkille voidaan olettaa  $F_{bdh}/4$ . Jos lenkin tasoa vastaan kohdistuu kohtisuoraa puristusvoimaa ankkurointikohdassa pituudella  $\emptyset_m$ , voidaan se vähentää laskettaessa nettovaikutusta. [2 s.470.]



Kuva 19. Koukut betoninormien mukaan [2 s471]

## 2.4.2 Ankkurointi hitsatuilla poikkitangoilla

Ankkurointia suorilla tangoilla voidaan lisätä hitsaamalla ankkuroitavan tangon päähän suurikokoinen poikittaistanko,  $\varnothing_t = 16 \dots 32$  mm. Tämä tulee suorittaa riittävällä hitsin laadulla ja kapasiteetilla ankkuroitavan voiman vastaanottamiseksi [2 s.473].

Liitosluokkien vastaavuudet SFS 1267 mukaan:

Taulukko D.1 Liitosluokkien FL ja SF vastaavuudet sekä standardin SFS-EN 1992-1-1 kaavojen kertoimet

RakMk B4 Liitosluokka FL <sup>a</sup>	SFS-EN 17660-1 Liitosluokka SF <sup>b</sup>	SFS EN 1992-1-1 Kaavojen (8.8) ja (8.9) $F_{wd}$ kerroin <sup>b</sup>
15	30	0,3
20	35	0,35
25	45	0,45
30	55	0,55
35	65	0,65
40	75	0,75
45	80	0,80
50	90	0,90
55	100	1,00

<sup>a</sup> Liitosluokka testattuna pidintyyppillä a (ks. standardi SFS-EN ISO 15630-2)  
<sup>b</sup> Liitosluokka testattuna pidintyyppillä c (ks. standardi SFS-EN ISO 15630-2)

Kuva 20. Kuva taulukosta D.1, liitosluokkien vastaavuudet sekä kaavojen kertoimet [8 s.13]

Taulukko F.1 Liitosluokan SF ja liitosluokan FL vastaavuudet

Liitosluokka SF	Liitosluokka FL
35	20
55	30
75	40

HUOM. Liitosluokkien välinen vastaavuus voidaan laskea kaavalla

$$F_s(SF) \geq 1,8 \cdot F_s(FL) \quad (F.1)$$

Kuva 21. Liitosluokkien vastaavuudet SFS 1300 mukaan [7 s45]

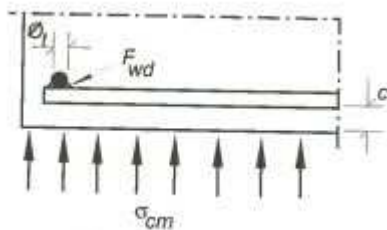
Ankkurointikestävyys  $F_{btd}$  Eurocode 2:sen mukaan on maakohtainen, muttei kuitenkaan ylitä hitsin leikkauskestävyyttä  $F_{wd} = 0,5 \cdot A_s \cdot F_{sd}$ . Perusankkurointipituuden  $l_{b,rqd}$  jännityksen  $\sigma_{sd}$  arvoa voidaan pienentää määrällä  $F_{btd} / A_s$  kun lasketaan vähimmäisankkurointipituus ja suoran tangon osuus kestävyydestä [2 s.473].

$F_{btd}$  on verrannollinen poikittaistangon  $\varnothing_t$  nimelliseen pintapaineeseen  $\sigma_{td}$ :

$$F_{btd} = l_{td} * \varnothing_t * \sigma_{td} \leq F_{wd}$$

missä

- $l_{td}$  on poikittaistangon mitoituspituus =  $1.16 * \varnothing_t * \sqrt{(f_{sd} / \sigma_{td})} \leq l_t$
- $F_{wd}$  on hitsien leikkauskestävyys. Ellei tarkempaa laskentaa suoriteta,  $F_{wd} = 0,5 * A_s * f_{sd}$
- $l_t$  on poikittaistangon pituus
- $\varnothing_t$  on poikittaistangon halkaisija
- $\sigma_{td}$  on betonin nimellinen pintapaine =  $(f_{cd} - \sigma_{cm}) / y \leq 3 * f_{cd}$
- $\sigma_{cm}$  on ankkurointitasoon kohdistuva poikittainen paine, puristus negatiivisena
- $y = 0,015 + 0,14 * e^{-0,18x}$
- $x = 2 * c / \varnothing_t + 1$
- $c$  = betonipeite



Kuva 22. Ankkurointi hitsatun poikittaistangon avulla [2 s.473]

Ankkurointikestävyys voidaan kaksinkertaistaa hitsaamalla saman tangon molemmille puolille samanlainen poikittaistanko betonipeitteen uloimpaan poikittaistankoon ollessa vaatimusten mukainen. Hitsattaessa samalle puolelle kaksi poikittaistankoa vähintään  $3 \cdot \varnothing_t$  etäisyydelle toisistaan korotetaan yhden tangon kestävyys 1,4 kertaiseksi.

Ankkurointikestävyys riippuu vain hitsien kestävyydestä poikkitangon halkaisijan ollessa maksimissaan 12 mm sekä teräslajin ollessa B500. Hitsattujen poikittaistankojen kestävyys voidaan laskea lausekkeesta [2 s.474]:

$$F_{btd} = F_{wd} \leq 16 \cdot A_s \cdot f_{cd} \cdot \varnothing_t / \varnothing$$

missä

- $\varnothing_t$  on poikkitangon halkaisija  $\leq 12\text{mm}$
- $\varnothing$  on ankkuroitavan tangon halkaisija  $\leq 12\text{mm}$

12 mm ja sitä ohuemmilla tangoilla pätee korotus 1,4-kertaiseksi mikäli tangot on hitsattu peräkkäin.

Poikittaistangon kestävyys esitetään liitosluokkien suhteellisiin lujuuksiin verrannollisena betoninormeissa:

$$F_{btd.BN} = 1,8FL \frac{A_s f_{sd}}{1,25} \leq \begin{cases} 16 A_s f_{cd} \frac{\varnothing_t}{\varnothing}, & \text{kun } \varnothing \leq 12\text{mm} \\ l t d \varnothing t \sigma_{cc}, & \text{kun } \varnothing > 12\text{mm} \end{cases}$$

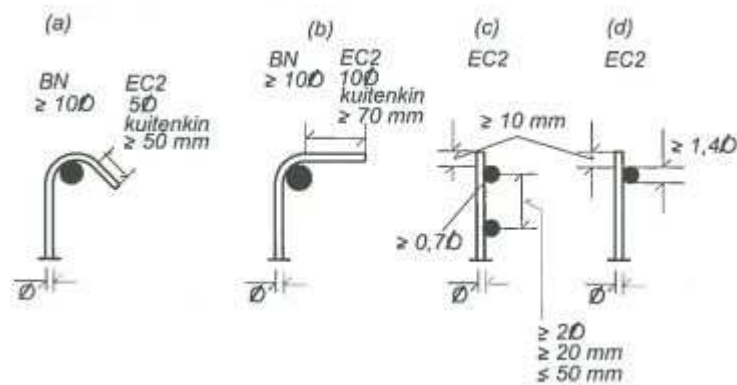
missä

- $A_s$  on ankkuroitavan tangon poikkileikkausala
- $f_{sd}$  on ankkuroitavan tangon mitoituslujuus
- $\varnothing_t$  on poikittaistangon halkaisija
- $\varnothing$  on ankkuroitavan tangon halkaisija

- $l_{td} = 1,16 * \varnothing * \sqrt{(f_{sd} / \sigma_{cc})} \leq s$  ja  $\sigma_{cc} = 10 * (f_{ctd} - \sigma_{cm}) * \sqrt{(c/\varnothing_t)} \leq 3 * f_{cd}$
- $\sigma_{cm}$  on ankkurointitasoon kohdistuva poikittainen paine, puristus negatiivisena
- $c$  on ankkuroitavan tangon betonipeite
- $s$  on ankkuroitavien tankojen keskiöväli
- FL on standardin SFS 1251 – 1997 mukainen liitosluokkaa vastaava suhteellinen lujuus [2 s.474]

### 2.4.3 Leikkausraudoituksen ja hakojen ankkurointi

Hakojen tulee aina ankkuroitua lyhyelläkin matkalla, johtuen halkeaman sijainnin muutoksesta haan korkeudella. Vetovoiman kehittyminen haassa edellyttääkin aina koukkujen, taivutuksien tai hitsattujen poikkitankojen käyttöä ankkuroinnissa. Eurocode 2 ja betoninormit esittävätkin taivutusvaatimuksia koukuille ja taivutuksille sekä vaatimukset hitsatun poikkitangon sijainnille. [2 s.475.]



Kuva 23. Eurocode 2 ja Betoninormien mukaiset hakojen ankkurointivaatimukset [2 s.475]

## 2.5 Muuntosuunnittelun teoria

Celsa Steel Service Oy on kehittänyt tuotepaketin liittyen Re-Inforce-konseptiin ja jota kutsutaan muuntosuunnitteluksi. Laajempaan käsitteenä kyse on muodostaa esivalmistettuja ja helposti asennettavia osia perinteisesti suoritettujen raudoiteratkaisujen tilalle. Tässä mallissa Celsan projekti-insinööri käy läpi suunnittelijalta saamansa raudoituskuvat ja muokkaa niissä olevat yksittäiset raudoitetangot käsin tai koneellisesti hitsatuiksi kokoonpanoiksi. Uuden ratkaisumallin valmistuttua lähetetään suunnittelijalle toteutus-suunnitelmat hyväksyttäväksi. Ratkaisulla pyritään nopeuttamaan asennusvauhtia työmaalla sekä järjestämään kuormat ja työvaiheet kätevämmiksi. Uusissa ratkaisussa ei puututa ratkaisujen mitoitusteknisiin tekijöihin eivätkä ne siksi vaadi uudelleenlaskentaa kuormille tai rasituksille.

Tehdessä päätös suorittaa kohde muuntosuunnittelumallilla suunnitellaan kohteen kuormakerroille alustavat viikkovälit kuten kuljetukset viikon välein tai jopa tarkemmat toimitusajankohdat. Projekti-insinöörin saadessa raudoitussuunnitelmat käsiteltäväksi käy hän läpi kohteen yleensä kerralla ensimmäisestä holvista vesikattoon asti, mikäli suunnitelmat on saatavilla koko kohteeseen. Näiden pohjalta luodaan uudet toteutussuunnitelmat, joissa irtotangoilla suunnitellut tanko- ja hakaryhmät on muunnettu AutoCAD:llä suunnitelluiksi hitsatuiksi kokoonpanoiksi ja niiden sijainnit lopullisessa asennuksessa on osoitettu. Kohteissa voidaan käyttää holvin raudoitteiden suorittamiseksi joko kaistaverkkoja tai Bamtec-mattoraudoitteita, jotka suunnitellaan esimerkiksi BamtecEasy ohjelmistolla käyttäen hyväksi alkuperäisiä raudoitussuunnitelmia. Ratkaisun tuotteina syntyy yksisuuntaisia kaistaverkkoja, joissa on työteräksillä sidottu yhteen samanmittaisia raudoitesarjoja, Bamtec-mattoraudoite rullia sekä reunahakakoreja joihin on hitsattu joko työteräksillä tai toiminnallisilla teräksillä elementiksi irtonaisten hakojen sarjoja. Asennusnopeus näillä menetelmin on todettu olevan jopa kymmenen kertaa nopeampi [4 s.5].

Erilaisten irtoraudoitesarjojen muuntaminen hitsatuiksi kokoonpanoiksi helpottaa myös tuotannon koneellistamista sekä suurempaa volyymiä valmistuksessa, edellyttäen koko kohteen tietojen olevan käsillä jo projektin alkuvaiheessa. Koko projektin suorittamiseen vaadittavat kappalemäärät tuotteille voidaan laskea jo alkuvaiheessa ja täten ne voidaan tuottaa sarjana.

Ratkaisu liittyy voimakkaasti komponentti-ajatusmalliin, jonka tavoitteena on muuttaa irtotangoihin suoritettuja kokoonpanoja elementeillä suoritettaviksi. Huomioon voidaan

myös ottaa tavoite siirtää manuaalista asennustyötä suoritettavaksi koneellisesti hitsaten, vähentäen työergonomisesti huonoja asentoja työmaalla.

### 2.5.1 Muutos suunnittelu projekti

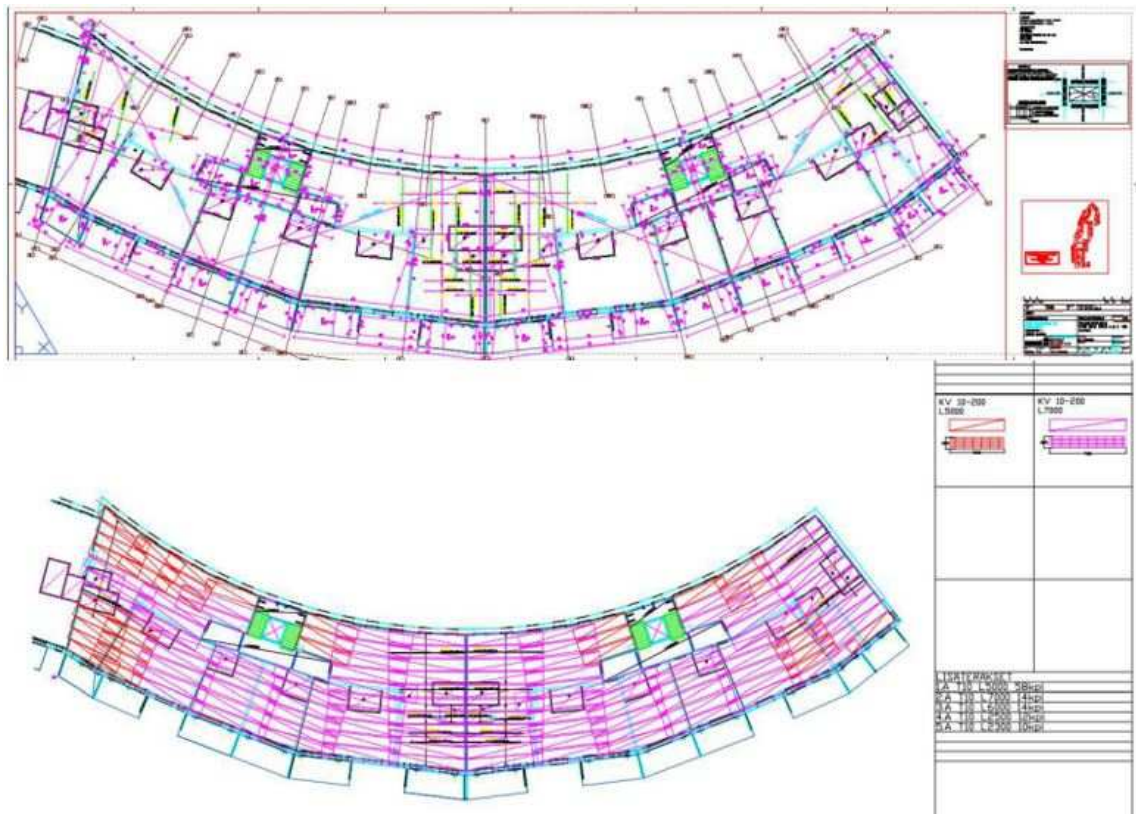
Muutos suunnittelu projektista on tehty opinnäytetyö Metropolia Ammattikorkeakoulussa Celsa Steel Service Oy:n tilauksesta [4]. Työssä kehitettiin konseptia sekä kerättiin palautetta työmailta ratkaisujen toimivuudesta. Tietoihin sisällytettiin kouluarvosana tyyppinen arviointi erä osa-alueiden toimivuudesta ja arvonta asteikko oli 1-5. Kokonaisuudessaan ratkaisuun oltiin tyytyväisiä, vaikka kehityskohteita nousi esiin.

Tyytyväisyyden osa-alue	Numeroarvosana 1-5
Reinforce rauditusratkaisut	4
Asennuskuvat	4
Asiakaspalvelu	3
Toimitusajan pituus	3
Toimitusvarmuus	2.66
Hinnoittelu	3

Kuva 24. Ote opinnäytetyöstä, tyytyväisyys kyselyiden koonti [4 s. 37]

Komponenttiratkaisujen kehityksessä otetaan huomioon tässä projektissa saavutettu tulos ja ongelmakohdat, sekä kehitystyössä konsultoidaan muutos suunnitteluprojektiin osallistuneita Celsa Steel Servicen työntekijöitä. Molemmissa kehitysprojekteissa pyritään ratkaisemaan perustavanlaatuisesti samanlaisia ongelmia ja molempien pohjimmainen idea ja tarkoitus ovat erittäin samanlaisia. Tästä johtuen osaa muutos suunnittelu projektissa kehitetyistä tuotteista voidaankin käsitellä komponentteina.





Kuva 25. Yllä raudoitussuunnitelma, alla saman raudoituksen suorittaminen muuntosuunnittelu ratkaisun kaistaverkoilla.

### 3 Raudoitekokoonpanojen kehittäminen

#### 3.1 Käytetyt työkalut

Projektissa tapahtuva kehitystyö on suoritettu käyttäen Exceliä, Celsa Steel Servicen omaa QR-ohjelmistoa, MathCAD:iä, AutoCAD:iä sekä Tekla Structuresia. Johtuen halusta hyväksikäyttää laskennan ja tutkimuksen tuloksia tuotannon tukena ja suunnittelussa on laskentataulukot luotu rakenteeltaan työkaluiksi. Tämä tarkoittaa laskennan luomista alun alkaen parametriseksi, jolloin sitä voidaan hyväksi käyttää tulevien kohteiden tarkastelussa.

Osa statistiikasta, jonka pohjalta on tunnistettu potentiaalisia komponentteja, on otettu raudoitushankkeen hallintasovellus QR-ohjelmistosta ja osa on otettu tuotannosuunnittelu järjestelmästä, jonka tuotanto lokista on kerätty tietoa valmistetuista raudoitteista ja tämän pohjalta tunnistettu kohteita joissa olisi mahdollisesti voitu suorittaa raudoitus käyttämällä komponenttiratkaisua.

#### 3.2 Potentiaalisten raudoite-elementtien tunnistus

Projektin alussa suurin painoarvo asetettiin tiedon keruulle, jonka tavoitteena oli tunnistaa toistuvia taivutuksia rakenteissa, joiden asennus tapahtuu juoksumetreittäin. Tähän päädyttiin Suomen osaston osalta siksi että ajatuksena oli suorittaa komponenttisointia mahdollisimman paljon konehitsatuista verkoista. Näiden tuotantomenetelmästä johtuen sekä verkkojen luonteen takia on kannattavinta tarkastella riviin asennettuja raudoitteita. Tällaiset raudoiteryhmät voidaan komponenttisoida valmistamalla konehitsattua verkkoa, joka tämän jälkeen taivutetaan toivottuihin mittoihin ja muotoihin. Tämä antaa myös mahdollisuuden tutkia onko hyväksyttävällä ylimääräisellä raudoitemäärällä katettavissa eripituisia raudoitteita joka mahdollistaisi verkkojen tuotannon varastotuotteiksi.

Verkko ajatusmalli asettaa tiettyjä rajoitteita tunnistettaville komponenteille, sillä tuote pitää olla tuotettavissa taivuttamalla verkosta. Tämä aiheuttaa rajoituksia elementin kokoon sekä mahdollisiin taivutuksiin geometrian sekä laitteiston kannalta. Tällä ajatusmallilla tunnistettiin useampi eri taivutustyyppi, jotka voidaan tuottaa verkoista.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin dataa, joka kerättiin jo valmistuneista projekteista. Seitsemää eri projektia tutkittiin tarkastelemalla QR-ohjelmiston omaa statiikkaa sekä kohteen suunnitelmia. Testiympäristössä luotiin mahdollisia verkkoelementtejä, joilla korvataisiin yksittäin asennettuja raudoitteita. Näistä testimalleista saatiin elementtipaino yksittäiselle elementille, jota voitiin verrata irtoraidoitteiden kokonaispainolle. Poikkeukset näistä saatiin tuloksia että elementtisoimalla raudoitteet komponenteiksi kokonaisuudessa raudoitteille kasvoi vaihdellen 5-20% (tarkemmat tiedot liitteenä olevasta Aihio Excelissä). Osaksi tämä selittyy komponentteihin hitsattavilla työteräksillä, mutta tulokset tämän suhteen eivät ole täysin tutkittuja ja absoluuttisia, sillä irtoraidoitteiden asennuksessa käytettyjä työteräksiä ei otettu huomioon. Tämä johtui siitä, että työmaalta ei saatu tietoa käytetyistä työteräksistä asennuksissa joten parhaimmillaan kyse olisi teoreettisesta arviosta joka perustuisi toimitettuihin työteräksiin tietämättä niiden asennuskohtia työmaalla.

Dimensio	Bendin	Measuremen	Cutlen	Spacing	cc	pcs.	kg/pcs	kg Σ	
T	Talvutusty	mitat	Leikkopitu	Jako	cc	kpl	kg/kpl	kg Σ	
10	U	150x550x700	2696	300	78,50	440	1,66	730,4	
10	U	150x550x700	2696	300	78,50	700	1,66	1162	
10	U	150x700x600	2796	300	78,50	72	1,73	124,56	
10	D	1000x170x500	1617	300	78,50	495	0,99	490,05	
10	D	600x290x600	1449	150	78,50	110	0,89	97,9	
10	D	600x290x600	1449	150	78,50	110	0,89	97,9	
10	D	600x290x600	1449	150	78,50	68	0,89	60,52	
10	D	1000x170x500	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	
10	D	1000x170x501	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	
10	D	1000x170x502	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	
10	D	1000x170x503	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	
10	D	1000x170x504	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	
10	D	1000x170x505	1617	300	78,50	270	0,99	267,3	

Kuva 26. Esimerkki tietojen keräyslehdeltä Aihio Excelistä

Bending shape	C&B (KG)	Bended Total (K)	Identified Bended	Potential Welded (KG)
B	104,76	104,76	0	0
D	3793,3	3793,3	2350,17	3111,23
U	2091,53	2091,53	2016,96	2339,64
E				
A	10960,7			
C	111,71	111,71		
Misc.	11,24			
<b>Total</b>	<b>17062</b>	<b>6101,3</b>	<b>4367,13</b>	<b>5450,87</b>

Potential % of C&B total	Potential % of bended types	C&B KG / Welded KG	Ratio Weld / C
0%	0%	0,000	0,00
18%	51%	1,219	1,32
14%	38%	0,862	1,16
0%	0%		0,00
0%	0%	#JAKOIVI	#JAKOIVI
32%	69%	3,130	1,25

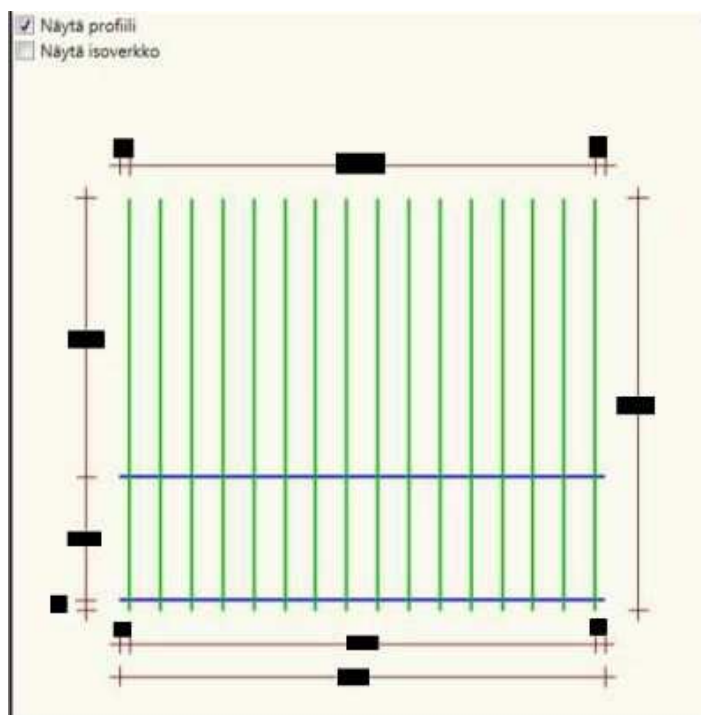
Kuva 27. Esimerkki Aihio Excelin koontilehdestä (Tietoja muutettu tilaajayrityksen pyynnöstä)

Toinen keino komponenttien tunnistukseen oli ottaa QR:n статистиikasta vuotuisia totaalisia toimitettuja kilomääriä taivutustyypeittäin, yksittäisten tankojen halkaisijan sekä tankojen pituuksien mukaan jaoteltuina. Tältä tietopohjalta huomattiin Ruotsissa yleisimmäksi yksittäiseksi raudoitetangoksi B-tyyppin taivutus. Tältä pohjalta kehitettiin Ruotsissa mittatilauksena tehtyjä käsin hitsattuja raudoitekomponentteja. Tämä ratkaisu voidaan ottaa käyttöön Suomessa ilman suuria muutoksia, varsinkin jos kyse on käsin hitsatuista elementeistä, sillä ne ovat tapauskohtaisia. Suuri osa näistä voidaan myös valmistaa taivutetusta verkosta geometrian yksinkertaisuudesta johtuen (yksi 90 asteen taivutus ja kaksi osamittaa). Tämä taivutustyyppi ei ole suomessa aivan yhtä yleinen, mutta esimerkiksi tartuntoina nähdään usein B-tyyppin taivutuksia ja nämä voitaisiinkin suorittaa komponenteilla monessa tapauksessa.

Celsa Steel Service Oy:llä muuntosuunnittelu kattaa jo tällä hetkellä erittäin ison osan asuin kerrostalorakentamisen raudoitteista, yleensä lähtien 1. kerroksesta ylöspäin. Tästä johtuen teimme päätöksen keskittyä ensin perustuksiin, sillä ne jäivät edellisen ratkaisun ulkopuolelle. Tiedon keruussa keskityimme perustuksiin, joista huomasimme

toistuvuutta D-tyyppin hakasina. Nämä ovat jo nyt ajoittain tuotannossa hitsattavina elementteinä mittatilaustyönä, jolloin yksittäisten hakasten sijaan tuotetaan ja toimitetaan jopa 6 metriä pitkiä hitsattuja elementtejä. Nämä voidaan myös tuottaa koneellisesti hitsattuina ja taivutettuina verkkoina, ja tutkimus tämän tuotantomenetelmän kannattavuudesta ja rajoitteista on tällä hetkellä kesken. Teoreettisella tasolla näiden tuottaminen ei ole kovinkaan ongelmallinen johtuen jälleen yksinkertaisesta geometriasta (kaksi 90 asteen taivutusta ja 3 osamittaa).

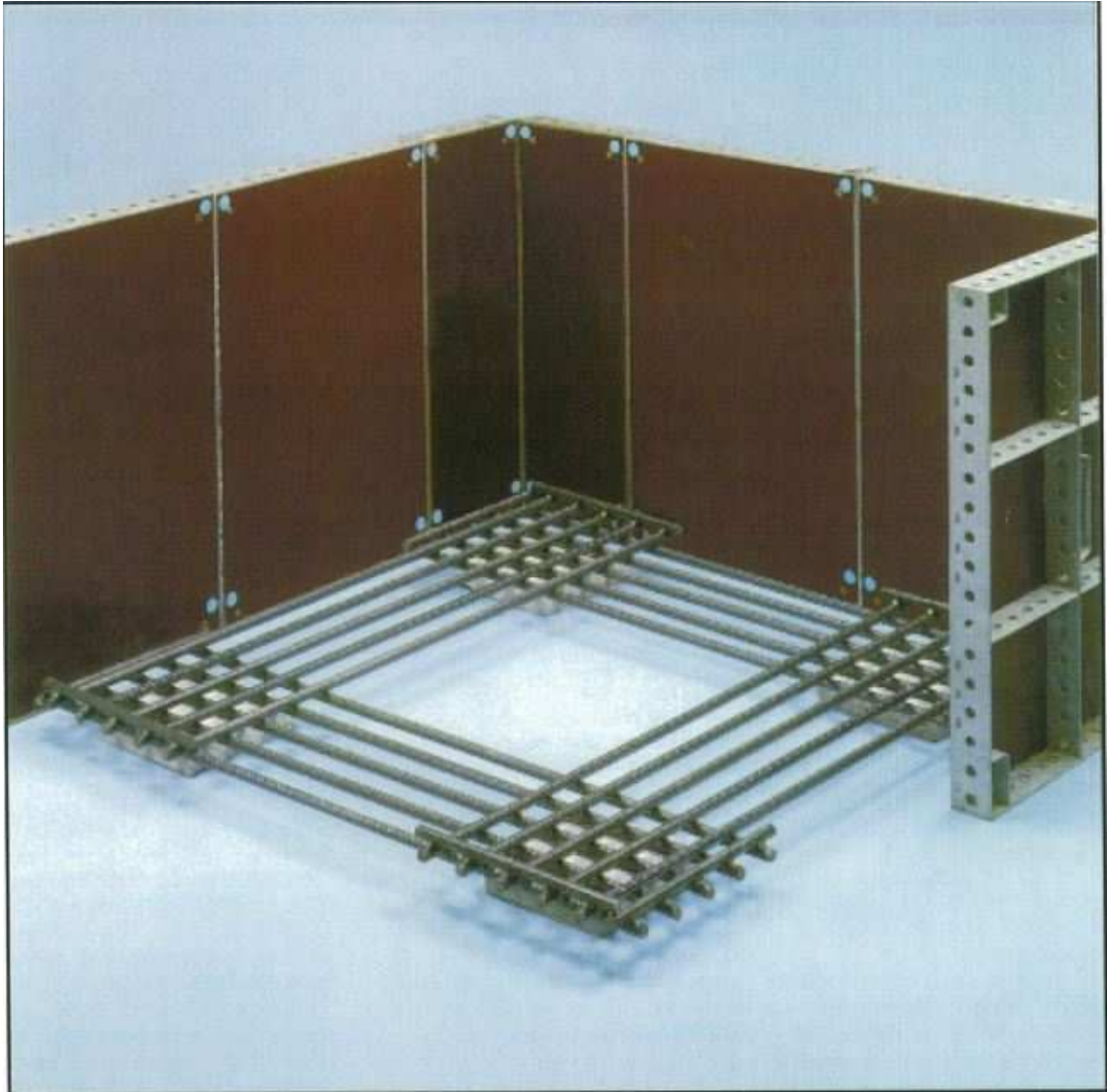
Tältä pohjalta kehitettiin teoreettinen raudoite-elementti (aihio), joita voitaisiin tuottaa varastoon esivalmistettuna ja jotka voitaisiin taivuttaa tarvittaviin mittoihin tilauksesta. Ylimääräisen massan määrää voidaan tarkastella tapauskohtaisesti, mutta lyhyissä komponenteissa usein hyödyllisemmäksi ja kustannustehokkaammaksi ratkaisuksi tuleekin usein kokoonpano työteräksillä D6-D8 ja toiminnallisten terästen sitominen jälkikäteen 6 m tai 12 m pitkinä tankoina. Näin ollen sitomispisteitä tulee vähemmän per elementti sekä ylimääräisen teräksen massa on joko sama tai pienempi kuin hitsattaessa toiminnalliset teräkset komponentteihin kiinni. Huomioon tulee ottaa myös jatkospituuden kasvu tankojen halkaisijoiden kasvaessa, sillä jatkos pituus on halkaisijan kerrannainen. (Osa kappaleen sisällöstä salattu tilaajayrityksen pyynnöstä)



Kuva 28. Esimerkki potentiaalisen aihion suunnitelmista (Tietoja muutettu tilaajayrityksen pyynnöstä)

Potentiaalisten komponenttien tunnistuksessa on käytetty erilaisia tavoitteita, joiden pohjalta on tunnistettu selkeästi kaksi eri luokkaa komponenteille. Toinen ajatusmalli kehityksen taustalla on ollut komponenttien liikutettavuuden kannalta kriittistä painorajaa yhdelle komponentille. Tarkoituksena on ollut tuottaa komponentteja, jotka olisivat työmaalla liikutettavia ilman koneistoa, esimerkiksi kahden työmiehen voimin kantamalla. Näissä elementeissä maksimipaino per komponentti on 50 kg, ja tästä johtuen on kehitetty oma luokkansa komponenteille, joiden maksimi pituus on riippuvainen painosta. Toinen luokka on koneellisesti liikutettavat komponentit, joiden siirtäminen ja paikoilleen asentaminen työmaalla tapahtuu nostureilla tai muilla työmaakoneilla. Näiden pituutta rajoittaa suurimaksi osaksi kuljetuskaluston rajoitteet, yleisin tuotettu ja suunniteltu pituus onkin tästä johtuen 6 metriä. Komponenttien suunnittelutyökaluihin voidaan syöttää esimerkiksi nosturin käytön mahdollisuus joka rajaa täten ulos määritetyt painorajat ylittävät komponenttiratkaisut. (Sisältöä muokattu tilaajayrityksen pyynnöstä)







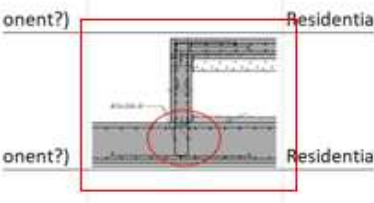
Celsan tuotteistoon on kuulunut jo vuosikymmeniä ns. rappurallit, jotka ovat paaluanturoidin paalujen päälle asennettavia suorita raudoitteita, joissa taivutetuissa hakasissa olevien ylösnostojen ankkurointivaikutus on korvattu luokkahitsatuilla tangoilla jotka ottavat vastaan ankkuroitavat voimat. Tätä samaa ideaa on sovellettu A-tikapuut komponentissa, jotka on alun perin kehitetty perustuksissa käytettäväksi, rajaamatta pois kuitenkaan muita mahdollisia käyttökohteita [3].



Kuva 29. Esimerkkikuva hitsatuista rappuralleista

Komponenttien tunnistamiselle ei ole asetettu takarajaa potentiaalisten komponenttien määrässä, sillä uusien komponenttien tunnistaminen voidaan suorittaa perustuen yrityksen päivittäiseen toimintaan ja tuleviin toimituksiin. Osana projektia on luotu poikkileikkauksia listaava Excel-katalogi, jossa on mahdollista etsiä komponentin tai yksittäisen raudoitetyyppien avulla tällä hetkellä tunnistettuja erilaisia komponenttiratkaisuja. Katalogi on rakennettu myöhemmin muokattavaksi ja täydennettäväksi sekä näitä varten on luotu Standard Operation Procedure, SOP, tiedostoja joissa määritellään ohjeet katalogin jatkokehitykselle ja yhteisille menetelmille. Näin saadaan taattua yhdenmukaisuus projektin jatkuessa sekä jaettua tiedon keruuta ja lisäkehitystä suuremmalle työryhmälle kiinnittämättä uusia resursseja kehitystyöhön täyspäiväisesti. Koska kyseisillä keinoin

tehty tiedonkeruu tapahtuu hyvin vähäisellä lisävaivalla insinöörien töiden lomassa, saadaan tietoa kerättyä jopa nopeammin kuin keskittäen resursseja tiiviisti vain tämän työtehtävän pariin.

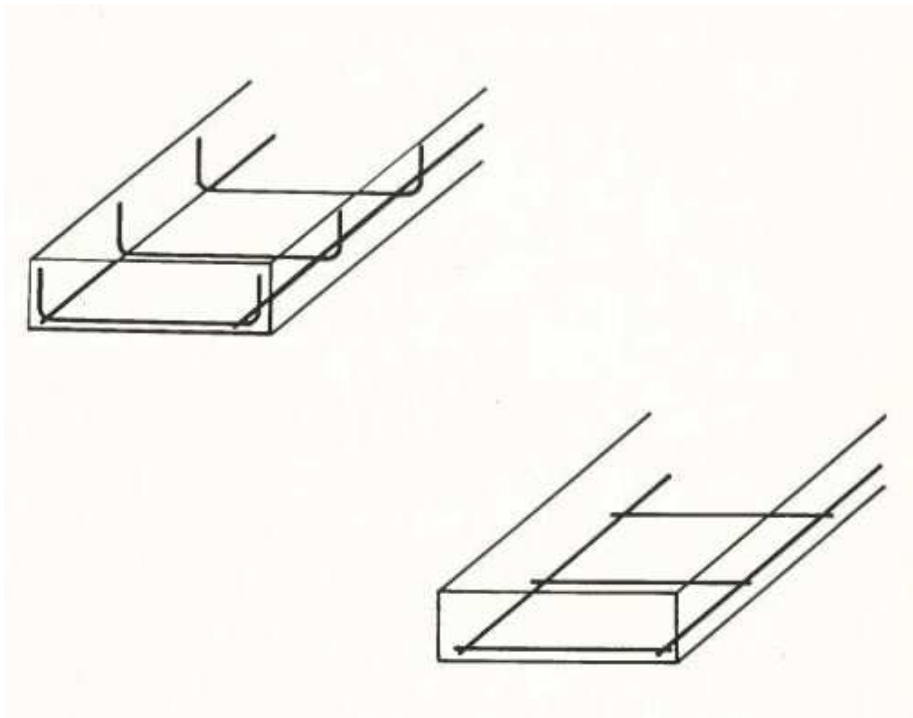
celsa steelservice		Description: SOP – Binding pictures to cells		Doc. nro: SOP-1264-1.1	
Author: Pekka Jaakkola		Subject: Template		Rev. Nro: 1	
Approved:		Date: 23.1.2019		Class. date:	
Page 1 / 3					
Nro	Action	Picture / drawing / description	NB!		
1.1.1	Save cut-out as a picture as JPG and out it in the folder: Pictures - Cross-Sections 				
1.1.2	Select the cell you want the picture to be attached to.				
1.1.3	Insert picture from the insert sheet. Pictures 				
1.1.4	Fit the picture into the cell, manually. 				

Kuva 30. Kuvakaappaus luodusta SOP tiedostosta

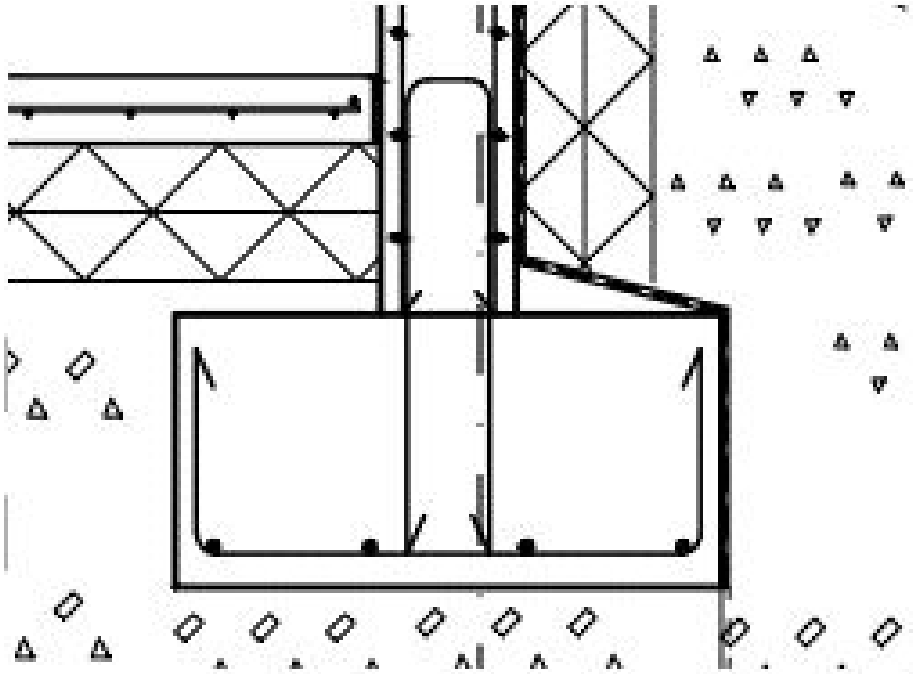
### 3.2.1 A-tikapuut

Tämän komponentin kehitys aloitettiin pohjaten aikaisempaan ratkaisuun rappuralleissa. A-tikapuiden tarkoitus on korvata perinteistä raudoitusmallia perustuksissa D-tyyppin hakasilla. Nauha-anturoiden raudoittamista hitsatuilla verkoilla on esitetty jo vuonna 1988 julkaistussa BY30-2 suunnitteluohteessa [9 s.11]. Tätä varten rakennettiin Excel-taulukko, joka laskee luokkahitsattujen reunatankojen kelpoisuuden vastaanottamaan ankuroimisvoimat, jotka alkuperäisessä menetelmässä on suoritettu hakasten ylösnoistoilla. Taulukko toimii eurokoodin pohjalta tehtyjen laskelmien pohjalta, jotka muuttuvat parametrisesti syötettyjen tietojen mukaan. Tarkoituksena oli luoda työkalu, jolla kelpoisuus voidaan tarkistaa mahdollisimman pienellä manuaalisella syötöllä.





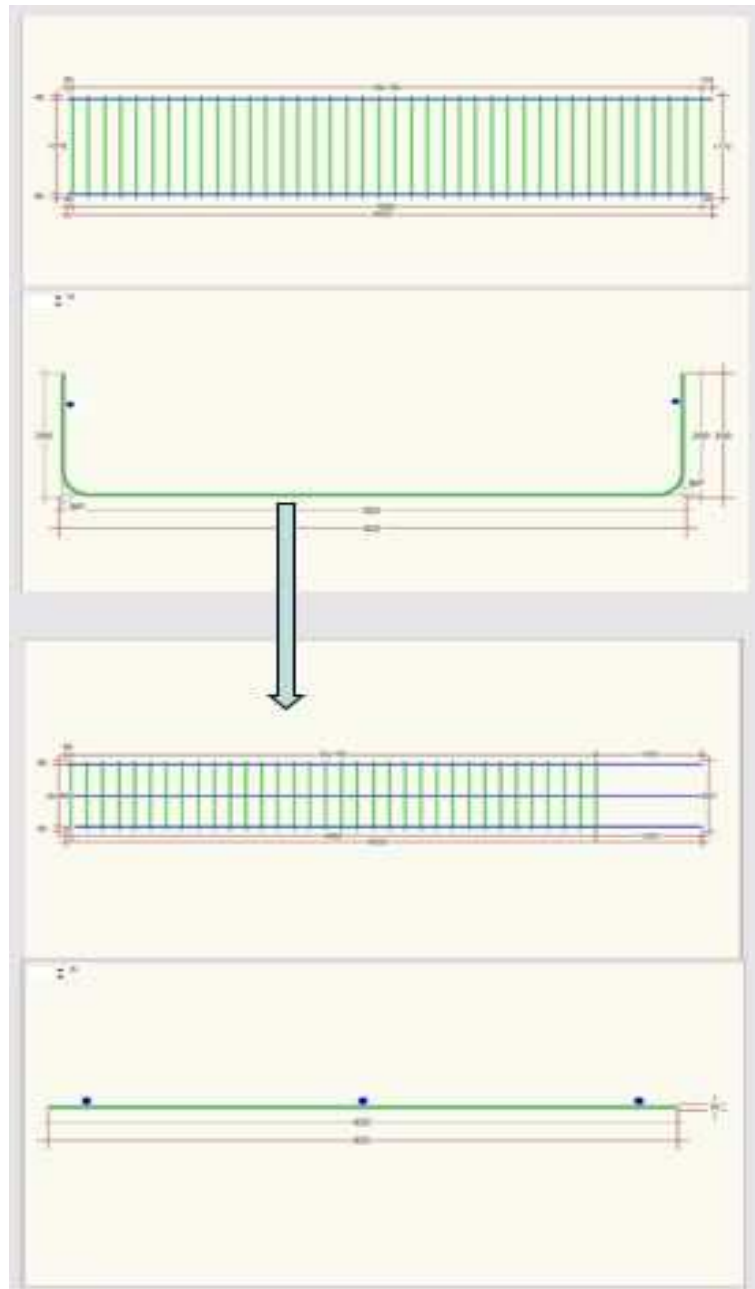
Kuva 31. Nauha-anturan raudoitus hakasilla ja hitsatuilla raudoitteilla [9 s.11]



Kuva 32. D-tyypin haka perustuksissa

Taulukko tarkastelee anturan geometriaa annettujen tietojen pohjalta ja laskee tämän perusteella mahdolliset sivuihin vaikuttavat voimat. Mikäli voidaan todeta että sivuihin ei synny merkittäviä leikkaavia voimia, voidaan todeta että hakasten ylösnostot ovat olemassa lisäankkuroinnin vuoksi. Tämän lisäksi työkalu tarkastelee eurokoodin mukaisia ankkuroimista vaativia voimia ja esittää vaaditun hitsausluokan näiden kattamiseksi hitsatuilla reunatangoilla tilanteissa joissa voimat eivät kasva suuremmiksi kuin maksimaalinen saavutettu ankkuroimisvoima hitsatuilla reunatangoilla.

Nämä komponentit ovat tuotettavissa aina D16 halkaisijaan asti koneellisesti hitsattuina, tosin D16 raudoite-elementtien koneellista valmistusta ei suositella, joten kattavuus koneellisesti hitsattuina kattaa halkaisijat D8-D12. Koneellisella valmistuksella voidaan tuottaa korkeintaan 5 metriä pitkiä elementtejä. Tämä ei kuitenkaan estä komponenttien valmistusta manuaalisesti hitsaamalla suuremmillakin halkaisijoilla, eikä näille varsinaisesti ole rajoitteita valmistusteknisesti ajatteleamalla. Hakasten ylösnostoilla voi olla mitoisteknistä merkitystä, mikäli anturaan syntyy raudoituksille puristusvoimia tai momenttia anturan yläpintaan. Mikäli raudoitus joudutaan suorittamaan suuremmalla halkaisijalla kuin D12 saattaa raudoituksen ankkuroinnista itsestään syntyä halkaisuvoimia rakenteeseen jotka vaativat hakastusta anturan sivuille [2 s.463-472].



Kuva 33. Esimerkki D-tyyppien muuntamisesta A-tikapuiksi

Erilaisia malleja asennusteknisistä syistä on kehitetty jotta lopullinen valinta valmistukseen voidaan valita palautteesta ratkaisun käytön yhteydessä työmailta. Todennäköisin ratkaisu on erilliset jatkosteräksen jotka toimitetaan elementin mukana, jolloin saman elementin kanssa voidaan valita erilaisia jatkosratkaisuja tilanteen mukaan. Näin saadaan tuotetuksi kattavampi elementti erilaisiin tilanteisiin tarpeiden mukaan.

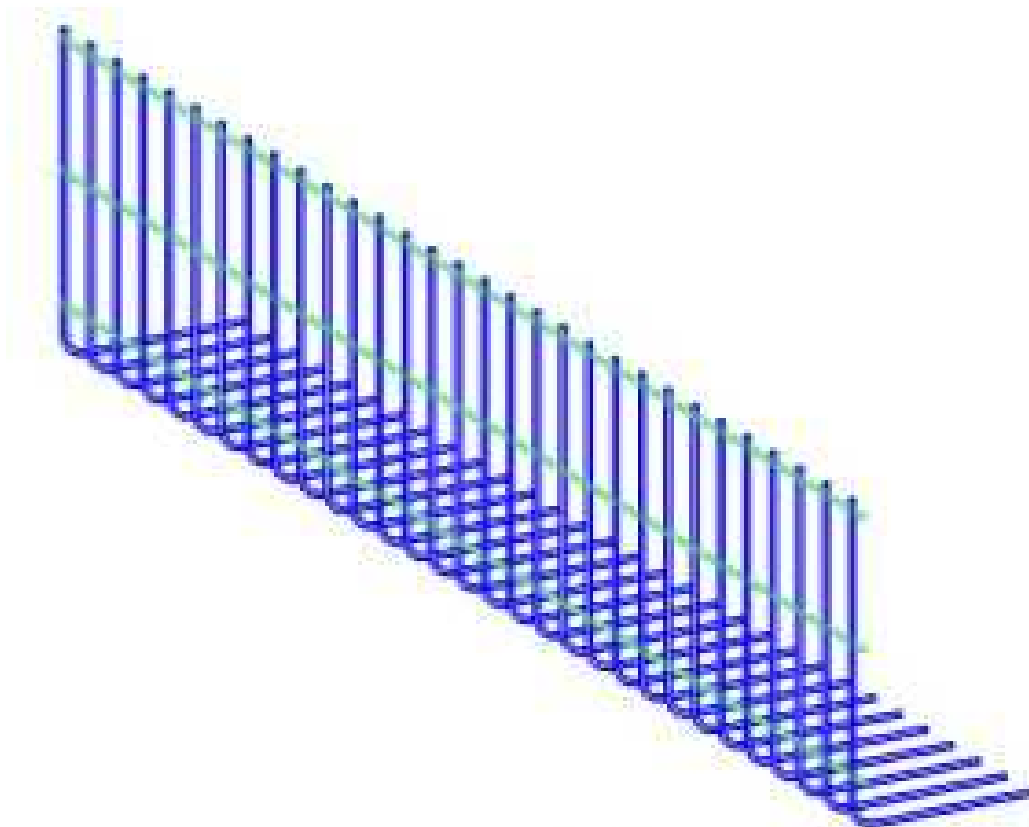
Tämä ratkaisu eroaa muista tunnistetuista komponenteista massanmuutoksen kannalta, sillä tikapuut eivät vaadi ylimääräisiä työteräksiä ja ylösnostojen poisto itse asiassa vähentää käytetyn teräksen määrää. Valmistettu Excel-työkalu vertaa raudoitteen teoreettisia määriä irtoteräksinä asennettuina sekä komponenttina asennettuna ja esittää niiden teoreettisen erotuksen. Tämä laskenta perustuu teräksen ominaispainoon ja käytettyyn metrimäärään.

### 3.2.2 B-sohva ja D/H/U-Häkki

Perusluonteeltaan nämä ratkaisut eroavat periaatteellisella tavalla A-tikapuista, sillä ne eivät varsinaisesti muuta raudoitteiden rakennetta. Yksinkertaisimmillaan voidaan ajatella että kyseessä on yhteen hitsattuja hakasarjoja, joten ainut ero on kiinnitetyt työteräkset. B-sohvat tai D/H/U-häkit eivät vaadi lujuusopillista tarkastelua, joten näiden ratkaisujen hyväksyttäminen suunnittelijoilla on huomattavasti helpompaa.

B-sohvan tai erilaisten häkkien kehityksessä sekä tutkimuksessa on keskitytty tarkemmin eroihin valmistusajassa ja kustannuksissa, sillä niiden kehittäminen ei vaadi yhtä syvällistä laskentaa, sillä itse raudoitteeseen ei tehdä muutoksia muuten kuin mahdollisesti kasvattamalla jotain osamitoista. Tämä ei vaikuta lujuusopillisesti kovinkaan paljoa, sillä kasvaneet raudoitemäärät eivät nosta kokonaiskuormia niin suuresti, että niillä olisi merkitystä kuormituslaskentaan. Kustannusarvioita tuotannon kannalta on tehty, mutta todellisia lukuja päästään arvioimaan vasta ratkaisun käytön yleistyessä, jollain käytettävissä on suurempien erien tuotantoon liittyvää vertailukelpoista dataa.

PLAN 1:25



3D 1:30

Kuva 34. 3D-malli B-sohva-komponentista

Tarkastellessa hakasten muuntamista komponenteiksi on tutkittu erilaisia ongelmia komponenttien asennukseen liittyen, suurimman keskittymisen ollessa työterästen sijoitteluun ja niiden vaikutukseen asennettavuuteen työmaalla. Työterästen sijainti saattaa vaikuttaa esimerkiksi mahdollisuuteen asentaa verkkoja yhdessä komponenttien kanssa, sillä poikittaiset työteräkset saattavat estää asennusta perustuen sijaintiinsa komponentissa. Täältä pohjalta on luotu pohjaa kuvitettuihin asennusohjeisiin ja erilaisiin rajoitteisiin, joita erilaisissa komponenteissa on. Tarkoituksena on luoda katalogia joka selkeästi ja helposti ymmärrettävästi esittää kohteita joissa ratkaisua voidaan käyttää ja kohteita joissa sitä ei voi käyttää. Nämä ohjeet on tarkoitettu sisäiseen ja ulkoiseen käyttöön tukemaan myyjien työtä tuotteiden esittelyssä sekä tarjoamalla työmaille selkeää näkemystä käyttömahdollisuuksista.

Pohjoismaisella tasolla on aloitettu B-sohvien kehityksestä ja tutkimisesta. Kehitystyö koskien näitä komponentteja ei vaadi mitoituskentää, joten niiden tutkiminen on keskittynyt erilaisiin käyttökohteisiin sekä asennusteknisiin ongelmiin ja mahdollisuuksiin. Tältä pohjalta on luotu beta-versio poikkileikkaus katalogista, jossa on esitettyinä poikkileikkauskohtaisesti b-taivutuksen raudoitteita, jotka voidaan komponenttisoida. Katalogi kehitetään Celsan Nordic-jaostolle, joka on Pohjoismaiden yhteinen ryhmä, jonka tavoitteena on luoda ratkaisuja ja työkaluja jotka ovat sovellettuna käytettäväksi kaikissa pohjoismaiden osastoissa. Kehitystyö on suoritettu työskennellen itsenäisesti ja tapaamalla kasvotusten, vuorotellen Ruotsissa ja Suomessa. Näissä kasvotusten tapahtuvissa tapaamisissa analysoidaan tehtyä työtä, saavutettuja tuloksia ja sovitaan yhteisistä tavoitteista ja kehitettävien työkalujen rakenteesta. (Osa sisällöstä tilaajayrityksen pyynnöstä salaista)

### 3.3 Yhteistyö Pohjoismaissa

Komponenttiprojekti on Celsa Nordic -tasolla tehty yhteistyöprojekti, johon aktiivisesti ottaa osaa teknisen tiimin jäsenet Suomesta ja Ruotsista työskentelemällä itsenäisesti yhteisesti sovittujen osioiden kanssa ja tapaamalla noin kahdesti kuukaudessa jolloin saavutetut tulokset voidaan esittää ja yhdistää sekä sopia työnjakoa ja potentiaalisia kehityskohteita jatkoon varalle. Norjan ja Tanskan edustajat ovat osana projektia konsulttivassa roolissa. Saavutetut tulokset esitellään kommentoitavaksi Norjan ja Tanskan edustajille jotka voivat esittää kysymyksiä, kehitysehdotuksia ja kommentteja. Yhteensä projektissa on aktiivisessa roolissa eritasoisilla osanotoilla kahdeksan henkilöä, mutta yrityksen muutakin henkilöstöä konsultoidaan ja heille esitellään tuloksia.

Yksi tärkeimpiä tavoitteita projektille on kehittää yleissopivia malleja ja pohjia, joita voidaan hyödyntää kaikissa maissa. Kehitetty tuotteisto saattaa erota hieman eri maiden välillä johtuen erilaisista rakennusmenetelmistä, mutta tuotteiden tulisi olla silti yleissopivia, sillä laskelmat perustuvat Eurokoodiin ja niiden pitäisi täten olla yleispäteviä jopa eurooppalaisella tasolla. Työn edetessä on kuitenkin tullut selväksi että rakennusmenetelmät ja suunnitelmat eroavat kuitenkin maiden välillä. Tämä ei johdu säännöksistä vaan pikemminkin perinteistä ja tavoista joilla rakenteita on totuttu tekemään. Nämä eroavuudet eivät kuitenkaan sinällään ole ongelma, sillä ratkaisut voidaan rakentaa sellaisessa muodossa, että jokaisen maan on helppo lisätä siihen omia erityispiirteitään, jotka vastaavat työmaiden toiveita.

Celsa Steel Service kokee resurssien yhdistämistä yhteistyön avulla erittäin tärkeäksi sekä siihen panostetaan järjestämällä koulutuksia eri pohjoismaissa vuorotellen, sekä luomalla monikansallisia tiimejä ja asettamalla yhteistyöprojekteja joihin ottaa osaa työntekijöitä monista eri Celsa Groupin alajaostoista. Yksi tärkeimmistä yhteistyötä edistävästä tekijöistä on kehityksen perustuminen eurokoodin asettamiin sääntöihin, jolloin saavutetut tulokset ovat sovellettavissa kaikissa maissa, joissa Eurocode on käytössä.

### 3.4 Tutkimuksen eteneminen

Tutkimus eteni samanaikaisesti lineaarisesti premissistä ja alkuselvittelyistä kohti lopputuloksia, eli kehitettyjä tuotteita, sekä rinnakkaisesti niin että siirryttäessä seuraavaan vaiheeseen ei aikaisemman vaiheen tarkastelua unohdettu kokonaan. Uuden tiedon löydyttyä jo käsitellyistä osa-alueista ne liitettiin osaksi aiempaa tutkimusta, usein kasvat- taen lähtötietojen määrää ja tukien valittua kehitysstrategiaa. Osasyynä tälle voidaan pitää rinnakkaista tutkimusta eri maiden välillä, jolloin tutkimustyö toisessa ympäristössä saattoi tuottaa tuloksia ja herättää kysymyksiä jotka eivät välttämättä olleet toisessa ympäristössä yhtä ilmeisiä. Tämä hidasti prototyyppien valmistusta ja pilotti kohteiden osoit- tamista, mutta tuotti kattavampia tuloksia jotka ovat laajemmin käyttöönotettavissa.

Tutkimuksen aluksi suoritettiin laajaa tiedonkeruuta jo menneistä projekteista, sekä tar- kennettiin myyntiryhmälle erikoispiirteitä, joiden avulla he pystyivät suorittamaan tiedon- keruuta uusista kohteista. Näiden yhteistyöllä tunnistettiin alueita tuotannossa, joissa esiintyi toistuvuutta ja joiden parista voitiin tunnistaa tuotannollisesti merkittäviä tuotteita, joiden jatkokehitys komponenteiksi koettiin tärkeysjärjestyksessä ensisijaiseksi. Hyötynä tässä lähestymistavassa on kehitystyön alkuvaiheessa helposti käyttöönotettavien tuot- teiden tunnistus. Näiden tuotteiden tuottamisen ja käytön perusteella voidaan kerätä pa- lautetta, josta on hyötyä tuotteiden jatkokehityksessä sekä uusien tuotteiden kehityk- sessä.

Opinnäytetyön valmistuessa on kehitysprojektissa valmistettu yhtiön sisäisiä menetelmiä yhdistävä malli. Seuraavan askeleena mallin suhteen on vapauttaa se sisäiseen arviointiin ja testikäyttöön. Tällä toivotaan saavan kehitysideoita palautteen muodossa ennen lopullista vapauttamista käyttöön. Päätökset ensimmäisistä tuotteista on tehty ja pilotti-kohteita tuotteille pyritään kohdentamaan. Pilottikohteissa tullaan suorittamaan erilaisia asennusteknisiä mittauksia sekä ratkaisujen taloudelliseen puoleen syvennyttään tarkemmin tekemällä erilaisia mittauksia tuotannossa sekä logistiikan kannalta.

### 3.5 Ratkaisujen todentaminen

Kehitettyjen tuotteiden sopivuutta on tutkittu talon sisäisesti sekä on tunnistettu tapaukset jotka eivät tule vaatimaan lisävalidointia muilta toimijoilta. Alustavat tutkimukset rakenteiden fyysistä olemusta muuttavissa tuotteissa on suoritettu konsultoimalla alan kirjallisuutta sekä säädöksiä ja nämä on otettu huomioon ratkaisujen käytön rajoituksissa. Lisävalidointia tullaan suorittamaan konsultoimalla suunnittelijoita sekä alan asiantuntijoita liittyen ratkaisun tekniseen toimivuuteen.



## 4 Tutkimustulokset

### 4.1 Tunnistetut komponentit

Opinnäytetyön tekovaiheessa tunnistettuja komponentteja on yhteensä kolme, joista yksi on jo toteutus vaiheessa sekä käytössä, yksi on testaus ja pilottivaiheessa sekä yhden kohdalla on suoritettu käyttöasteen arviointia sekä käsitelty mahdollisuuksia ja rajoitteita. Teoria tasolla on tutkittu myös suurempaa kirjoa potentiaalisia komponentteja perustuen niiden geometriaan ja sijaintiin rakenteissa. Fokus kehitykselle on valittu alkaen useammin toistuvien irtorausoidetyyppien ja yrityksen muiden tavoitteiden mukaisesti. Kehityksessä olevien komponenttien siirtyessä tuotanto ja toimitustasolle voidaan aloittaa muidenkin tunnistettujen komponenttien kehitystyö, jonka voidaan olettaa edistyvän nopeammalla aikataululla, sillä työkalut kehitystyöhön on rakennettu jo aikaisempien komponenttien tutkimiseen ja rakennettu tavalla että ne soveltuvat kaikille tuleville komponenteille.

#### 4.1.1 B-sohva

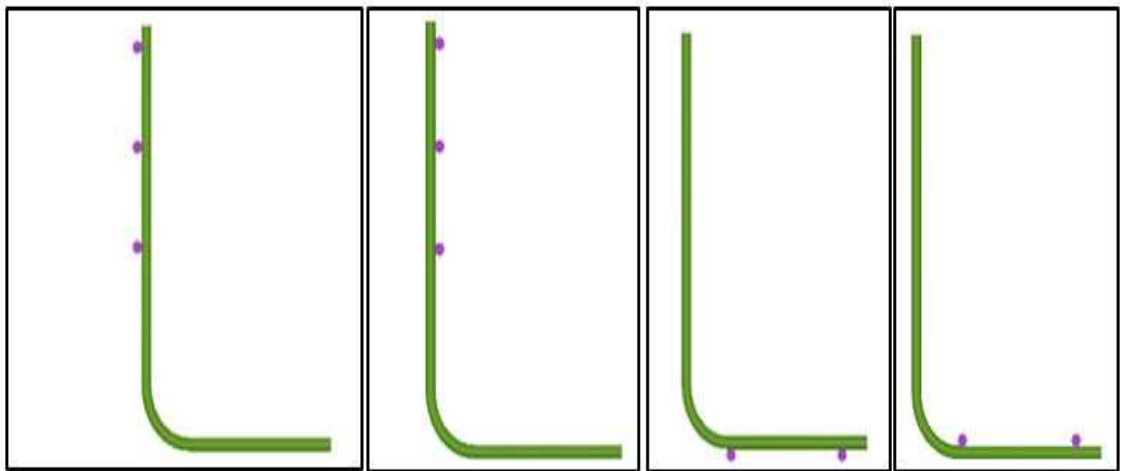
Komponenteista B-sohvaa on testattu työmaata muistuttavissa olosuhteissa sekä toimitettu työmaille käyttöön. Testissä saavutettiin huomattavasti nopeampi asennusnopeus sekä asennuksen ääriasentojen määrällinen vähennys. alla vertailutaulukko saavutetuista tuloksista:

Taulukko 1. Vertailutaulukko sisäisestä testistä. \*Arvot ovat yrityksen kustannusarvioita eivätkä välttämättä edusta todellisia lopullisia kustannuksia. \*\*Lukuja muutettu [10]

Testiympäristö vertailu:	Komponentti	C&B	Vertailu
Massa	100kg**	100kg**	-
Asennusaika	10m**	58m**	17,4%
Riskiasennot	100**	537**	18,6%
Materiaalikustannus	*	*	138%*
Työkustannukset	*	*	17%*
Loppukustannukset	*	*	92,4%*

B-sohvat eivät vaadi mitoitustarkastelua on niiden käyttöönotto ollut nopeinta ja vaivatonta, sekä niitä muistuttavia raudoite-elementtejä on valmistettu jo aiemmin toimitukseen. Näiden komponenttien kohdalla työssä on keskitytty ratkaisujen yhtenäistämiseen

sekä tuotanto- ja laskentatyökalujen kehittämiseen. Ratkaisujen yhtenäistämiseksi on rakennettu tuotehierarkia B-sohva komponenteille, joissa ylimpänä ryhmänä on tärkeimman toimivan teräksen tyyppi, joka jakautuu neljään alaryhmään. Näissä alaryhmissä määrääviksi tekijöiksi on valittu toimivien- tai työterästen sijainti komponentissa, joka voidaan jakaa neljään ryhmään. Nämä neljä ryhmää sisältävät erilaisia muunnoksia runko-komponenttiin, kuten ylimääräisiä tankoja siirtojen helpottamiseksi hitsattuina tai tehtaalla käsin sidottuna, sijainnin tarkennusta työ- tai toiminnallisille teräksille asennusteknisistä syistä johtuen ja mahdollisia työmaalla suoritettavaksi tarkoitettuja jälkimuutoksia, kuten tankojen päätyjen taivuttamista verkkojen väliin.



Kuva 35. Esimerkkejä komponenttien kategorioista, vasemmalta lähtien: BTO, BTI, BBO ja BBI (työnimikkeitä joita on käytetty kehitystyössä).

Pääluokkien määrittely löytyy komponentteja varten rakennetussa ja jatkuvasti kehittyvässä katalogissa, johon on lisätty polut tiedostoihin, joissa esitetään tarkemmat tiedot, erilaiset ratkaisut omissa alaryhmissään sekä ohjeita ja rajoituksia ratkaisujen käyttöön. Katalogille on valittu hierarkkinen malli, jolla pyritään nopeuttamaan tietojen löytymistä visuaalisin esimerkkikuvoin ja välttämään liiallista tietomäärää. Kehitystyössä on keskitytty välittämään informaatiota erilaisista vaihtoehdoista mahdollisimman helppolukuisena ja nopeasti omaksuttavana. Tarkempien teknisten tietojen osio on rakennettu katalogin ulkopuolelle sekä teknisiin tuoteselosteisiin on kiinnitetty hyperlinkit katalogiin. Ajatusmallina on käytetty tarvitun tiedon hierarkiaa, jossa yleisimmin tarvittut tiedot ovat saatavilla helposti ja esitettyinä esimerkein tarjoten mahdollisuus tarvittaessa päästä käsiksi huomattavasti yksityiskohtaisempiin tietoihin komponenteista, jotka saattavat olla tarpeellisia haastavammassa soveltamiskohteissa. On hankala arvioida milloin on saavutettu maksimaalinen potentiaali ratkaisujen käytölle, joten käytännössä tietokanta komponenttien sovellusmahdollisuuksista jätetään avoimeksi ja muokattavaksi.

#### 4.1.2 A-tikapuut

Tunnistetuista komponenteista A-tikapuut lähenevät tuotantoon siirtoa ja pilottihankkeet on tarkoitus aloittaa lähitulevaisuudessa. Näiden kehitystyö on ollut aikaa vievää ja vaatinut tarkastelua yrityksen ulkopuolelta, sillä käytetyn raudoitteen fyysistä muotoa muutetaan. Perustelut ja laskenta käytölle on tehty, sekä alustava hyväksyntä VTT:ltä on saatu. Seuraava vaihe on tuottaa prototyypit sisäistä testausta varten. Tarkoituksena on tehdä laboratoriokokeita hitsien kestävyydelle sekä testata tuotantomenetelmiä koneellisesti. Prototyyppien testauksen jälkeen tarkoitus on tavoittaa ja sopia pilottikohteesta tai kohteista ja kerätä työmaalta palautetta ratkaisun käytettävyydestä ja mahdollisista ongelmista liittyen komponentteihin.

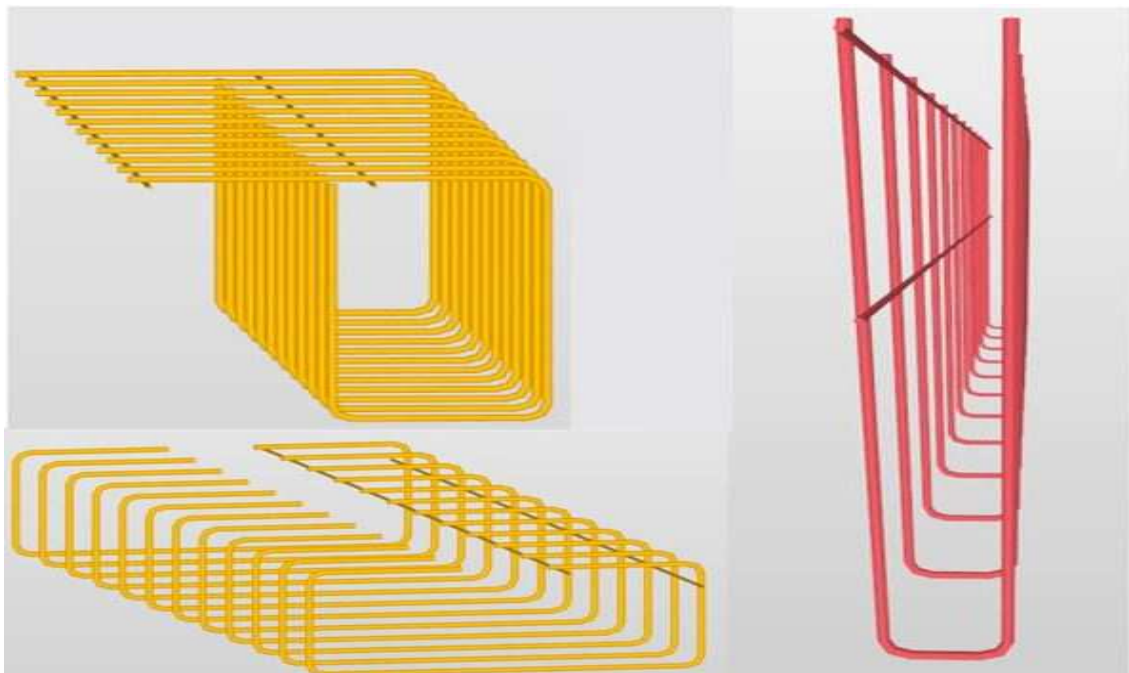


Kuva 36. A-tikapuiden valmistus SWP:nä.

A-tikapuut ratkaisun lisääminen komponenttikatalogiin onnistuu oletettavasti nopealla aikataululla johtuen katalogin valmiista rungosta ja luonteesta, sillä uudet tunnistetut komponentit voidaan lisätä jo tunnistettujen poikkileikkausten välilehdille, jolla vältetään tämän työvaiheen toistoa mahdollisimman paljon. Mikäli ratkaisua voidaan käyttää poikkileikkauksissa, joissa ei ole käytetty B-sohvia, tulee tarpeelliseksi luoda lisää tunnistettuja poikkileikkauksia katalogiin.

#### 4.1.3 D, R, H, YJ ja U-häkit

Kun toivottu kehitystaso saavutetaan kahdessa ensimmäisessä komponentissa, voidaan siirtyä tutkimaan D, R, H, YJ ja U-häkkejä, jotka ovat luonteeltaan osaksi samanlaisia kuin aikaisemmin käsitellyt B-sohvat. Perusidea on hyvin samankaltainen eikä näiden komponenttien kehityksessä tarvitse tehdä mitoitustarkastelua. Oletettavasti näiden kehitystyö etenee huomattavasti nopeammin, sillä samankaltaista tarkastelua on jo suoritettu sekä tarkastelua helpottavia työkaluja on jo luotu.



Kuva 37. Alustavia suunnitelmia uusista komponenteista, vasemmalla ylhäällä YJ-häkki, vasemmalla alhaalla H-häkki ja oikealla D-häkki

## 4.2 Työkalut

Komponenttiprojektin kehitystyössä on luotu useita työkaluja eri alustoille, tärkeimpänä pohjana on ollut Excel. Suurin keskittyminen on ollut komponenttikatalogi Excelissä sekä A-tikapuiden ankkurointikelpoisuuden laskenta Excelissä joka toimii samanaikaisesti potentiaalisten ratkaisujen tarkastelutyökaluna sekä alustavien laskelmien luomistyökaluna.

Aikaisessa vaiheessa projektia kehittyi ajatus tiedonkeruu- ja laskentatyökalujen kehittämisestä monikäyttöisiksi luoden niille huomattavasti pidempää käyttöikää. Periaatteessa työkaluissa on myös haluttu yhdistää käyttöön aktiivinen tiedonkeruu, josta on hyötyä jatkokehitykselle ja erilaisten varastokokojen tunnistamiselle. Tästä johtuen työkalujen kehitystyö on ollut vastaavia yksinkertaisempia työkaluja aikaa vievämpää, mutta panostus varhaisessa vaiheessa nopeuttaa jatkokehitystä myöhemmissä vaiheissa. Työkalut on myös rakennettu muunneltaviksi ja kehitettäviksi jättäen auki erilaisten toimintojen myöhempi lisääminen.

Komponenttiratkaisujen soveltamiseksi kohteissa on käytetty AutoCAD:llä tehtyjä komponentti blokkeja. Tavoitteena on luoda rajapintaa hyväksikäyttäviä työkaluja AutoCAD:iin sekä Teklaan, jonka avulla tiedot voidaan siirtää suoraan QR:ään. Näin pyritään vähentämään manuaalista syöttöä sekä poistamaan mahdolliset syöttö- tai laskuvirheet tuotantoon viennissä.

### 4.2.1 Takaperinlaskenta

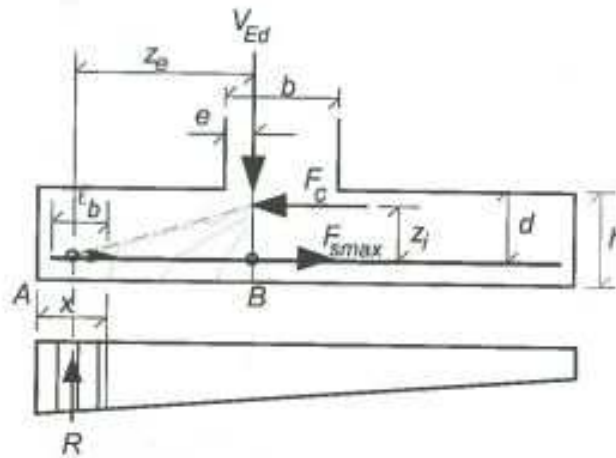
Tarkastelumethodiksi muunnettaville raudoitteille valikoitui takaperinlaskenta, sillä suurimmassa osassa suunnitelmia jotka olivat saatavilla ja tutkittavissa arkistoista ei ollut saatavilla tietoja kuormista. Näitä ei yleensä ole merkitty mitta- tai raudoitussuunnitelmiin. Suunnitelmista on kuitenkin saatavilla paljon tietoja, joiden avulla voidaan rakenteissa vaikuttavia kuormia. Lähtökohtana on luottamus suunnittelijan valmiisiin suunnitelmiin, joissa kuormat on laskettu oikein. Vaikka kuormat valmiissa suunnitelmissa olisi laskettu väärin, sillä ei olisi vaikutusta muunnoksen kannalta, sillä uudella ratkaisulla otetaan kantaa teknisiin ratkaisuihin joiden luonne ei sinällään muutu uudella ratkaisulla.

Idea laskentatyökalun pohjalla on ottaa suunnitelmista tarpeelliset tiedot, jotka suunnittelija on valinnut kohteeseen. Nämä ovat raudoitteiden halkaisijat, jako sekä anturoiden poikkileikkausten geometriset mitat. Nämä ovat kaikki lähtötietoina laskentakaavoissa ja tiedot otetaan suoraan suunnitelmista. Suunnitelmista otetaan tekijöiksi muun muassa rakenteen rasisluokka, valitun betonin tekniset tiedot, valitun teräksen tekniset tiedot sekä suunniteltu käyttöikä.

Työkalu on suunniteltu toimimaan parametrisesti suunnitelmista löytyvien tietojen avulla niin että mitoituksessa tarvittavat kertoimet muuttuvat syötettyjen tietojen mukaan. Tilanteissa joissa tämä ei onnistu suunnitelmista saatavien tietojen avulla on käytetty suurimman kuorman ja huonoimpien olosuhteiden arvoja, jotta laskelmat ovat varmalla puolella. Tämä tarkkuuden taso koettiin riittäväksi, sillä mitoituksen kannalta ainoa vaikuttava tekijä on ankkurointipituus.

Johtuen puuttuvista tiedoista käytettiin maanpaineen arvona suurinta mahdollista kuormaa, pois lukien kallioperusteiset rakennukset, sillä niiden perustukset eivät sovellu kehitettyyn menetelmään muutenkaan. Ensimmäisessä versiossaan tällä laskennalla ei voida suorittaa muuntelua jatkuville paaluanturoille, sillä vaihtoehtoja leikkausraudoitukselle ei ole vielä tutkittu, tästä huolimatta jakoterästys voidaan teoriassa tehdä myös suunnitelluilla elementeillä. Valitsemalla suurin mahdollinen maanpaine anturan pohjan koko anturalle jakautuneeksi kuormaksi saadaan laskettua pistekuorma anturan huulien alapohjiin. Tämän voimaresultantin avulla saadaan sisäisellä momenttivarrella lasketuksi momentti anturan keskilinjalle. Sillä maapohjatiedot ja kuormat eivät välttämättä ole aina raudoitus- ja mittapiirustuksista saatavilla on suurimman mahdollisen kuorman valitseminen aina varmalla puolella.

Jatkuvissa nauha-anturoissa käytettävien tuotteiden kehittämisen kannalta tärkeä tekijä on selvittää voimien jakaantumista anturassa seinältä tuelle. Ristikkomallin voimasauvojen mukainen voimien jakaantuminen anturan geometrian yhteydessä määrittelee leikkausraudoituksen tarvetta anturoissa. Tasaisesti jakaantunut kuorma pohjassa ei tuota lävistysvoimia anturan yläpintaan, joten ristikkotarkastelulla saadut tiedot riittävät tarkastelemaan kyseisiä rakenteita.



Kuva 38. Voimakaavio anturan poikkileikkauksessa [2 s.451]

Anturan geometrian tarkastelusta saadaan selville vaikuttaako anturan reunoilla ulospäin suuntautuvia leikkausvoimia. Tämä tarkastelu perustuu anturan ja geometrisiin tietoihin sekä anturan päällä olevan perusmuurin leveyteen. Mikäli voidaan todeta, ettei reunoille synny ulospäin suuntautuvia leikkausvoimia, voidaan todeta, ettei reunoilla tarvita leikkausraudoitusta, ja täten hakojen nostot toimivat ainoastaan ankkuroivina. Jos pääterästen jako on korkeintaan 150 mm, ei halkeilua tarvitse ottaa huomioon [2 s.450].

Anturan voimien sijoittumisessa ja on käytetty maksimikulmaa leikkausraudoituksen tarpeellisuuden tarkastelussa tutkittaessa anturan reunoille ulottuvaa potentiaalista leikkausvoimaa. Anturan ulokkeen leveyden ollessa suurempi kuin anturan korkeus, voidaan todeta, etteivät seinältä tulevat voimat tuota leikkausvoimia anturan reunoille. Mitan  $a$  tulee olla pienempi kuin anturan ulokkeen leveys.

Maksimi kulmalla voidaan todeta leikkausvoimia syntyvän puristusvoimista maksimissaan samalla etäisyydellä sivulle päin kuin raudoitustasapainon etäisyys anturan yläpinnasta:

$$\tan \delta = \frac{a}{b}, \text{ jos } \delta=45^\circ \rightarrow a = b, \text{ sillä } \tan 45^\circ = 1.$$



Syötettyjen parametrien avulla saatuja tietoja voidaan verrata hitsatun ratkaisun vastaviin parametreihin. Tarkoituksena on käyttää suunnitelmista saatuja tietoja, joiden avulla voidaan laskea takaperin mitoittava vetojännitys tangoissa, laskennan ollessa varmallalla puolella tapauksissa joissa tietoja ei ole mahdollista saada suunnitelmista. Mikäli työmaa valitsee Celsan ratkaisun raudoituksen suorittamiseen, voidaan laskelmat ja laskentaperiaate lähettää suunnittelijalle hyväksyttäväksi. Näihin kuuluu esitys laskennan etenemisestä sekä vertailu alkuperäisen ja uuden ratkaisun ankkuroimisvoimien välillä.

#### 4.2.2 Ankkurointi Excel

Seinäanturat voidaan raudoittaa joko verkolla tai irtotangoilla ja hakasilla, siten että jopa raudoittamattomissa anturoissa tulisi olla 2 D8-12 irtotankoa halkeilun rajoittamiseksi. Tarkastelemalla seinäanturoiden voimajakautumista voidaan tunnistaa anturoita joissa reunoilla ei ole tarvetta leikkausraudoitukselle, josta voidaan päätellä hakasten nostojen olevan paikalla ankkurointipituuden lisäämiseksi. Pyrkimyksemme A-tikapuut komponentin kehityksessä on korvata ankkuroinnissa hakasten nostot hitsatuilla poikkitaangoilla.

A-tikapuiden suunnittelu eroaa muista tunnistetuista ja kehitetyistä komponenteista, sillä kyseessä ei ole vain yhteen hitsattu sarja, vaan komponentissa korvataan hakaset poikkitaangoilla pääteräksillä, joiden päässä on luokkahitsattu poikkitaanko. Elementit voidaan valmistaa niin että niissä on hitsattuna valmiiksi kaikki pää- ja jakoteräkset. Tämä muutos raudoitteen fyysiseen muotoon vaatii hyväksynnän suunnittelijalta.

Jotta suunnittelutyön muutos saataisiin mahdollisimman helpoksi ja nopeaksi rakennettiin A-tikapuiden suunnitteluun parametrinen laskentatyökalu Excelillä, jonka kehittämisessä otettiin huomioon alusta lähtien helppokäyttöisyys. Käyttäjän ei tarvitse kuin syöttää ensimmäisellä sivulla oleviin tietokenttiin suunnitelmista helposti saatavilla olevat tiedot, halutun alueen juoksumetrit sekä yksittäisten komponenttien pituus. Näiden tietojen syötön jälkeen taulukko laskee eurokoodin kaavoihin perustuvat fyysiset tiedot ja esittää kymmenyksiin jaetut tarkastelukohdat ja niissä esiintyvät ankkuroimisvoimat. Samassa taulukossa esitetään saavuttaako hitsatun tangon ankkurointivoima vaaditun tason jokaisessa eri kymmenyksessä. Jotta laskenta olisi varmallalla puolella ei tarkastelu ota huomioon kuin kyseisen kymmenyksen voimat, jättäen huomioimatta edellisen kymmenyksen ylimäärät ankkurointivoimassa. Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei pääterästen

omaa ankkuroimisvoimaa oteta huomioon oman kymmenyksensä ulkopuolella, vaan vertailu tapahtuu ainoastaan omalla kymmenyksellään.

Syötä tiedot nimiöstä:

Betoni (Mpa)	Rasitusluokka	Käyttöikä	Juoksumetrit:
25	XC2	100	200

Hakasten:

PT (mm)	PT k (mm)
Dimensio 12	400 Jako

<u>Anturan korkeus:</u> h (mm)	<u>Pitkittäisteräksen:</u> JT (mm)	
230	12 Dimensio	
<u>Hakasen nosto:</u> h <sub>raud</sub>	<u>JT k (mm)</u>	
130	300 Jako	

<u>Anturan leveys:</u> b (mm)	<u>Seinän leveys:</u> b <sub>seinä</sub> (mm)	<u>Hakasen leveys:</u> b <sub>raud</sub>
1500	200	1400

Kuva 39. Ankkurointi Excelin syöttöosio

Taulukon ensimmäisellä välilehdellä ei esitetä muuta kuin tarvittavien tietojen syöttökentät, kymmenystaulukko sekä ehdotetun komponentin tiedot. Kaikki mitoituslaskenta tapahtuu lukitulla välilehdellä. Tähän ratkaisuun päädyttiin virheiden mahdollisuuden minimoimiseksi, sillä laskennassa olevat tiedot perustuvat syöttökenttien tietoihin sekä parametriin tai vakiokertoimiin. Ratkaisuun piilottaa laskenta sekä kertoimet toiselle lehdelle käyttövälilehden yksinkertaistamiseksi päädyttiin käytön nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi.

PT (mm)	PT A <sub>y</sub> (mm)	PT A <sub>y</sub> /l <sub>m</sub>	f <sub>ctd</sub> (Mpa)	f <sub>ctk,005</sub> (Mpa)	f <sub>ctm</sub> (Mpa)	f <sub>ck</sub> (Mpa)	f <sub>yk</sub> (Mpa)	f <sub>yd</sub> (Mpa)	f <sub>kd</sub>	η <sub>1</sub>	η <sub>2</sub>	σ <sub>kat</sub> /k <sub>ranka</sub>	σ <sub>kat</sub> /l <sub>m</sub>	f <sub>ctd,pl</sub> (Mpa)	
12	113,04	282,6	1,197	1,8	2,6	25	500	435	2,6932		1	1	187,63	656,69	0,7182
JT (mm)	JT A <sub>y</sub> (mm)	JT A <sub>y</sub> /l <sub>m</sub> (mm)											FL30 c <sub>hlt</sub>	FL20 c <sub>hlt</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )
12	113,04	565,2											239,25	152,25	
PT k (mm)	PT kpl (/l <sub>m</sub> )	PT kpl tot	PT A <sub>y</sub> /l <sub>m</sub>	PT A <sub>y,min</sub> (mm <sup>2</sup> )	a	c <sub>1</sub>	c	c <sub>4</sub>	λ	K		M <sub>max</sub> (Nmm/m)	l		
400	3,5	4	395,64	74,632		400	30	50	30	4,4631	0,05	8E+07	750		
JT k (mm)	JT kpl	JT kpl tot	JT A <sub>y</sub> /l <sub>m</sub>	JT A <sub>y,min</sub> (mm <sup>2</sup> )	JT A <sub>y,pl</sub> (mm <sup>2</sup> )							F <sub>z</sub> (N/m)	F <sub>z</sub> (N/kpl)		
300	5,6667	6	678,24	136,05	640,56							538793	153941		
PT nosto (mm)	L <sub>kd</sub> (mm)	L <sub>kd,pl</sub> (mm)													
130	209	1517													
Betoni (Mpa)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>										
25	1	0,775	0,777	0,7	1										
Rasitusluokka			A <sub>y2</sub> (mm <sup>2</sup> )												
XC2			0												
Käyttöikä															
100															
b (mm)	b <sub>reinjä</sub>			Massat:	Hakaset	Pitkittäiset						Laskenta Hakaset	Laskenta Pitkittäiset		
1500	200		T6	0,222	0	0						4,157	6,66		
h (mm)															
230			T8	0,395	0	0						7,3964	11,85		
b <sub>raud</sub>															
1400			T10	0,617	0	0						11,553	18,51		
h <sub>raud</sub>															
130			T12	0,888	16,628	26,64						16,628	26,64		
	Vertailu haka		KPL		Hakaset	Pitkittäiset						Laskenta Hakaset	Laskenta Pitkittäiset		
	1660		500		0	0						184,26	266,4		
	Vertailu pitkittäis		KPL												
			240		0	0						327,85	474		
			240		0	0						512,11	740,4		
			240		737,04	1065,6						737,04	1065,6		
			Jatkokset:			Massa:									
			KPL esi		KPL Toteutunut										
			T6	240	0	0									
			T8	240	0	0									
			T10	240	0	0									
			T12	240	240	306,89									

Kuva 40. Otos laskentataulukosta Ankkurointi Excelissä

Ehdotettu komponentti esitetään esimerkikivana komponentista sekä lyhyiden tekstikenttien selittäminä numeerisina tietoina. Näiden tietojen pohjalta voidaan vaadittu komponentti suunnitella kustomoituna elementtinä QR-järjestelmässä tai mahdollisesti valita varastomitan komponentti joka sopii tilanteeseen. Esitetyistä tiedoista nähdään tarvittujen komponenttien määrä ylöspäin pyöristettynä. Pyöristyksen ollessa tarpeellinen mainitaan myös erikseen tarkka määrä, jotta työmaan kanssa voidaan sopia haluttu ratkaisumalli. Joissain tapauksissa voidaan ylijäävät komponentin osat käyttää toisella loholla tai osalla samaa kohdetta, jolloin komponentit toimitetaan kokonaisina ja katkaistaan työmaalla. Jos näin ei voida toimia voidaan työmaan kanssa sopia esimerkiksi vajaiden osioiden raudoittaminen muilla keinoin.

Komponentin esittelylehti näyttää myös vaaditun vähimmäishitsausluokan, jonka avulla voidaan valita haluttu hitsausluokka elementille. Suosituksena on käyttää pienintä vaadittua hitsausluokkaa, sillä korkeampi luokka on tarpeeton. Tämä tieto perustuu eri hitsausluokkien vaikutukseen ankkurointivoimalle. Korkeammassa hitsausluokassa saavutetaan 55% ja alemmassa 30% teräksen myötölujuudesta. Käytännössä käytetään aina alempaa hitsausluokkaa, mikäli luokkaa ei ole erikseen suunnitelmissa mainittu, ja sillä saavutetaan vaadittu ankkuroimisvoima.

Laskentataulukko esittää näiden samojen tietojen yhteydessä elementtien teoreettisen painon, joka perustuu teräsmääriin ja tankojen keskimääräiseen halkaisijaan perustuvaan metripainoon. Tätä tietoa verrataan irtohakoina ja tankoina asennettujen raudoitteiden teoreettiseen painoon, jossa ei ole otettu huomioon painon vähennystä taivutuksista syntyvän leikkuupituuden lyhentymisen johdosta. Leikkuupituuden lyhennykset taivutuksista ovat kuitenkin niin pieniä, että esitetyt arvot poikkeavat todellisesta korkeintaan muutaman prosentin todelliseen hakasten yksikköpainoon verrattuna. Testatessa erilaisia mahdollisia tapauksia perustuen joko olemassa oleviin suunnitelmiin tai satunnaisiin parametreihin todettiin raudoituksen kokonaispainon vähentyvän, ainoana poikkeuksena olivat erittäin lyhyet komponentit, joissa jatkostangoista syntyvä lisäpaino ylitti perinteiset ratkaisut. Tämä ei kuitenkaan ole realistinen tilanne, sillä perinteisen ratkaisun kokonaispainoa laskiessa ei ole otettu huomioon jatkospituuksia eikä äärimmäisen lyhyiden komponenttien käyttö ole muutenkaan kovinkaan tarkoituksenmukaista, sillä se taistelee ratkaisun alkuperäistä tavoitetta vastaan.

Komponentin ehdotuksessa on myös otettu huomioon tarvittavien jatkostankojen määrä, perustuen yhteen jatkostanko sarjaan per käytetty elementti. Jatkostankojen määrä perustuu yksinkertaiseen  $(n-1) \times Y = z$  kaavaan, jossa  $n$  on komponenttien kappalemäärä,  $Y$  on jakoterästen määrä ja  $z$  on tarvittujen jatkosten määrä. Oletusarvoisena jatkospituutena on käytetty  $60xD$  arvoa, joka jatkoksena on varmallalla puolella. Todellinen jatkos voidaan valita suunnittelijoiden usein käyttämällä  $50xD$  kaavalla halutessa, mutta varmuuden vuoksi massavertailuun on käytetty varmanpäällä olevaa pituutta, sillä se antaa enemmän pelivaraa asennuksissa.

Saavutettujen tulosten avulla joko Celsan myyjä tai hanketta hoitava projekti-insinööri voi ehdottaa ratkaisua asiakkaalle kokiessaan sen hyväksi vaihtoehdoksi perinteiselle ratkaisulle. Hyötynä työkalun käytöstä on kohtuullisessa virhemarginaalissa olevat teoreettiset arviot toteutuneesta kappalemäärästä sekä toimitetun teräksen painosta. Tämä

on tärkeää, sillä raudotteiden hinta määrittyy toimitetun painon mukaan. Saadut tiedot ovat myös hyödyksi varsinaisen tuotannon suunnittelussa, sillä ne on esitelty muodossa, jossa niiden pohjalta tuotantotietojen syöttäminen tuotannosuunnittelu ohjelmaan on vaivatonta, ja niitä voidaan mahdollisesti käyttää sellaisenaan.

		Tikapuu:	KPL:	40		
		Pitkittäistangot:				
	L (mm)	KPL	Jako (mm)	Dimensio		
	5000	6	300	12		
Hitsausluokka					Paino (KG)	
Ei Hitsattavissa					43 (Suuntaa antava)	
					Yht:	
					2038 (Suuntaa antava)	
		Hakaset:				
	L(mm)	Kpl	Jako (mm)	Dimensio	Erutus:	
	1400	13	400	12	235	

Kuva 41. Komponentti ehdotus

#### 4.3 Ratkaisun rajoitteet ja käyttömahdollisuudet

Tutkimustyön tuloksena kehitetyillä tuotteilla on jokaisella omia tuotekohtaisia rajoituksia, johtuen esimerkiksi työterästen tai toiminnallisten terästen sijainnista kokoonpanossa. Erilaisia tuotantoratkaisuja on yritetty kehittää kattamaan mahdollisimman monta erilaista asennustapaa näiden rajoitteiden vaikutusten minimoimiseksi. Erilaisten tuotantomenetelmien rajoitukset on pyritty ottamaan huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa sekä kehittämään vaihtoehtoisia tuotantotapoja joilla voidaan kattaa rajoitteiden ulkopuolelle rajaamia tuotteita.

Tuotantomenetelmistä koneellinen hitsaus asettaa rajoitteita tuotteen materiaalin halkaisijalle. Tuotantoteknisesti ei useimmissa tapauksissa ole järkevää tuottaa yli D12 mm verkkoja. D12 mm ja ohuemat tangot voidaan syöttää hitsauslaitteistoon suoraan kiepiltä joka vähentää manuaalisen työn määrää, tästä suuremman halkaisija tangot toimitetaan Pälkänneen verkkotehtaalle irtotankoina, joten verkon tuottaminen näillä vaatii tankojen manuaalista siirtoa tuotantolaitteistoon. Tapauskohtaisesti arvioidaan voiko paksumman halkaisija raudotteita suorittaa ohuemmilla tangoilla tiheämmällä jaolla. Tällä ratkaisulla saattaa olla hyödyllisiä vaikutuksia tankojen ankkuroimisvoimista johtuviin tankoa pitkin tapahtuviin halkeiluihin, eikä tihennetty jako aiheuta lisätöitä työmaalla

tankojen ollessa jo valmiiksi hitsattuna kokoonpanona. Komponenttien suunnittelutyökaluihin on sisällytetty raudoitepinta-aloja vertaileva taulukko, joka analysoi eri halkaisijoilla ja jaoilla suoritettujen ratkaisujen yhteensopivuuksia. Näissä tapauksissa tulee uutta ratkaisua ehdottaa suunnittelijalle joka voi tehdä lopullisen päätöksen uuden ratkaisun kelpoisuudesta.

	8	10	12	16	20
	50,24	78,50	113,04	200,96	314
cc 100(mm)	502,4	785	1130,4	2009,6	3140
cc 150 (mm)	334,93	523,33	753,60	1339,73	2093,33
cc 200 (mm)	251,20	392,50	565,20	1004,80	1570,00
cc 250 (mm)	200,96	314,00	452,16	803,84	1256
cc300(mm)	167,4667	261,67	376,8	669,8667	1046,667

Kuva 42. Vertailutaulukko poikkileikkauksen raudoitepinta-alasta

Rajoituksia liittyen tapauskohtaisesti erilaisiin kohteisiin voidaan ajatella olevan komponenttien yksikköpainot. Työmailla joilla ei ole mahdollisuutta usein tapahtuviin siirtoihin ja asennuksiin nosturiavusteisesti tulee komponenttien painon olla tarpeeksi matala, jotta ne ovat 2-3 työmiehen siirrettävissä. Komponenttien suunnittelutyökalut ilmoittavat suunnitellun komponentin yksikköpainon ja kertovat teoreettisen arvion manuaalisissa siirroissa tarvittavasta työvoimasta per komponentti. Rajaksi on asetettu 25 kg per työntekijä. Komponentteja suunniteltaessa konsultoidaan työmaata mahdollisen siirtokaluston määrästä sekä laadusta ja otetaan huomioon työmaan toiveet komponenttien koon suhteen.

Komponenttien järkevä ja taloudellinen tuotanto edellyttää kohtalaisen pitkiä sarjoja ja toistuvuutta, näin ollen pieniä kokoonpanoja ei tässä vaiheessa tutkimusta ole vielä otettu harkinnan alle. Usein nämä ovat myös hyvin erilaisia tosistaan eikä niissä esiinny toistuvuutta projektien välillä. Komponenttien järkevä tuottaminen ja suunnittelu edellyttävät toistuvia rakenteita, joissa raudoitus on suoritettu mahdollisimman yhtenäisellä tavalla.

Lopullisesti ei tule kuitenkaan rajata ulos tulevia käyttömahdollisuuksia tai komponenttisointi kohteita, sillä tuotantotekniikat ja laitteisto kehittyvät ajan myötä ja luovat näin uusia tuotantomahdollisuuksia koneellisesti tuotetuille komponenteille.

## 5 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Tässä osiossa käsitellään opinnäytetyötä kokonaisuutena, tarkastellaan saavutettuja tuloksia sekä hahmotellaan tulevaisuuden näkymiä tutkimuksen kannalta. Tutkimus ja kehitys jatkuvat opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Työssä esitetyt kehitetyt työkalut, tuotteet ja ratkaisut saattavat muuttua tutkimuksen edetessä ja ratkaisujen käyttöönoton jälkeen saadun palautteen perusteella. Kehitystyölle ei ole asetettu tarkkaa takarajaa, vaikka erilaisia välitavoitteita on asetettu. Tapaamiset kansainvälisen kehitystiimin välillä jatkuvat.

Kehitysprojektin alussa asetettiin tiettyjä tavoitteita työlle ja sen tuloksille. Näitä tavoitteita tarkennettiin projektin edetessä kuvastamaan paremmin priorisoituja keskittymiskohteita kehitysprojektissa. Nämä tavoitteet saavutettiin työssä.

### 5.1 Valittu tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen suorittamiseksi ei valikoitunut yhtä tarkkaa tutkimusmenetelmää vaan tutkimus on edennyt yhdistellen piirteitä niin laadullisesta kuin määrällisestäkin tutkimuksesta. Todennäköisesti olisi ollut helpompi keskittyä vain tiettyyn tutkimusmenetelmään, jolla olisi voitu välttyä tutkimuksen ajoittaisesta hajanaisesta luonteesta. Tutkimuksen luonne kehittämisprojektina on vaatinut laaja-alaista tarkastelua monelta eri kantilta ja usealla eri lähestymistavalla. Tuotteiden tunnistuksen jälkeen suoritettu teorian tutkiminen on vaatinut laajan aineiston ja asiantuntijatiedon läpikäymistä. Tutkimuksen kansainvälinen luonne on myös luonut tilanteita joissa tarkastelua lähdeteksteille ei ole ollut mahdollista suorittaa johtuen esimerkiksi kielimuurista. Näissä tapauksissa on luotettu kollegoiden asiantuntemukseen ja saavutettujen tulosten pätevyteen.

Opinnäytetyön luonteeksi valikoitui raportointi tehdystä tutkimuksesta, sillä tutkimuksen kokonaisvaltainen käsittely ja analysointi alusta loppuun olisi tutkimuksen jatkuvan luonteen ja laajuuden takia epäkäytännöllistä ja äärimmäisen haastavaa rajata. Opinnäytetyössä keskityttiin analysoimaan ja esittämään alkuasetelmaa, syytä tutkimukselle sekä raportoimaan opinnäytetyön tekovaiheessa saavutetut tulokset.

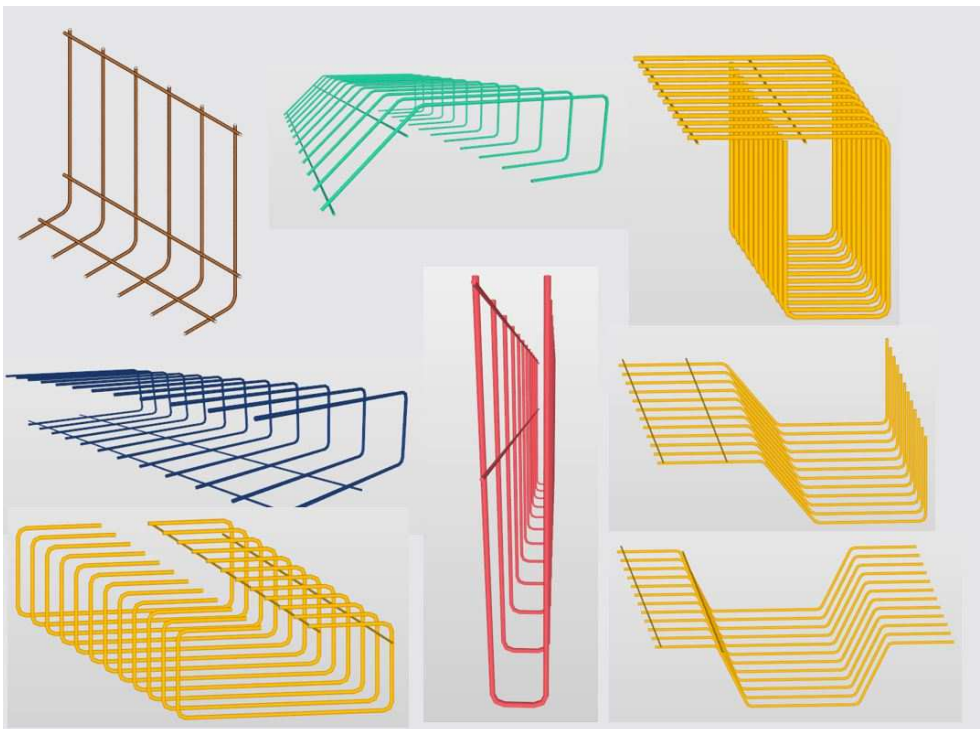


Opinnäytetyön tekeminen raporttina on edistänyt tutkimusta omalta osaltaan, sillä tulosten analysointi on tuonut esiin huomioon otettavia asioita sekä kehittänyt tutkimusta ja kartoittanut sen jatkokehitysmahdollisuuksia. Työn raportointiluonne loi opinnäytetyön teon yhteydessä ikään kuin kaksinaisroolin, jossa toimin samanaikaisesti tutkimuksen tekijänä sekä ulkopuolisena tarkkailijana ja mahdollisesti kehitettyjen ratkaisujen kriittisen tarkastelun.

Materiaalia opinnäytetyön tekemiselle on kuluneen vuoden aikana kertynyt niin paljon, että yhtenä suurimmista haasteista oli tehdä päätöksiä mitä rajata työn ulkopuolelle. Pohdinnan jälkeen päädyttiin esittämään tässä työssä esiintyvät tutkimustulokset sekä esitteleään tutkimuksen perusidea mahdollisimman selkeästi.

## 5.2 Tunnistettujen komponenttien käyttömahdollisuudet

Opinnäytetyön valmistumisvaiheessa on tunnistettu alustavasti n. 10 erilaista mahdollista komponenttia, näistä kahden osalta on suoritettu syvällisempää tutkimusta ja kaksi on jo käytössä. Pilottivaiheeseen siirtyvien komponenttien jälkeen aloitetaan tutkinta muihin tunnistettuihin potentiaalsiin komponentteihin.



Kuva 43. Potentiaalisia komponentteja, Celsan oma aineisto

Tutkimuksessa kehitetyt työkalut on rakennettu helposti muunneltaviksi käytettäväksi uusien komponenttimallien kanssa, joten niiden käyttöönotto on todennäköisesti nopeampaa kuin tällä hetkellä tutkittavien. Raudoituksen suorittamista erilaisilla komponentti yhdistelmillä tutkitaan, jotta saataisiin katettua vieläkin suurempi määrä raudoituksesta tutkituilla menetelmillä.

Tunnistetuilla komponenteilla voidaan tällä hetkellä pääosin suorittaa anturoiden raudoitusta sekä erilaisten rakenneosien liittymistä toisiinsa. Mahdollisuuksia esimerkiksi palkkien tai pilareiden raudoittamiseen komponenteilla tullaan tutkimaan lähitulevaisuudessa.

### 5.3 Saavutetut hyödyt

Suurimmat konkreettiset hyödyt suoritetusta kehitystyöstä ovat olleet tutkimusmenetelmien yhtenäistäminen sekä jatkosuunnittelussa käytettävät työkalut. Johtuen päätöksestä rakentaa tutkimustyökalut soveltuvaksi niin suunnittelu, kehitys kuin myyntityöllekin taataan niiden hyödyllisyys yritykselle laaja-alaisesti. Rakennettujen työkalujen pohjalta on myös helppo rakentaa materiaalia markkinointiin, joka helpottaa uusien tuotteiden käyttöönottoa työmailla ja toimii perusteluna ratkaisun soveltuvuudesta.

Kehitystyön tekeminen on myöskin tuonut esiin ja avannut eroja käytännöissä ja toimintamalleissa pohjoismaisella tasolla joka voi hyödyttää uusien kansainvälisten tutkimusten tekoa jatkossa. Tutkimukseen liittyen on luotu yhteisiä työtiloja, joissa työskentely on avointa muiden maiden edustajille. Näiden työtilojen kautta on helpotettu muiden maiden ratkaisujen ja käytäntöjen tutkintaa ja niillä voidaankin välttää saman asian tutkimista useaan eri kertaan. Saavutetut tulokset ja työkalut on luotu käytettäväksi ja hyödynnettäväksi kansainvälisesti. Tutkimuksen ohessa on myös kehitetty kansainvälisen yhteistyön tekemisessä, joka palvelee yritystä tulevaisuudessa yhtenäistämällä toimintamalleja ja tuomalla yrityksen resursseja käytettäväksi laajemmin.

#### 5.4 Lisätarkastelut

Komponentit jotka ovat olleet suurimman keskittymisen kohteena alkavat olla kehityksessään vaiheessa joka ei enää tarvitse ainakaan suuria mainittavia lisätarkasteluja varsinaisen ratkaisun kannalta. Keskittyminen voidaan siirtää tuotteiden tuottamisen malleihin ja tarkasteluihin sekä kustannustehokkuuteen. Seuraavat tarkastelut tullaan tekemään tuotantoaikojen ja kustannusten suhteen sekä keräämällä pilottikohteista asennusteknisiä tietoja työmaapalautteen avulla.

B-tyyppien komponenttien teknistä lisätarkastelua tullaan tekemään esimerkiksi hitsattujen poikkitankojen antaman lisäänkuroimisvoiman vaikutuksen suhteen raudoitteen vaaditulle pituudelle rakenteessa. Tarkoitus on laskea, onko mahdollista lyhentää suunnitelmassa annettuja jatkospituuksia ja osamittoja, johtuen vieretysten hitsattujen tankojen antamasta lisä ankkuroimisvoimasta. Tämä tarkastelu on tärkeää mahdollisten varastotuotteiden kehittämisen kannalta, sillä se saattaa vaikuttaa niiden kattavuuteen lyhentämällä vaadittuja osamittoja. Näin on mahdollista päästä jopa ratkaisuihin joissa komponentit vähentävät vaadittua teräsmäärää aikasäästön lisäksi. Tarkasteluun on tarkoitus myös ottaa huomioon työterästen käyttö asennuksissa jota ei ole tällä hetkellä sisällytetty laskentaan. Näin saadaan todellisuutta vastaavampia massa vertailuja eri ratkaisujen välillä.

Ruotsissa on jo tällä hetkellä käytössä menetelmiä, joilla suoritetaan raudoitusta hitsatuilla elementeillä, joita muokataan työmaalla soveltumaan kohteisiin, joissa esimerkiksi verkkojen asennus aiheuttaa vaatimuksia asennukselle. Näissä tapauksissa toimitetut tuotteet muokataan asennuksen jälkeen yhtenä työvaiheena soveltumaan tapauskohtaisesti esimerkiksi taivuttamalla tankosarjoja verkkojen väliin verkkojen asennuksen välissä. Tämä ratkaisu otetaan tutkinnan alaiseksi myös mahdollisesti yhtenä vaihtoehtona Suomessa suoritettaviin raudoituksiin.

Anturoiden voimajakaumia tutkitaan vielä tarkemmin, jotta saavutetaan varmuus ratkaisun kelpoisuudesta. Tämän hetkinen tutkimus on asettanut tuonut esille alustavia tuloksia mallin toimivuudesta, mutta esimerkiksi ratkaisun toimivuutta jatkuvissa paaluanturoissa ei ole tutkittu tarpeeksi. Tähän liittyen tulee tarkastella leikkausraudoituksen tarpeellisuutta ja kehittää mahdollinen yhtenäinen ratkaisu joka voidaan suorittaa komponenteilla. Erilaisia vaihtoehtoja on jo pohdittu mutta tarkempaa tutkimustyötä niiden parissa ei ole vielä aloitettu ja ne ovat täysin teorian tasolla.

Tuotteiden siirtyessä työmaakäyttöön tullaan työmailta keräämään palautetta jatkokehityksen kannalta. Tämän tiedon pohjalta ratkaisua tarvittaessa muokataan toimivammaksi ja sopivammaksi laajempaan käyttöön.

### 5.5 Pilottihankkeet

Tuotteiden kehitys ei ollut opinnäytetyön tekovaiheessa edennyt vielä pilottihanke tasolle johtuen ratkaisujen vaatimasta syvällisestä tarkastelusta. Tuotteet ovat prototyyppi vaiheessa ja seuraavaksi päästäänkin tutkimaan erilaisten tuotantomethodien soveltuvuutta ja hyötyjä ja haittoja.

Tarkoituksena on kohdentaa lähitulevaisuudessa pilottihankkeita, joissa tuotteiden asennusta päästään tarkkailemaan ja mittaamaan esimerkiksi asennusnopeuksia, sekä ääri-asentojen määrää asennuksen yhteydessä. Näistä pilottihankkeista on tarkoitus saada kerättyä myös palautetta työmailta.

Todennäköisimmät pilottihankkeet tulevat olemaan asuinkerrostalo työmaita, keskittyen perustuksien raudoittamiseen. Näiden hankkeiden avulla voidaan myös tutkia järkeviä toimituskiertoja ja aikatauluja.

### 5.6 Työmaamittaukset

Ruotsissa on suoritettu alustavia mittauksia perinteisin menetelmin suoritetuista raudoituksista sekä niiden kuormien purkuajoista. Nämä mittaukset ovat kuitenkin keskeneräisiä eikä niiden tulkinta ole tässä vaiheessa vielä ajankohtaista. Purkuaikojen tarkastelu on oleellista työmaan ajankäytön kannalta liittyen esimerkiksi nostokaluston rajallisista käyttöajoista. Mikäli purku voidaan suorittaa nopeammin komponenteilla, vapautuu nostokalusto muuhun toimintaan työmaalla aikaisemmin, joka nopeuttaa toimintaa työmaalla.

Suomessa on tarkoitus mitata ja tarkastella pilottihankkeiden yhteydessä kuormien purkuaikoja, komponenttien asennusaikoja sekä työergonomiaa asennuksissa. Asennusaikojen tarkastelua tullaan suorittamaan tarpeeksi kattavasti, että voidaan arvioida teoreettinen asennusaika komponenteille, jota voidaan verrata perinteiseen irtoteräs raudoitukseen. Tässä tarkastelussa tullaan ottamaan huomioon asennettujen komponenttien massa ja suoritettut juoksumetrit, jotta saadaan vertailukelpoisia tuloksia.



Kuva 44. Ääriasento asennuksen yhteydessä [12]

## 5.7 Kustannustehokkuusmittaukset

Kustannustehokkuusmittaukset tullaan suorittamaan Celsa Steel Servicen tuotantolaitoksilla pilottihankkeiden käynnistyessä. Näissä tullaan ottamaan huomioon tuotantot sarjoissa, kulunut aika, materiaalin hinta sekä vaaditut työtunnit. Näin pyritään saamaan vertailukelpoista tietoa tuotteiden lopulliseen valmistuskustannukseen, joka on vertailukelpoista perinteiseen leikattuun ja taivutettuun raudoitteeseen. Huomioon pyritään ottamaan myös mahdolliset varastokokoina tuotetut aihiot, joita voidaan valmistaa tuotantokapasiteetin ollessa korkealla suhteessa kysyntään. Näin voidaan välttää esimerkiksi

Suomessa perinteisesti hiljaisempien talvikuukausien tuotantovajetta sekä lyhentää toimitusaikoja kiireisimpinä aikoina.

## 5.8 Tulevaisuudennäkymät/jatko

Tutkimus tulee jatkumaan uusien tuotteiden tarkastelulla nykyisten tuotteiden siirtyessä pilottivaiheeseen. Tavoitteena on tunnistaa mahdollisimman kattavat varastokoot aihioille rajoittaen niiden käyttöä erilaisin tekijöin, kuten ylimääräisen teräksen määrä prosentuaalisesti sekä erilaisilla tankojen halkaisija ja jako suhteilla joilla saavutetaan vaa-dittu raudoituspinta-ala poikkileikkaukselle. Työkalujen siirryttyä sisäiseen tarkasteluun voidaan aloittaa palautteen avulla markkinointimateriaalin ja tietopakettien luominen mahdollisimman helposti käyttöön otettaviksi niin insinööreille kuin myynnin edustajillekin.

Seuraava suuri askel tuotteiden tuotannon aloittamisen ja tuotannon kustannustehokkuuden mittausten jälkeen on aloittaa komponenttikirjaston luominen Teklaan ja AutoCAD:iin. Tavoitteena on luoda tietomallien suunnittelussa helposti käytettäviä valmiita komponentteja varastoaihioilla suoritettuina. Kokisin tietomalleissa olevien komponenttien kehittämisen olevan oleellista muuntosuunnittelu ratkaisun tuotteista, sillä niitä on jo tuotettu ja otettu käyttöön usealla työmaalla kuluneiden kahden vuoden aikana. Näiden käytöstä meillä on konkreettista palautetta työmailta ja erilaisia huomioon otettavia tekijöitä on jo tunnistettu. Näille komponenteille on tarkoitus luoda suunnittelua helpottava dokumentti, joka voidaan ottaa aloituskokoukseen mukaan työmaalle. Tämän dokumentin avulla pyritään sopimaan yhdessä erinäisiä kriittisiä asioita toteutuksen kannalta, kuten tukipukkien korkeus ja asennetaanko reunahakakorit verkkojen väliin. Tätä ratkaisua tukee myös tavoite luoda tietomalleihin mahdollisuus suunnitella raudoitus suoritettavaksi Bantec-mattoraudoiteilla, joita usein käytetään holvien alapinnan raudoitukseen muuntosuunnittelukohteissa.

Tapauksissa joissa ei voida käyttää varastokokoisia aihioita voidaan suorittaa komponenttien suunnittelu parametrisillä komponenteilla jotka seuraavat samaa tuotantomallia ja periaatetta varastokokoisten aihoiden kanssa. Näin luodaan toistuvuutta ratkaisujen tuotantoon joka nopeuttaa ja helpottaa sisäistä tuotantoa määrittelemällä kokoonpanomallit ja tuotantotavat kokoonpanoille.

Eurocode 2:sen mukainen tarkastelu mahdollisesta ankkuroimispiteuden vähennyksestä poikkitangoin hitsatuille komponenteille tullaan tarkastelemaan lähitulevaisuudessa jotta voidaan tarkastella potentiaalinen kattavuus raudoitekomponenteille joiden osamitat ovat suunnitelmissa olevia irtoraudoitteita pienemmät. Tarkastelussa tulee ottaa huomioon kattavuuden lisääntyessä ainoastaan ankkuroinnin suhteen, ottamatta kantaa mahdollisten leikkausvoimista tai momentista johtuviin tekijöihin ja rajoitteisiin. Tämän lisäksi kokisin oleelliseksi tarkastella mahdollisuutta suorittaa suunniteltuja raudoituksia pienemmän halkaisija tangoilla tiheämmällä jaolla. Näissä tapauksissa päästäisiin ainakin ankkuroimisvoimista johtuvien tangon suuntaisten halkeamin suhteen toivotumpaan tilanteeseen, sillä halkaisijaltaan ohuemat tangot aiheuttavat kyseisiä voimia vähemmän kuin paksumman halkaisijan tangot.

Mitoitukseen kantaa ottavat ratkaisut tullaan mahdollisesti käymään läpi alan asiantuntijoiden kanssa sekä suunnittelutoimistojen edustajien kanssa. Näin voidaan varmistaa ratkaisun käyttökelpoisuus ja laskennan oikeellisuus. Tällaisella tarkastelulla on myös mahdollista selvittää oman tarkastelun puutteellisuus ja lisätarkastelun tarve laskelmille.

Tutkimukselle ei ole asetettu takarajaa, mutta ensimmäisten pilottikohteiden ja ratkaisujen laajemman käyttöönoton jälkeen on erittäin todennäköistä käytettyjen työtuntiresursien laskevan. Käyttöönoton alkaessa keskittyminen tulee todennäköisesti olemaan enemmän tuotteiden käytön ja tuotannon mittauksissa sekä käytön jälkeisen ulkoisen ja sisäisen palautteen läpi käynnissä ja mahdollisten korjausten ja muutosten kehittämisessä. Ennen tähän vaiheeseen siirtymistä tulee suunnittelua ja markkinointia helpottavien työkalujen työkieli kääntää maakohtaseksi helpottamaan niiden käyttöönottoa. Työkielenä on tällä hetkellä pohjoismaisella tasolla englanti.

Tarkoituksena on myös yrittää saada lisättyä Norjan ja Tanskan osanottoa kehitysprojektissa esittelemällä kyseisten maiden edustajille saavutettuja tuloksia sekä keräämällä heiltä palautetta ratkaisun sopivuudesta heidän markkinoillensa sekä mahdollisia kehitysideoita joiden avulla tuotteet saadaan tuotua myös osaksi heidän tuotantoon. Todennäköisesti suurempia muutoksia ei tulla tarvitsemaan, sillä laskelmien ja mitoituksen pohjana on käytetty mahdollisimman paljon Eurocoden säädöksiä, jotka ovat yleispäteviä eurooppalaisella tasolla.

Rajapintoja Celsan oman tuotannonohjaus ohjelmistojen ja AutoCAD:in tai Teklan välillä tutkitaan helpottamaan tuotantoon siirron määrälaskentaa. Pyrkimyksenä on vähentää manuaalista tiedonsiirtoa suunnitteluohjelmistoista tuotannonsuunnittelu ohjelmistoon.

#### 5.8.1 Nordic Task Team

Osiossa käsiteltiin tarkemmin kehitysprojektia tehnyttä työryhmää, sen tavoitteita tulevaisuudessa ja toimintamallia. Kappale tilaajayrityksen pyynnöstä salainen.



## Lähteet

- 1 Suomen Betoniyhdistys ry, *Betonitekniikan oppikirja 2018 BY 201* Grano Oy, Vaasa 2018.
- 2 Suomen Betoniyhdistys ry, *Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008.BY 210* Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 2008.
- 3 Asiantuntijahaastattelut DI Casper Ålander (haastattelut suoritettu 2018-2019).
- 4 Antti Kammonen, *Betoniraidoiteiden muuntosuunnittelun hyödyntäminen ja vaikiinnuttaminen asuinrakennustuotannossa*, opinnäytetyö Metropolia 23.4.2017.
- 5 Suomen Betoniyhdistys *Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2018 – osa 1 BY 211* Multiprint Oy, Vantaa 2013
- 6 Rakennustuoteteollisuus RTT ry, *SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Suomen Standardisoimisliitto SFS, vahvistettu 2005-05-30
- 7 Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry, *SFS 1300 Betoniteräkset. Hitsattavien betoniterästen ja betoniteräsverkkojen vähimmäisvaatimukset*. Suomen Standardisoimisliitto SFS, vahvistettu 2014-11-10
- 8 Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry, *SFS 1267 Betoniraidoitteet. Teräsbetonirakenteissa käytettävät raidoitteet*. Suomen Standardisoimisliitto SFS, vahvistettu 2008-09-08
- 9 Suomen Betoniyhdistys r.y. *Betonirakenteiden yksityiskohtien ja raudoituksen suunnitteluohjeet 1988 2, Perustukset* Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 1988
- 10 Celsa Steel Service AB:n suorittama asennustesti: [https://www.youtube.com/watch?v=NP\\_Ek\\_f9b\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=NP_Ek_f9b_k)
- 11 Rakennustuoteteollisuus RTT ry, *Leaflet\_1\_Eurokoodimitoituksen:perusteet* versio 3.3.2009
- 12 Rakentaja.fi nettisivut: <https://www.rakentaja.fi> luettu 20.3.2019
- 13 Celsa Steelservicen verkkosivut: <https://celsa-steelservice.fi> luettu: 2019

Taivutustyyppi luettelo

Tilastotiedot		Tilastotiedot		Tilastotiedot		Tilastotiedot					
MITTAUSPERIATE	25.1.2019	25.1.2019	25.1.2019	25.1.2019	25.1.2019	25.1.2019	25.1.2019				
<p>Tilastotiedot: mitattujen taivutustyyppien luettelo.</p> <p>50° &lt; α &lt; 130°</p> <p>0° &lt; α &lt; 90°</p> <p>0° &lt; α &lt; 90°</p> <p>0° &lt; α &lt; 90°</p>				<p>PROJEKTIN NIMI: Betoniterästen taivutustyyppit 2000</p> <p>Asfaltti</p>							
A		B		C		D		E		F	
G		H		J		K		Q		M	
N		O		P		R		S		U	
V		W		Z		XC		XZ		Y	Vapaamuotoinen tanko korrotoitua 5 suoraa osaa ja 4 kulmaa: a, c, e, y, y' = osien pituus; b, d, u, x = kolmas
VE		YG		YH		YJ		YM		YU	
YV		YW									