



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Tuure Kristersson

# Betoniraidoitteiden tuotantomenetelmät rakennustyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Opinnäytetyö

Tekijä Otsikko	Tuure Kristersson Betoniraidoiteiden tuotantomenetelmät rakennustyömaalla
Sivumäärä Aika	45 sivua + 1 liite 14.9.2023
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma, päivätoteutus
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Lehtori Juha Virtanen, Metropolia AMK Työpäällikkö Ingo Kvist, YIT Suomi Oy
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin betoniraidoiteiden tuotantoa ja niiden tuotantomenetelmiä. Opinnäytetyössä tarkasteltiin, mitä vaatimuksia tuotantotapa asettaa työmaalle, miten tuotantotapa soveltuu eri kohteisiin ja miten tuotantotapa vaikuttaa raudoitekilon lopulliseen kilohintaan verrattuna alihankkijalta tilattuihin raudoitteisiin eri urakkamuodoissa. Tarkasteltiin myös työmaiden kokemuksia tuotantotavasta sekä parannusehdotuksia tuotantotavan tehostamiseen.</p> <p>Tutkielman materiaalina käytettiin kirjallisuutta, haastatteluja ja referenssikohdetta. Työ tehtiin YIT Suomi Oy:lle. Haastateltavina toimivat YIT Suomi Oy:n työntekijät sekä toimihenkilöt. Referenssikohde oli YIT Suomi Oy:n urakoima kohde.</p> <p>Betoniraidoiteiden tuotanto rakennustyömaalla on toimiva vaihtoehto rakennustyömaille, tietyin varauksin. Uudisrakennuskohteissa on usein jo tilan puolesta kannattavampaa tilata raudoitteet suoraan alihankintana. Myös lopullinen kilohinta on usein korkeampi, jos raudoitteet tuotetaan ja asennetaan työmaalla kokonaisurakkana. Korjausrakennuskohteissa ja kohteissa, missä on odotettavissa suunnitelmamuutoksia tai kohde on rakenteellisesti haastava ja vaihteleva, nousee raudoitteiden tuotantotapa positiivisessa valossa esiin. Kohonneet kustannukset voidaan kuitata vähenevällä hukkamateriaalilla sekä aikataulussa pysymisellä. Työmaalla tapahtuvan raudoitetuotannon suurin etu alihankintaan verrattuna on se, että raudoitteita saadaan tuotettua aina oikea määrä ja ne ovat oikean kokoisia eivätkä suunnitelmamuutokset aiheuta aikatauluongelmia. Alihankinnan suurin etu taas on sen helppous ja halvempi lopullinen kilohinta.</p>	
Avainsanat	raudoite, harjateräs, tuotanto, vääntäminen

Author Title	Tuure Kristersson Rebar Production Methods at the Construction Site
Number of Pages Date	45 pages + 1 appendices 14.9.2023
Degree	Construction Site Management, Bachelor's Degree
Degree Programme	Degree program in construction management
Professional Major	Infrastructure Construction
Instructors	Senior Lecturer Juha Virtanen, Metropolia University of Applied Sciences Construction Manager Ingo Kvist, YIT Suomi Oy
<p>This graduate study examined rebar production and production methods at the construction site. The study examined, what requirements the production method imposes on the construction site, how the production method is suitable for different construction sites and how the production method affects the final price per kilogram of a rebar compared to a rebar ordered from the subcontractor in different contract forms. The Construction sites also get to voice their experiences regarding the production method and how to improve the efficiency of the production method.</p> <p>The study was conducted using literature, interviews, and a reference site. The study was carried out for YIT Suomi OY. All the interviewed were part of YIT Suomi Oy, working as either blue collar or clerical employee. The reference site was contracted by YIT Suomi Oy.</p> <p>Rebar production at the construction site is a viable alternative for construction site with certain reservations. In new construction sites, it is often more profitable to order the rebars directly from the supplier. Also, the final price per kilo is often higher if the rebars are produced and installed on site as a complete contract. In repair construction sites and sites where plan changes are expected or the site is structurally challenging and variable, the production method emerges in a positive light. Increased costs can be offset by reduced waste material and staying on schedule. The most significant advantage of the production method compared to supplier production is that rebars can always be produced in the right amount and size and plan changes will not affect scheduling problems. The biggest advantage of subcontracting is its ease and cheaper final price per kilogram.</p>	
Keywords	rebar, production, bending

## Sisällys

Käsitteet

Johdanto	1
1 Tuotanto työmaalla	2
1.1 Soveltuvuus erityyppisiin rakennuskohteisiin	2
1.1.1 Soveltuvuus uudisrakentamiseen	2
1.1.2 Soveltuvuus korjausrakentamiseen	3
1.2 Työmaatuotanto vs. alihankinta	3
1.2.1 Alihankinnan hyvät ja huonot puolet	3
1.2.2 Työmaatuotannon hyvät ja huonot puolet	4
1.3 Raudoitetuotantoon tarvittavat laitteet	6
1.4 Raudoitetuotannon aloittamisen edellytykset työmaalla	8
1.4.1 Raudoitteiden tuotantopaikan vaatimukset	9
1.4.2 Valmiiden raudoitteiden varastointi	9
1.4.3 Raudoitteiden vaatima logistiikka	9
1.5 Raudoitteiden laadunvalvonta	10
2 Tehokkaan raudoitetuotannon suunnittelu	10
2.1 Raudoitetuotannon suunnittelu	11
2.1.1 Raudoiteluettelon vaatimukset	13
2.2 Raudoitteiden tuotantovaihe	14
2.2.1 Raudoitteiden leikkaaminen	14
2.2.2 Raudoitteiden muotoon taivuttaminen	15
2.3 Raudoite-elementtien hitsaaminen työmaalla	20
2.4 Raudoitteiden varastointi ja jätteet	21
2.5 Raudoitetuotannon työturvallisuus	22
3 Taloudellinen vertailu työmaatuotannon ja alihankinnan välillä	23
3.1 Tuotantotavan taloudellisuus työmaan näkökulmasta	24
3.1.1 Ammattitaitoisen työvoiman vaikutus	25
3.1.2 Sään vaikutus kustannuksiin	26

3.2	Muut vaikutukset	27
3.3	Vaikutukset harjateräksen lopulliseen kilohintaan	28
4	Työmaiden kokemuksia betoniraidoitteiden tuotannosta työmailla	31
4.1	Tuotantotavan hyvät puolet	32
4.2	Tuotantotavan huonot puolet	33
4.3	Millä tavalla tuotantotapaa voitaisiin parantaa	34
5	Referenssikohde	34
5.1	Työn suunnittelu referenssikohteessa	35
5.1.1	Raidoitustuotannon turvallisuussuunnitelma referenssikohteessa	36
5.2	Tuotantopaikan valinta referenssikohteessa	37
5.3	Työn toteutus referenssikohteessa	37
5.4	Raidoitteiden varastointi referenssikohteessa	40
5.5	Raidoitteiden logistiikka referenssikohteessa	41
5.6	Raidoitteiden laadunvalvonta referenssikohteessa	41
5.7	Referenssikohteen haasteet	42
6	Yhteenveto	42
7	Pohdinta	44
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelut	

## Käsitteet

Congrid: Ohjelmisto rakentamisen laadun ja turvallisuuden hallintaan.

Harjateräs: Tehtaalla valmistettu, SFS-, CE ja EN-koodit täyttävä valssattu teräs. Saata-  
villa tavallisesti varastomitoissa 6- ja 12 metriä (erikoistilauksesta pidempiä) ja paksuuk-  
sina 6–40 mm.

Jatkospituus: Mitta, jonka kaksi raudoitetta tulee limittää toistensa päälle varmistaen tä-  
ten riittävän tartunnan muodostumisen [5, sivu 26].

Kulmahiomakone: Raudan ja teräksen katkaisuun käytetty työväline. Työmaalla kulkee  
nimellä ”rälläkkä”.

Manttelointi: Olemassa olevien rakenteiden vahvistaminen injektoimalla siihen suunni-  
telmien mukaisesti tartuntateräksiä, asentamalla suunnitelman mukaiset raudoitteet ja  
lopuksi betonivalun toteuttaminen rakenteen ympärille.

Raudoite: Harjateräksestä haluttuun muotoon leikattu ja väännetty kappale [6, SFS 1267  
Liite A]. Yleisimmät työmaalla näkyvät ovat A-, B-, D- ja U-mallisia.

Raudoiteluettelo: Väännettävistä ja leikattavaista raudoitteista ennakkoon suunniteltava  
työlista. Työmaalla käytetään nimeä ”leikkolista”.

Raudoitetuotanto: Tuotantoprosessi työmaalla, joka sisältää rakennesuunnitelmien poh-  
jalta raudoiteluettelon laadinnan ja sen pohjalta suoritettava harjaterästen leikkaaminen  
ja vääntö haluttuun ja suunniteltuun muotoon.

Taivutustela: Keskellä vääntöpöytää oleva kappale, jonka ympäri raudoite taivutetaan.  
Valitaan oikean kokoiseksi vastaamaan suunnitelmia ja täyttämään SFS- CE- ja EN-koo-  
dien vaatimukset [3,5,6]. Kutsutaan myös nimellä ”rissa”.

Vääntöpöytä: Sähkö- tai manuaalikäyttöinen, käytetään raudoitteiden taivutuksessa ha-  
luttuun muotoon. Työmaalla kulkee nimellä ”vengi”. Käytetään myös termiä hakastaivu-  
tin.

## Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella harjateräksestä valmistettavien betoniraudotteiden tuotantoa työmaalla alihankintana tilaamisen sijaan. Tuotantotapa sisältää raudotteiden leikkaamisen suorasta, varastomittaisesta 12 metrin harjateräksestä ja niiden taivutuksen valmiiksi raudotteeksi rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukaisesti. Valitsin aiheen opinnäytetyökseksi siksi, että koin tämän loogisena jatkumona YIT Suomi Oy:lle minun ja Ilmari Meskasen tekemälle innovaatioprojektille, jonka aiheena oli Valuraudoituksen hankinnan ja logistiikan konseptointi. Innovaatioprojektin tulokset sekä oma 14-vuotias urani betoniraudoittajana innoittivat minut kirjoittamaan ja syventymään aiheeseen tarkemmin.

Tutkielman tavoitteena oli selvittää vaatimukset ja edellytykset tuotannolle rakennustyömailla, tuotantotavoista ja sen tehokkaasta toteutuksesta sekä kerätä työmaiden kokemuksia tutkittavasta aiheesta sekä verrata tuotantotapojen taloudellisuutta työmaan näkökulmasta.

Tutkielman aineistoina toimivat kirjallisuus, haastattelut ja referenssikohde. Haastattelut toteutettiin sähköpostitse haastatteleamalla YIT Suomi Oy:n työntekijöitä ja toimihenkilöitä, jotka ovat työskennelleet sellaisilla työmailla, missä raudotteet on leikattu ja väännetty paikan päällä. Referenssikohde oli YIT Suomi Oy:n urakoima kohde Helsingissä.

Tutkielmassa on rajattu ulkopuolelle kaikki raudoituksen erikoistuotteet, kuten Bamtec-mattoraudoite ja kaistaverkot. Myös rosteri (RST) sekä sinkatut harjateräst tuotteet on rajattu tutkielman ulkopuolelle. Tutkielmassa tarkastellaan ainoastaan suorasta, B500B-X-harjateräksestä valmistetuista harjaterästangoista työmaalla leikattuja ja väännettyjä raudotteita. Tutkielmassa esillä oleva referenssikohde käytti Celsa Steel Oy:n valmistamia harjateräksiä eikä vertailua tehdä muiden alihankkijoiden välillä. Tutkielmassa rajataan ulkopuolelle myös kaikki suuret, yli 30 000 kg kokonaisharjateräsmäärän ylittävät kohteet. Työmaalla käytettävät taivutuskoneet sekä katkaisuvälineet toimitettiin työmaille YIT Kalusto Oy:lta. Kaikki taloudellisuuteen liittyvät laskut on toteutettu vertailemalla hintoja keskenään ja ilmoittamalla prosentuaalinen ero. Urakkahinnoittelussa on huomioitu kaikki työstä koostuvat sivukulut. Vertailut hinnat ovat astuneet voimaan 30.06.2023.

## 1 Tuotanto työmaalla

Oli kohde sitten uudisrakennus, rakennuksen laajennus tai korjausrakentamisen kohde, niin talo- toimitila- tai infrarakentamisen puolella, betonisiin rakenteisiin asennetaan harjaterästä melkein poikkeuksetta työmaan koon mukaan, jopa miljoonia kiloja. Yleensä jo hankintavaiheessa tehdään päätös, hankitaanko tarvittavat raudoitteet alihankintana vai tuotetaanko tarvittavat raudoitteet itse työmaalla. Työmaa valitsee kohteeseen soveltuvan toteutus- tai hankintatavan.

Työmaalla tapahtuva tuotanto toteutetaan suorasta, yleensä 12 metriä pitkstä harjateräksestä leikkaamalla ja haluttuun muotoon taivuttamalla. Suuri etu alihankkijalta tilattuihin raudoitteisiin on se, että tarvittava määrä ja mitat voidaan aina tehdä vallitsevan tilanteen mukaan.

### 1.1 Soveltuvuus erityyppisiin rakennuskohteisiin

Tämän osion tutkimuskysymyksinä olivat [8]:

- Miten tutkittava tuotantotapa soveltuu uudisrakentamiseen ja mitä erikoispiirteitä tämä asettaa?
- Miten tutkittava tuotantotapa soveltuu korjausrakentamiseen ja mitä erikoispiirteitä tämä asettaa?

#### 1.1.1 Soveltuvuus uudisrakentamiseen

Uudisrakennuskohteissa pystytään toteuttamaan koko työmaan tarvitsema raudoitetuotanto työmaalla. Toisin kuin myöhemmin käsiteltävissä korjausrakentamisen kohteissa, uudisrakentamisessa ei ole niin yleistä laajat suunnitelmamuutokset tai eteen tulevat rakenteelliset yllätykset. Niin alihankintana tilatut raudoitteet kuin myös työmaalla tuotettavat voidaan yleensä tehdä suoraan suunniteltujen mittojen mukaisesti. Tällöin raudoitteita voidaan tuottaa jo ennakkoon ilman, että tarvitsee odottaa niin sanotusti mitoille pääsyä kohteelle.



### 1.1.2 Soveltuvuus korjausrakentamiseen

Korjausrakentamisen erikoispiirteitä ovat suunnitelmamuutokset ja eteen tulevat rakenteelliset yllätykset. Lisäksi on erittäin yleistä, että suunnitelma ja itse toteutettava kohde eivät täsmää mitoiltaan. Tässä kohtaa työmaalla toteutettava tuotanto alkaa näyttämään etunsa. Jokainen harjateräs voidaan mitoittaa kohteen realististen mittojen mukaan ilman, että ollaan alihankkijalta tulneiden, kuvista ulos otettujen mittojen armoilla. Korjausrakennuskohteissa harvoin pystytään tilaamaan koko työmaan tarvitsemia raudotteita kerralla johtuen juuri siitä, että huonolla tuurilla kohteessa ei mene kahta samanlaista raudoitetta.

### 1.2 Työmaatuotanto vs. alihankinta

Tässä osiossa vertaillaan työmaalla tapahtuvaa tuotantoa alihankkijalta tilattaviin raudotteisiin. Haastattelukysymyksinä olivat [8]:

- Mitkä ovat alihankkijalta tilattavien raudotteiden edut ja haitat?
- Mitkä ovat työmaalla tapahtuvan raudantuotannon edut ja haitat?

#### 1.2.1 Alihankinnan hyvät ja huonot puolet

Alihankkijalta raudotteiden tilaaminen nähdään usein helppona ratkaisuna. Työmaa tekee sopimuksen alalla toimivan urakoitsijan kanssa, lähettää heille rakennekuvat, joista alihankkija itse listaa tarvitsemat raudotteet, leikkaa ja vääntää ne, niputtaa, merkitsee ja toimittaa sovittuna aikana työmaalle. Etuja ovat mm:

- Helppous
- Tuotannolle ei tarvitse järjestää tilaa
- Reklamaatiot ovat helpompia.

Tämä on yleisin tapa toimia rakennustyömailla. Yksi suuri syy tähän on se, ettei rakennustyömailla ole tilaa työmaatuotannon vaatimalle kapasiteetille. Vielä kun harjateräkset saadaan toimitettua sopivina osina täsmätoimituksina työmaalle, päätyvät useat työmaat näistä syistä tilaamaan harjateräkset alihankintana raudoitetoimittajilta.

Huonoja puolia ovat esimerkiksi suunnitelmamuutokset. Tämä nousee ongelmaksi etenkin silloin, jos raudoitteet on jo ehditty toimittaa työmaalle. Pahimmassa tapauksessa tämä tarkoittaa useiden kymmenien tuhansien kilojen päätymistä teräslavalle aiheuttaen täten työmaalle kustannuksia, kun raudoitteita joudutaan tilaamaan uudestaan. Suoran harjateräksen pystyy yleensä työmaan edetessä uudelleen käyttämään, mutta muotoon väännettyjen harjaterästen uudelleenkäyttö on yleensä haastavaa.

Työmaan ja alihankkijanvälinen kommunikaatio voi osoittautua myös kompastuskiveksi. Onko toimeksianto annettu vain ja ainoastaan kuvassa näkyvien harjaterästen toimittamiseen ja unohdettu, että yläpinnan terästen tulisi pystyä korossaan myös muualta kuin reunoilta, eli onko huomioitu tarvittavat työraudoitteet? Onko työmaalta toimitettu riittävät ohjeet, onko tuotannosuunnittelija tajunnut kysyä lisäohjeita? Aikaisemmin aihetta sivuavan innovaatioprojektin tulosten perusteella työmaan ja alihankkijan välinen kommunikaatio on usein puutteellista, mikä aiheuttaa molemmille osapuolille haasteita.

Voi olla, että raudoitteet tulevat eri urakoitsijalta ja asennuksen hoitaa toinen urakoitsija

Yllä mainittuja ongelmakohtia pystyy ammattitaitoinen työnjohto kitkemään. Se, onko näitä huomioitu laskelmissa, pitää aina muistaa tarkastaa tapauskohtaisesti.

### 1.2.2 Työmaatuotannon hyvät ja huonot puolet

Työmaatuotannon suurin etu on kyky reagoida nopeasti työmaalla tapahtuviin muutoksiin. Kun kaikki harjateräkset leikataan ja väännetään kohteella, saadaan aina haluttu määrä oikean kokoista ja muotoista raudoitetta. Työmaalla raudoitteet yleensä valmistavat sama taho, joka asentaa ne. Harva urakoitsija tekee itselleen tietten tahtoen hallaa tekemällä asennettavista tuotteista huonoja tai virheellisiä. Työryhmällä voi olla kokonaisurakka raudoitteiden tuotannosta ja asentamisesta, jolloin suunnitelmallisuus tuotannon ja asennuksen kanssa toteutetaan tarkemmin.

Yksi suurimmista syistä, jonka takia työmaalla harvemmin toteutetaan raudoitetuotantoa, on sen vaatima tila. Raudoituskontti tai -pöytä vie tilaa, suorat harjateräkset vaativat pituutensa takia tilaa ja varastointi vaatii tilaa. Työ vaatii myös erikoisosaamista. Suunnittelu, leikkaus, vääntäminen ja oikeanlainen niputtaminen, raudoitteiden merkitseminen ja varastointi kaikki vaikuttavat tuottavuuden kannattavuuteen. Myös taivutin tarvitsee virtaa, mikä tulee saada kohteelle turvallisesti ilman, että muu työmaaliikenne tai -toiminta vaurioittaa sähkökaapeleita.

Työmaiden tulee tuotantotavasta riippumatta säilyttää kyky tuottaa pieniä määriä raudoitteita työmaalla. Jokaisella työmaalla on tähän soveltuvat välineet. Leikkaamiseen tarvitaan kulmahiomakone, akku- tai sähkökäyttöinen raudankatkaisija tai isot voimaksakset. Vääntämiseen käsikäyttöinen hakastaivutin. Käsikäyttöisen hakastaivuttimen huono puoli on se, ettei se sovellu suureen tuotantoon eikä sillä pysty taivuttamaan 16 mm tai paksumpia harjateräksiä.



Kuva 1: Käsikäyttöinen hakastaivutin ja väännetyjä raudoitteita [7].

### 1.3 Raudoitetuotantoon tarvittavat laitteet

Tämän osion haastattelukysymyksenä oli [8]:

- Mitä laitteita ja työkaluja tarvitaan tuotannon toteuttamiseen?

Yleisin käytössä on sähkökäyttöinen raudantaivutin. Valmistajien ja mallien välillä on joi-  
tain eroja, mutta kaikissa toimintaperiaate on sama. Laitteet voidaan vuokrata konevuok-  
raamoilta tai kalustokeskukselta. Suurempia määriä väännettäessä sähkökäyttöinen  
raudantaivutin on työmaalle paras valinta.



Kuva 2: Tecmorin sähkökäyttöinen raudantaivutin [4].

Pelkkä taivutin virralla ei yksin riitä. Molempiin päihin taivutinta tarvitaan useampi metri pöytää, millä raudoitteita voidaan käsitellä ja voidaan varmistaa, etteivät pidemmät harjateräkset pääse putoamaan pöydältä taivutuksen aikana ja aiheuttamaan vaaratilannetta.



Kuva 3: Sähkökäyttöinen Tecmorin raudantaivutin jatkettuna työtasoilla [7].

Yllä olevasta kuvasta näkyy sähköpisteen hyvä sijoittelu. Kuvan kohteessa on saatu vääntöpöytä sijoitettua suoraan turvallisesti sijoitetun sähköpisteen viereen ja vieläpä sisätiloihin.

Laadukkaalla vääntimellä voidaan vääntää useaa harjaterästä yhtä aikaa, mikä nopeuttaa tuotantoa. Laadukkaassa vääntimessä on myös riittävät säätövarat. Tuotteen tulee olla myös toimintavarma. Työmaalla väännin on usein sääolosuhteiden armoilla. Tästä syystä väännin tulee suojata jonkinasteisella katoksella ja suojata muulla tavoin, kun se ei ole käytössä. Optimitilanne olisi sijoittaa vääntöpöytä sisätiloihin.

Vaihtoehtona on myös tilata raudoituskontti. Kyseessä on merikontin sisälle rakennettu tila vääntimelle ja pöydälle. Kontti aukeaa pitkältä sivulta ja päistä, mahdollistaen kohteen lukitsemisen ja estää vääntöpöydän käytön ulkopuolisilta.

Raudan katkaisu hoidetaan yleensä kulmahiomakoneella. Maassa pyörien varassa liikkuva suuri raudankatkaisin on yksi vaihtoehto, mutta työmaalla harvoin saadaan pohjaa siihen kuntoon, että katkaisinta saadaan tuotua helposti halutun harjateräsniipun eteen.

Työmaaolosuhteissa ongelmaksi muodostuu suurien harjaterästankojen määrien liikuttaminen haluttuun katkaisukohtaan. Katkaisin olisi kulmahiomakonetta parempi ratkaisu, sillä kulmahiomakone tuottaa kipinää ja luokitellaan täten tulityöksi. Lisäksi leikkaaja altistuu kulmahiomakoneella leikatessa raudan katkaisusta irtoavalle pölylle. Kulmahiomakonetta käyttäessä haluttu määrä harjaterästä siirretään joko sivuun tai vaihtoehtoisesti nostetaan esimerkiksi 2x4-puupalojen päälle. Tämän jälkeen harjateräksiin merkitään katkaisukohdat ja katkaistaan harjateräkset haluttuun mittaan.

Raudoitteiden merkitsemiseen tarvitaan säänkestäviä lappuja. Nämä kiinnitetään valmiisiin nippuihin helpottamaan myöhemmin tapahtuvaa logistiikkaa itse raudoitettavalla kohteella. Näin myös varmistetaan työvoiman vaihtuessa informaation kulku eteenpäin.

#### 1.4 Raudoitetuotannon aloittamisen edellytykset työmaalla

Tämän osion haastattelukysymyksenä oli [8]:

- Mitkä ovat tuotannon aloittamisen edellytykset työmaalla ja miten ne toteutetaan?

Haastattelutulosten perusteella tehokkaan tuotannon aloittamisen edellytykset työmaalla ovat tiivistetysti:

- Selkeä tuotantopaikka
- Tarvittava kalusto
- Riittävä varastotila
- Logistiikka.



#### 1.4.1 Raudoitteiden tuotantopaikan vaatimukset

Tuotantopaikan valinta tulee ottaa huomioon työmaasuunnitelmaa tehdessä, mikäli jo tässä vaiheessa tiedetään tuotannon tapahtuvan työmaalla. Tekoalueella tulee olla riittävä varastotila suorille, yleensä 12 metriä pitkille harjaterästangoille. Harjaterästankojen tulee olla irti maasta esimerkiksi paksuilla parruilla. Puuparruja tulee olla riittävän tiuhaan, jotta rautojen katkaisu voidaan toteuttaa turvallisesti ja järkevästi. Sijainti tulisi olla myös tarpeeksi erillään muusta työmaasta, ettei muu työmaatoiminta, saati itse raudoitteiden valmistus haittaa töitä. Vääntöpiste tulee olla sijoitettuna riittävän lähelle harjaterästankoja.

#### 1.4.2 Valmiiden raudoitteiden varastointi

Valmiiden, mittaansa leikattujen sekä väännettyjen raudoitteiden varastointi tulee olla suunniteltu ja mielellään toteuttaa mahdollisimman lähellä vääntöpöytää ja leikkauspistettä. Tuotanto voidaan myös toteuttaa siten, että työpiste muuttuu raudoitettavan alueen mukaan ja työ tehdään mahdollisimman lähellä sitä aluetta, minne valmiit raudoitteet lopulta asennetaan.

#### 1.4.3 Raudoitteiden vaatima logistiikka

Raudoitteiden siirtäminen ja muu logistiikka tulee suunnitella huolella. Saadaanko työmaalle tulevat suorat harjateräkset tuotantopaikalle suoraan autosta HIABilla nostamalla vai onko käytössä torni- tai autonosturi. Mikäli suorat harjateräkset on tarkoitus nostaa suoraan autosta tuotantopisteelle, tulee sijainti ja sähköistys suunnitella siten, ettei ohimenevä liikenne ja kuorman purku aiheuta vaaraa. Nosturia käytettäessä tulee varmistaa taakankiinnittäjän pätevyys.

Valmiiden raudoitteiden siirtäminen kohteelle tulee myös olla suunniteltuna. Käytetäänkö siirtoon työmaalla nosturia, vai toteutetaanko siirrot esimerkiksi kurottajalla. Kurottajan kanssa haasteeksi muodostuu usein suorien harjaterästankojen pituus. Uudisrakennuskohteissa on melkein poikkeuksetta käytössä torninosturi, minkä käyttö helpottaa niin tuotantopisteelle tuotavien harjaterästen kuin myös valmiiden, työkohteelle menevien

raudoitteiden logistiikkaa. Työmaalla tulee olla riittävä määrä tarpeeksi vahvoja nostoliinoja raudoitteiden nostamista ja siirtämistä varten. Sinkkisiä nostolenkkejä voidaan käyttää, jos niissä on asianmukaiset leimat. Epäselvissä tilanteissa on selkeintä pistää kyseenalainen nostoapuväline poikki joko puukolla tai kulmahiomakoneella. Harjaterästen niputtamista varten tulee olla varattuna sopivan paksuista rautalankaa, millä raudoitteet ja valmiit harjateräsniiput saadaan pysymään muodossaan ja leviämättä.

Korjausrakentamisen kohteissa logistiikka tulee usein haasteelliseksi. Työmaalle ei välttämättä saada torni- eikä autonosturia, vaan ollaan erilaisten pienempien kuljetusajoneuvojen varassa. Kaikista haasteellisimpia ovat Helsingin ydinkeskustassa sijaitsevat kohteet tiiviistä kaupunkirakentamisesta johtuen.

### 1.5 Raudoitteiden laadunvalvonta

Työmaalla leikattavien ja väännettävien raudoitteiden laadunvalvonta tapahtuu työmaalla. Työmaalle toimitetuista suorista harjaterästangoista tulee alihankkijalta sertifikaatit. Työmaalla toimitetuista harjateräsniipuista otetaan talteen sulatusnumerot, elleivät nämä ole esillä kuormakirjassa. Sulatenumeroiden avulla tehdas pystyy jäljittämään virheellisen erän sattua, minne virheellistä harjaterästä on toimitettu ja minne sitä on ehditty asentaa.

Työryhmä tekee omaperusteista laadunvalvontaa työn aikana varmistaen, ettei mittavaihtelu ylitä sallittuja toleransseja. Työmaan työnjohto tekee myös tarkastuksia. Tarkastuksista voidaan tehdä pöytäkirja Congridiin. Ulkopuolinen valvonta on osa laadunvalvontaprosessia. Valmis raudoitus tarkastetaan ennen kohteen valamista.

## 2 Tehokkaan raudoitetuotannon suunnittelu

Työmaalla tapahtuvan tuotannon tulee olla tehokasta ja suunnitelmallista. Siinä missä alihankkijalta tilatut raudoitteet saapuvat sovittuna aikana työmaalle, työmaalla tuotettuna tulee raudoitteiden olla yhtä lailla haluttuna ajankohtana valmiina. Erona tehtaalla tapahtuvaan raudoitteiden valmistamiseen on, että työmaalla tapahtuva tuotanto on



usein hitaampaa johtuen pienemmästä leikkuu- ja vääntökapasiteetista. Työmaalla tuotettuna voidaan tuotantojärjestys suunnitella ja toteuttaa kohteen vaatimusten mukaan.

Tässä osiossa haastattelukysymyksinä olivat [8]:

- Miten tuotannon suunnittelu toteutetaan?
- Miten suunnitelmat toteutetaan? Mitä eri vaiheita tähän kuuluu?
- Miten valmiit tuotteet varastoidaan?
- Miten syntyvä jäte hallitaan ja käsitellään?
- Miten työturvallisuus toteutetaan ja mitä erikoispiirteitä tuotantotapa tuo työturvallisuuteen?

## 2.1 Raudoitetuotannon suunnittelu

Raudoitteiden tuotanto suunnitellaan päivitettyjen, ajan tasalla olevien rakennekuvien mukaan. Rakennekuvien ajantasaisuus tulee varmistaa ennen niin kutsutun listaamisen aloittamista. Listaamisvaiheessa rakennekuvista ja detaljeista tarkastetaan raudoitteiden paksuudet, mitat ja määrät, joiden pohjalta tehdään raudoiteluettelo. Uudiskohteissa suunnitelmat voidaan toteuttaa melkein suoraan kuvien mukaan. Korjausrakennuskohdeissa tuotannon etukäteen suunnittelu voi osoittautua hankalaksi puutteellisten lähtötietojen takia tai työn edetessä löytyvien dokumentoimattomien rakenteiden tuomat yllätykset. Rakennesuunnitelmissa 500 mm leveä raudoite voi käytännössä vaihdella 350 mm – 600 mm. Tässä tapauksessa raudoitteiden etukäteen vääntäminen on hukkaan heitettyä työtä, sillä tarvittavat raudat joudutaan joko vääntämään uusiksi tai jatkamaan varmistamalla riittävä jatkospituus [5, sivu 26], eli tartuntapinta. Suora harjateräs on aina helpompi käyttää uudelleen suunnitelmien muuttuessa kuin muotoonsa taivutettu. Liian pitkää harjaterästä saadaan lyhennettyä ja lyhyttä useimmissa tapauksessa jatkettua. D-hakasia voidaan jossain määrin asentaa hieman vinoon, jos D-hakanen on liian korkea. Liian matalat D-hakaset joudutaan usein vääntämään uusiksi. Asia tulee aina varmistaa rakennesuunnittelijalta.

Suunnitteluvaiheessa ja raudoiteluetteloja laatiessa tulee työryhmän tutustua raudoitettavan rakenteen vaatimukseen [5, sivu 43]. Betonipeitteen nimellisarvot riippuvat raudoitettavan rakenteen rasitusluokasta ja rakennesuunnittelijan sille asettamista muista vaatimuksista. EN 1992-1-1 mukaisesti betonipeitteen nimellisarvot vaihtelevat raudoitettavan rakenteen mukaan [2]. Raudoitteita suunniteltaessa on varmistettava, että raudoite täyttää vaatimukset asennuksen jälkeen. Myös suunnitelman mukaiset raudoitteiden jatko pituudet [5, sivu 26] tulee täyttää. Tilattavien harjaterästen tulee täyttää [5, sivu 53] SFS 1300:2020 standardit. Celsa Steel Service Oy:n tuotteet täyttävät ISO 9001:2015 vaatimukset.

Rakeneosa Rasitusluokkayhdistelmä	Suunnittelukäyttöikä	Raudoitustyyppi	Paikallavalurakenne		Elementtirakenne	
			Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)	Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)
2-1 X0	50 - 100 v <sup>2)</sup>	br jr	C25/30	20	C30/37	20
			–	–	C50/60	30
2-2 XC1	50 - 100 v <sup>2)</sup>	br jr	C25/30 –	20 –	C30/37 –	20 –
2-3 XC3,4; XF1	50 v	br rst	C30/37 C30/37	35 20 <sup>3)</sup>	C30/37 C30/37	35 20 <sup>2)</sup>
	100 v	br rst	C30/37 C30/37	40 20 <sup>3)</sup>	C30/37 C30/37	40 20 <sup>3)</sup>
2-4 XC4; XF3	50 v	br	C35/45	30	C35/45	30
	100 v	br	C35/45	35	C35/45	35
2-5 XC3; XF1	50 v	br	C30/37	35	C35/45	30
	100 v	br	C30/37	45	C35/45	35

2) Rasitusluokissa X0 ja XC1 vaatimukset ovat identtiset 50 ja 100 vuoden käyttöiälle.  
3) XC-rasitusluokissa ruostumattomia (B600KX) raudotteita käytettäessä betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään raudoitteen halkaisija.

Kuva 4: Betonipeitteen nimellisarvot [2].

### 2.1.1 Raudoiteluettelon vaatimukset

Raudoiteluettelo voidaan tehdä valmiiseen dokumenttipohjaan (esim. Excel) tai se voidaan tehdä käsin paperille. Raudoiteluettelosta tulee selvitä seuraavat asiat:

- Raudoitteen paksuus

- Kappalemäärä
- Mitat ja muoto
- Kohde.

Selkeällä raudoiteluettelolla helpotetaan työtä ja varmistetaan, että henkilöstön vaihtuminen ei hidasta työtä.

## 2.2 Raudoitteiden tuotantovaihe

Hyvä ennakkosuunnittelu ja huolella laadittu raudoiteluettelo helpottavat tekovaihetta. Kuka tahansa kykenee leikkaamaan ja vääntämään rautaa ja tuottamaan tästä haluamansa lopputuloksen. Kyseisen vaiheen toteuttaminen tehokkaasti vaatii jo osaamista ja suunnittelua. Tekovaihe voidaan jakaa kahteen osaan: leikkaaminen ja vääntäminen.

### 2.2.1 Raudoitteiden leikkaaminen

Raudoitteet leikataan yleensä 12-metrisestä harjaterästangosta haluttuun mittaan käyttäen joko kulmahiomakonetta tai siirrettävää raudankatkaisinta. Siirrettävän raudankatkaisimen käyttö on harvinaisempaa johtuen harjaterästen hankalasta siirtelystä työmaolosuhteissa. Kulmahiomakoneella leikatessa tarvitsee harjaterästangot saada irti muista varastoitavista teräksistä, ettei vahingossa leikata ylimääräisiä harjateräksiä. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä puutavaraa alla.

Haluttu määrä oikean paksuista harjaterästä nostetaan joko puiden päälle erilleen muusta harjateräksestä tai siirretään sivuun. Tämän jälkeen mitoitetaan leikkuukohtat raudoiteluettelon mukaan. Ammattitaitoisen tekijän tehtävänä on tässä vaiheessa minimoida syntyvän jätteen määrä. Tarkoituksena on saada leikattua oikea määrä halutun mittaista harjaterästä mahdollisimman tehokkaasti. Valmiiden suorien rautojen niputtaminen halutun kokoisiin nippuihin tulee suunnitella tarpeen mukaiseksi. On huomattavasti helpompaa siirtää neljä sadan kappaleen nippua neljälle eri seinälle kuin lähteä

jokaisen seinän kohdalla purkamaan sataa kappaletta yhdestä neljänsadan nipusta. Ni-  
puttamisessa tulee myös huomioida nostolaitteiden rajoitukset.

Suorien rautojen leikkuualueelle tulee varata etenkin talviolosuhteissa riittävä suojaus-  
materiaali, kuten pressuja, lumiharjoja ja lapioita.

### 2.2.2 Raudoitteiden muotoon taivuttaminen

Osa raudoitteista väännetään raudoitelistan mukaiseen haluttuun muotoon. Tätä varten  
tulee leikkausvaiheessa ottaa huomioon se, että väännettäessä rauta venyy keskimäärin  
noin 25 mm per vääntö. Tarkka leikkuumitta saadaan tekemällä koekappale, jolla var-  
mistetaan leikattavan raudan riittävä mitta haluttuun muotoon nähden. Mikäli esimerkiksi  
D-hakasen häntien pituudella ei ole niin suurta merkitystä, voidaan näihin käyttää aavis-  
tuksen verran pidempää kuin tarvittavaa mitta. Esimerkiksi 500 + 200 + 500 mm mittai-  
sen D-hakasen leikkuumitta on 1150 mm, jos halutaan leikata tarkalleen oikean mittai-  
nen suora harjaterästanko vääntöä varten. 1200 mm mittaisesta suorasta pätkästä saa-  
daan häntien pituudet tasaamalla 525 + 200 + 525 mm. Tässä tekijän tulee tietää, mikä  
mitta väännettävässä raudassa tulee pysyä tarkkana. Mikäli D-hakasen häntien pituuden  
kasvamisella ei ole merkitystä, voidaan näissä käyttää lähinnä olevaa hieman pidempää  
mittaa ilman, että 50–100 mm pätkän takia tarvitsisi alkaa lyhentämään pahimmassa  
tapauksessa useita satoja suoria harjaterästankoja. SFS 1267 Liite A:n mukaisissa U-  
hakasissa tämä mitta on hakasten ulkomittojen yhteenlaskettu mitta + 100 mm. Tällöin  
saadaan U-hakaseen 100 mm pitkät jatkospituudet [5, sivu 26]. Suunnitelmissa voi olla  
maininta U-hakasten kohdalla pidemmistä jatkospituuksista. Tällöin leikkuumittaa kas-  
vatetaan vastaamaan suunnitelman vaatimia mittoja. Haluttu kulma säädetään konetyy-  
pin mukaan joko digitaalisesti tai mekaanisesti. Mallista riippumatta tulee aina ennen  
varsinaista sarjatuotannon aloittamista tehdä koekappale. Harjaterästangon harjaksen  
paksuus voi vaikuttaa vääntökulmaan, kuten myös raudan tyyppi.

Taivutettaessa tulee noudattaa voimassa olevia ohjeita ja määräyksiä. Harjaterästen tai-  
vutussäde mainitaan usein rakennesuunnitelmissa. Jos näin ei ole, käytetään jotain seu-  
raavista ohjeista [3]:

Eurokoodi SFS-EN 1992-1-1:

- 4  $\varphi$ , kun  $\varphi \leq 16$  mm
- 7  $\varphi$ , kun  $\varphi > 16$  mm

Ympäristöministeriön kansallinen liite:

- 4,5  $\varphi$ , kun  $\varphi \leq 16$  mm
- 9  $\varphi$ , kun  $\varphi > 16$  mm

Väyläviraston ohje (haat, koukut ja lenkit):

- 4  $\varphi$ , kun  $\varphi \leq 10$  mm
- 5  $\varphi$ , kun  $\varphi > 10$  mm ja  $\varphi \leq 20$  mm
- 7  $\varphi$ , kun  $\varphi > 20$  mm

Taulukko 1

## Taivutustelan halkaisija eri määrittelyjen mukaan

Tangon halkaisija	Talonrakennus			Sillanrakennus (NCCI 2)	
	Ympäristöministeriön Rakentamismääräyskokoelmassa esitetty ohjeellinen, kansallisen liitteen mukainen minimiarvo	SFS 1268 -mukaisen teräksen minimiarvo	Pääraudoitukselle suositeltava arvo	Minimiarvo haoille, koukuille ja lenkeille	Minimiarvo pääraudoitukselle
6	27	24		24	144
8	36	32		32	192
10	45	40		40	240
12	54	60		60	288
16	72	80	200, (300)	80	384
20	180	100	300, (400)	100	480
25	225	175	400, (500)	175	600
32	288	224	500, (640)	224	768 *)

\*) Näin isoa ei välttämättä löydy, eikä edes kaikkiin koneisiin mahdu.

Kuva 5: Ohjeita taivutustelan valinnalle eri määrittelyjen mukaan [3].

Liian pienellä taivutussäteellä taivutettu harjateräs saattaa alkaa halkeilemaan taivutuskohtasta eikä täten täytä lujuusvaatimuksia. Tässä kohtaa tarvitaan ammattitaitoa, tietämystä normeista ja säädöksistä [1,5,6] ammattitaitoa sekä ulkopuolista valvontaa varmistamaan, ettei työmaalla tuoteta huonolaatuista tuotetta asennettavaksi raudoitettavaan kohteeseen. Liian suuri taivutussäde taas saattaa muuttaa pääterästen etäisyyksiä rakenteesta ja vaikuttaa lopullisen rakenteen lujuuteen ja kantavuuteen. Taivutussäteen kokoa säädetään koneen mukana tulevilla taivutusteloilla. Mitä paksumpi harjaterästangon halkaisija on, sen paksumpi taivutustela tulee valita.



## Raudoitteiden taivutustyytit (vrt. SFS 1267 Liite A)

A	B	C	D
E	F	G	H
J	K	Q	M
N	O	P	R
S	U	V	W
Z	XC	XZ	Y
YE	YG	YH	YJ
YM	YU	YV	YW
<p>Taivutusmitat noudattavat terästen ulkopintaa.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><math>90^\circ &lt; u \leq 180^\circ</math></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><math>u \leq 90^\circ</math></p> <p><math>x = b \sin(u) + D \cos(u)</math></p> </div> </div>			

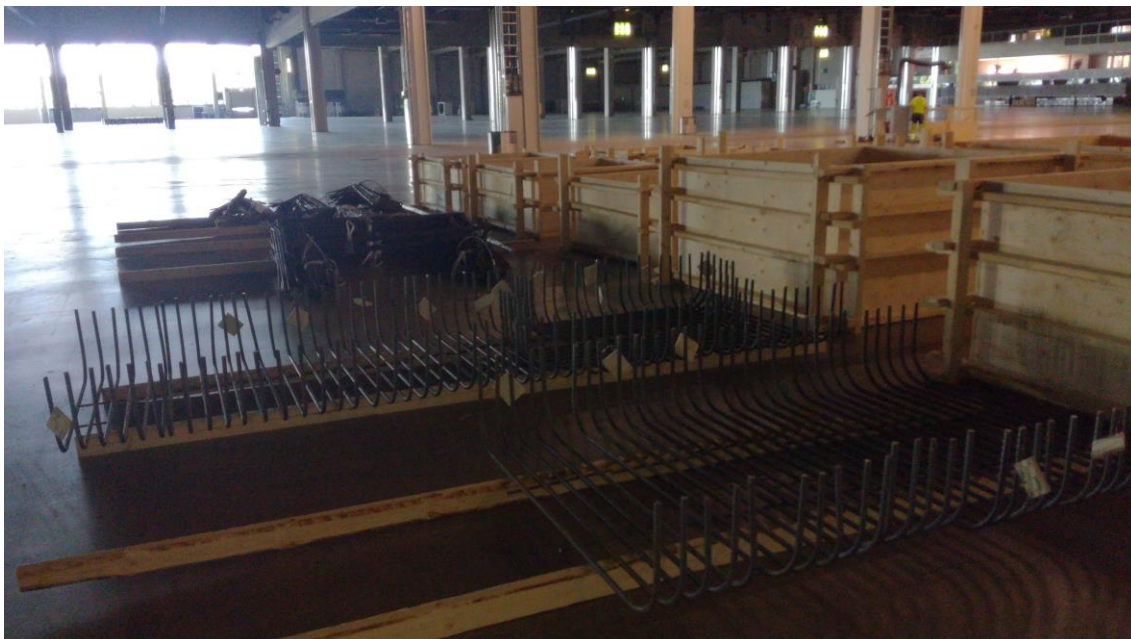
Muitakin erikoistaivutustyyppä voidaan tietyin rajoituksin tehdä, mutta niillä kuten Y-tyypeillä, tuotanto ei ole yhtä automaattista. Rakennesuunnittelussa yleensä riittää kun määrittelee raudoitetyypin osamitat, esimerkiksi tyyppi C osalta mitat a, b ja c sekä taivutussäde r, jos se poikkeaa kyseisen teräluokan pienimmästä sallitusta. Osamittojen määritelmän ja laskentakaava muuttuu kun taivutuskulma ylittää  $90^\circ$  (ks. yo kuva).

Kuva 6: Erilaisia raudoitteiden taivutustyyppä [6].

Taivutettavan raudan paksuus sekä käytettävä taivutustela vaikuttavat siihen, montako harjaterästä voidaan kerralla vääntää. Tuotannollisen tehokkuuden kannalta on kannattavaa pyrkiä vääntämään maksimimäärä harjaterästä kerralla. Tähän vaikuttavat myös väännettävän raudan muoto. Esimerkiksi SFS 1267 Liite A:n mukaisia D-hakasia pystytään vääntämään niin monta, kuin vain saadaan vääntöpöydän mukana tulleen taustalevyn ja taivutustelanväliin mahtumaan turvallisesti. Väännettäessä on varmistettava, etteivät harjateräkset pääse ampumaan ohi tai yli taustalevystä tai taivutustelasta. Väännettävät harjateräkset tulee asettaa taivutustelan ja taustalevyn väliin siten, että niissä olevat harjat ovat samansuuntaisesti. Tällä tavalla pystytään välttämään erot taivutuskuilmassa.

### 2.3 Raudoite-elementtien hitsaaminen työmaalla

Raudoitteet voidaan halutessa myös hitsata valmiiksi elementeiksi. Tämä voi tulla esiin esimerkiksi aikataulullisista syistä: Osakohteen aloitus on myöhässä eikä loppupäähän ole mahdollista lisätä tekoaikaa. Yksinkertaista nauha-anturaa voidaan helposti hitsata halutun mittaisiksi elementeiksi. Yksinkertainen 8 mm D-hakasella varustettu ja neljällä 10 mm pääteräksellä varustettu nauha-antura ei paina paljoa, joten sen pystyy asentamaan kaksi asentajaa tehokkaasti ja nopeasti paikalleen. Hitsaamista varten tulee työmaalla olla siihen sopiva piste sekä laitteet. Usein tällaiset hitsatut raudoite-elementit eivät vaadi erillistä luokkahitsausta, sillä kyseessä on vain työaikainen hitsaus. Riittää, että raudoitteet kestävät varastoinnin, siirrot, asennuksen sekä betonivalun. Työryhmä voi suunnitella hitsaustarpeen yhdessä työmaan työnjohtajan kanssa. Mikäli hitsaukselle on asetettu vaatimuksia, noudatetaan joko rakennesuunnittelijan antamia kirjallisia ohjeita tai Ympäristöministeriön ohjeita [5, sivu 53]. Järkevä ennakkosuunnittelu on osa ammattitaitoa.



Kuva 7: Hitsattuja raudoite-elementtejä sekä valmiit muotit [7].

#### 2.4 Raudoitteiden varastointi ja jätteet

Optimitilanteessa tehdyt raudoitteet siirtyisivät saman tien kohteelle. Käytännössä tämä ei kuitenkaan toteudu, joten tuotteille on suunniteltava riittävä varastotila. Varastotilan tulee olla riittävän lähellä tekopistettä, ettei raudoitteiden kuljettamiseen varastoalueelle kulu liikaa aikaa. Varastoalueelle tulee olla selkeä ja hyvin suunniteltu pääsy nostolaitteilla, etenkin jos raudoitteet on tarkoitus kuljettaa kohteelle muuten kuin torni- tai autonosturin nostolaitetta käyttäen. Työryhmän tehtävä on suunnitella varastointijärjestys siten, että tarvittavat harjateräkset sekä raudoitteet ovat helposti ja nopeasti saatavilla. Tuotteet tulee olla selkeästi merkattuna säänkestävillä merkkauklapuilla, mistä ilmenee:

- Kohde
- Määrä
- Harjateräksen paksuus
- Muoto.

Tuotteet tulee olla myös sidottuna riittävän hyvin, etteivät ne nostettaessa ja siirrettäessä pääse aukeamaan ja aiheuttamaan vaaratilannetta. Suorat harjateräsniput tulee olla sidottu tarpeeksi läheltä molempia päitä, etteivät harjateräkset pääse takertumaan mihinkään vahingossa. Tuotteissa tulee olla myös asianmukaiset nostoapuvälineet: Nostoliinat tai sinkkivaijerit. Rautalangoista ei tule missään nimessä nostaa. Varastoitavat raudoitteet tulee suojata sääolosuhteilta. Vaikka lumi eikä vesi suoraan aiheuta lyhytikäisessä altistumisessa raudalle ongelmaa, vie hangesta tuotteiden esiin kaivaminen aikaa. On nopeampaa ottaa pressun päältä vähän lumia pois ja siirtää se sivuun kuin ruveta lapioimaan tuotteita lumesta esiin.

Jätteille tulee olla oma teräslava. Hyvällä suunnittelulla voidaan minimoida jätteet, mutta käytännössä niin leikatessa kuin vääntäessä tulee aina virheellisiä kappaleita, eikä lyhyitä, 10–30 cm harjaterästangon pätkiä pysty hyötykäyttämään oikein missään. Tietyissä tapauksissa lyhyitä suorja pätkiä voidaan käyttää tartuntoina, jos vain niiden mitta on riittävä ja täsmää rakennesuunnittelijan suunnitelmiin.

## 2.5 Raudoitetuotannon työturvallisuus

Työstä tulee tehdä riskien kartoittamiseksi työn turvallisuussuunnitelma. Työtä tehdessä olemassa olevia ja valitettavan todennäköisiä riskejä ovat:

- Raudan leikkaamisessa tapahtuvat tapaturmat (kulmahiomakone osuu esim. jalkaan), viiltohaavat
- Raudan leikkaamisen tulityöt ja niiden riskit
- Harjateräsnippujen päällä kulkeminen
- Työergonomia
- Olosuhteiden tuomat haasteet (liukkaus, kuumuus)
- Vääntötyön turvallisuus (sormet raudan ja pöydän välissä)

- Työmaaliikenne ja työmaalla liikkuminen.

Vaarallisimmat työvaiheet ovat rautojen katkaiseminen sekä vääntäminen. Katkaisuvaiheessa joudutaan kulkemaan harjaterästen päällä, mitkä saattavat etenkin talvella olla todella liukkaita. Kompastumisen riski on aina läsnä, kuten myös ohiastumisen vaara ja täten nilkan taivuttuminen. Harjaterästen liikuttelu ihmisvoimin aiheuttaa keholle kovaa rasitusta, mikä voi aiheuttaa erilaisia venähdyksiä ja nyrjähdyksiä.

Vääntötyössä tulee kiinnittää huomiota laitteen oikeaoppiseen käyttöön. Melkein kaikki vääntötyön aikana tapahtuvat tapaturmat johtuvat käyttäjävirheestä. Väännettäessä etenkin pitkiä harjateräksiä on riskinä joutua raudan ja pöydän väliin puristuksiin. Vääntötyötä suorittavan tahon tulee tehdä työ rauhassa ja oikeaoppisesti, pysyen koko vääntötyön ajan sellaisessa positiossa, ettei harjateräs pysty puristamaan vääntäjää raudan ja pöydän väliin. Riskinä on myös, että vääntäessä sormet menevät väännettävien harjaterästen mukana harjaterästen ja taustalevyn väliin ja aiheuttaen täten puserutumisen. Turvalaitteiden toimivuus tulee varmistaa päivittäin. Työmaalla on myös tärkeää estää ulkopuolisten pääsy koneelle.

### **3 Taloudellinen vertailu työmaatuotannon ja alihankinnan välillä**

Taloudellinen vertailu on tehty vertaamalla toteutuneita kilohintoja. Vertailu toteutettiin kilohinnoitellulla urakkahinnoittelulla. Vertailussa on 2 eri toteutustapaa. Ensimmäisenä raudoitteet leikataan ja väännetään työmaalla varastomittaisesta harjateräksestä ja asennetaan muottiin. Toisessa raudoitteet saapuvat valmiina alihankintana ja asennetaan muottiin. Vertailupohjana käytetään Celsa Steel Service Oy:n ja YIT Suomi Oy:n välistä kausisopimusta, joka on astuneet voimaan 30.06.2023. Asennus- ja tuotantohinnat on laskettu toteutuneista urakkahinnoitteluista. Taloudellista vertailua ei tehdä muiden alihankkijoiden tai aliurakoitsijoiden välillä.

Alihankkijoilla (Esim. Celsa Steel Service) on käytössä tarkoitukseen suunnitellut tuotantohallit varastoineen. Heillä on käytössä modernit, automaattiset vääntölaitteet, jotka vääntävät kiepiltä tulevasta harjateräksestä haluttuun muotoon suunnitelman mukaisia raudoitteita.



Kuva 8: Schnellin raudantaivutinkone [9]

Työhön suunnitelluilla raudoitushalleilla työolosuhteet ovat yleensä tasaiset. Sääolosuhteet, mitkä ovat rakennustyömaalla tapahtuvassa raudoitetuotannossa suurin työhön vaikuttava tekijä, loistaa poissaolollaan. Lisäksi halleissa on erikseen suunnitellut varastoalueet, hallinosturit sekä tehokkaammat ja nopeammat laitteet.

### 3.1 Tuotantotavan taloudellisuus työmaan näkökulmasta

Tuotannon edellytyksiä käytiin aikaisemmassa osiossa läpi. Työmaan näkökulmasta toimintatapa aiheuttaa kustannuksia:

- Logistiikan suunnittelu (raudoitepisteen sijoitus, varastoalue, nostokalusto)
- Laitteet (sähkökäyttöinen vääntöpöytä, katkaisuvälineet, sähkö, nostokalusto)
- Ammattitaitoista työvoimaa

- Sääolosuhteisiin varautuminen.

Logistiikan suunnittelu vie aikaa, tekipä työn työnjohtaja tai raudoitteiden tuotannosta vastaava työntekijä. Laitteet maksavat. Työmaat usein vuokraavat kalustokeskukselta laitteet ja näiden päivä- tai kuukausivuokrat ovat melko inhimillisiä. Pitkässä juoksussa näistä tulee kustannuksia joka tapauksessa. Katkaisulaitteiden katkaisulaikat maksavat, sillä niitä kuluu paljon ja nopeasti.

### 3.1.1 Ammattitaitoisen työvoiman vaikutus

Kustannusten kannalta yksi tärkeimmistä tekijöistä on ammattitaitoinen työvoima. Hidas tuotanto tai vääränlaiset raudoitteet maksavat ja hidastavat työtä. Ammattitaitoista työvoimaa tähän tarkoitukseen ei ole helposti aina saatavilla. Työ voidaan luokitella erikoistyöksi eikä alalle ole suoraa koulutusta. Melkein kaikki raudoitusalan ammattilaiset ovat joko itseoppineita tai saaneet oppinsa kokeneemmilta työntekijöiltä. Tehtailla automaattikoneeseen pystytään syöttämään halutut tiedot (raudan paksuus, muoto, mitat) ja painaa kone käyntiin. Tekijälle jää tehtäväksi kerätä valmiit raudoitteet omiin kasoihinsa ja vahtia, ettei kone mene jumiin. Raudat ovat valmiiksi kiepillä eikä niitä tarvitse manuaalisesti vaihtaa muuta kuin kieppirullan loppuessa. Tällöinkin apuna on suuret hallinosturit. Työmaalle tällaisten laitteiden hankinta on järjetöntä. Laitteet maksavat useita satoja tuhansia sekä vievät tilaa. Työmaalla käytössä oleva sähkökäyttöinen taivutuspyötyä vaatii ammattitaitoisen tekijän niin työturvallisuuden kuin myös taloudellisen tehokkuuden näkökulmasta.

Työmaalla suoritettavassa raudoitetuotannossa syntyy jätettä väkisinkin. Ammattitaitoinen työvoima pystyy kuitenkin minimoimaan tämän jätteen. Yleisimmin käytössä olevasta 12 metrin harjaterästangosta jää 5–30 cm pitkiä pätkiä yli, joiden kohtalo on päätyä teräslavalle. Tehtaalta tilattaessa näitä pätkiä ei työmaalle tule, vaan ne on laskettu sopimushintoihin. Työmaalla voidaankin laskea, että jokaisesta 12 metrin harjaterästangosta 5 % menee hukkaan (noin 60 cm).

Sairauspoissaolojen vaikutus riippuu korvaavan työvoiman saatavuudesta. Äkilliset sairastapaukset saattavat aiheuttaa päivän tai kahden viivästyksen töihin, mikäli korvaavaa



työvoimaa ei saada. Pitkäaikainen ajallinen vaikutus on pieni, mutta lyhyellä aikavälillä päivänkin viivästyminen tuotannossa joudutaan joko kuromaan kiinni ylitöillä tai vaihtoehtoisesti siirtämään aikatauluja. Sairauspoissaolojen voidaan laskea aiheuttavan keskimäärin 5 % vaikutuksen työn lopulliseen hintaan.

Urakkahinnoittelulla tapahtuva raudotteiden leikkaaminen ja vääntö maksaa noin 20 % enemmän, mitä vertailussa käytetyltä alihankkijalta tilatessa. Hinnassa on huomioitu kaikki lisäkulut.

### 3.1.2 Sään vaikutus kustannuksiin

Sää on suomen olosuhteissa yksi suurin rakennustöihin vaikuttava tekijä. Maamme neljä vuodenaikaa luo työvaiheille haasteita. Lumi, jää, sade, helteet ja tuuli. Kaikki vaikuttavat työntekoon.

Sateet saattavat vaikuttaa sähkölaitteiden toimintaa. Märkä sähkölaitte aiheuttaa työntekijälle turvallisuusriskin. Ellei puhuta rankkasateesta, itse työntekijälle sade on lähinnä vaatetuskysymys. Harjateräkset eivät märkinä muutu erityisen liukkaiksi. Sopivalla vaatetuksella ja varusteilla sateessa työskentely saadaan inhimilliseksi.

Korkeat lämpötilat hidastavat työtä. Riippuen lämpötilasta, on suositeltavaa pitää riittävästi taukoja hellelukemissa työskennellessä. Työ on fyysisesti raskasta ilman helteen tuomaa lisärasitusta. Lämpötilan ylittäessä 28°C suositellaan pidettäväksi yksi 10 minuutin tauko tuntia kohden. Lämpötilan ylittäessä 33°C suositellaan tauon pituudeksi 15 minuuttia. Riippuen vallitsevasta lämpötilasta, puhutaan noin 17 % tai 25 % hukasta työaikaan.

Tuuli ei suoraan vaikuta raudotteiden valmistamiseen. Harjateräs painaa sen verta paljon, ettei se lähde herkästi tuulen mukana. Raudotteiden valmistuspiste sen sijaan voi olla tuulelle altis, riippuen toteutustavasta. Mikäli käytössä on raudotuskontti, ei tuuli aiheuta yleensä toimenpiteitä. Heikosti kasattu vanerikoppi taas voi vaurioitua tuulessa.



Lumi ja jää puolestaan haittaa ja hidastaa raudoitteiden tuotantoa. Raudoitteet muuttuvat lumen ja jään vaikutuksesta liukkaiksi, mikä tekee niiden päällä kävelyn vaaralliseksi liukastumisen riskin takia. Koska harjaterästangot ovat työmailla melkein poikkeuksetta maassa puuparrujen päällä, ei harjateräksiä päästä käsittämään optimikorkeudelta. Käytännössä työntekijä kävelee jäisten, lumisten ja liukkaiden harjaterästen päällä. Rauta johtaa lämpöä, joten harjaterästen käsittely kylmällä vaatii oikeat käsineet paleltumavammojen ehkäisemiseksi. Suurin lumen ja jään tuoma haitta on harjaterästen hautautuminen lumeen. Mikäli harjateräksiä ei suojata, joutuu joka aamu työryhmä ensitöikseen harjaamaan ja kaivamaan ne esiin lumesta. Hyvällä tuurilla työmaalla on käytössä torninosturi, jonka avulla lumipeitteet saadaan nostettua paikalleen ja pois. Talviolosuhteiden tuoman haitan voi laskea noin 17 % ajalliseen hukkaan: aamulla 30 minuuttia tarvikkeiden kaivamiseen lumesta, iltapäivällä 30 minuuttia suojaamiseen.

Sääolosuhteiden voidaan laskea aiheuttavan keskimäärin noin 10 % hukan ajallisesti työntekoon, kun otetaan huomioon vallitsevien sääolosuhteiden keskimääräisesti aiheuttamat vaikutukset.

### 3.2 Muut vaikutukset

Tuotantotavan positiiviset vaikutukset tuotannon kustannuksiin koostuvat:

- Raudoitteita on oikea määrä ja ovat oikeanlaisia
- Pystytään vastaamaan nopeasti muuttuviin suunnitelmiin.

Alihankkijalta myöhässä saapuva kuorma voi aiheuttaa, mikäli aikatauluista on pidettävä kiinni, lyhytaikaisesti jopa 200 % korotuksen työn hintaan. Työ joudutaan tekemään ylitöinä, suuremmalla työryhmällä tai maksamaan odotusajan tunteja.

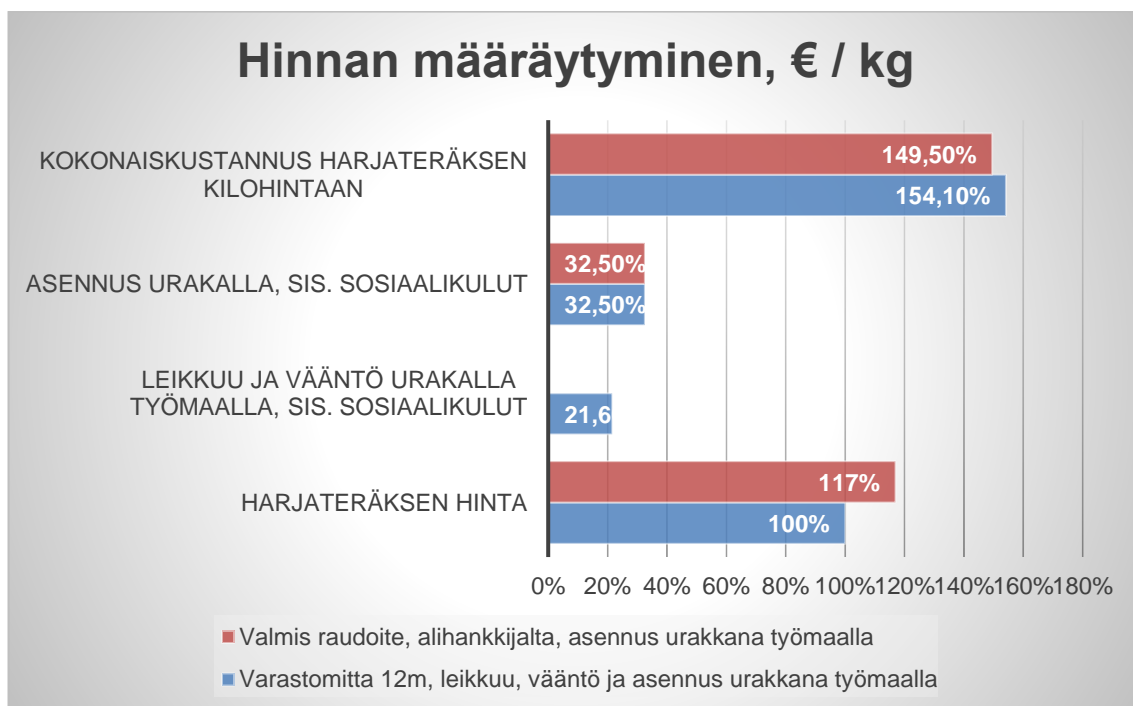
Suunnitelmamuutokset saattavat pahimmassa tapauksessa seisauttaa työvaiheen kokonaan. Raudoitteiden toimittajilla on usein kahden viikon toimitusaika. Työmailla harvoin on mahdollisuutta jäädä odottamaan. Mikäli työmaalla ei ole omaan tuotantoon sopivaa kalustoa ja työryhmää, joudutaan kalusto ja tekijät joko hankkimaan työmaalle, mikäli niitä on saatavilla tai vaihtoehtoisesti tilata nopeimman toimituksen lupaavalta

tuottajalta korkeampaan hintaan. Suunnittelu voi myös laahata perässä useista syistä. Näille mahdollisille tapahtumille on vaikea laskea numeraalista, vertailukelpoista arvoa. Työmaiden on itse tehtävä päätökset tuotantotavan sopivuudesta kohteeseen.

### 3.3 Vaikutukset harjateräksen lopulliseen kilohintaan

Alihankkijalta tilattu raudoite maksaa tässä vertailussa numeraalisen arvon mukaan 1 per kilo. Pohjana on Celsa Steel Servicen voimassa oleva kausisopimus YIT Suomi Oy:n kanssa. Varastomittainen, 12 metrin harjaterästanko on 17 % halvempi kuin valmiiseen muotoon väännetty raudoite.

Taulukko 1: Kokonaiskustannusvaikutus harjateräksen lopulliseen kilohintaan.



Yllä olevasta kaaviosta näemme, että vaikka valmiiden raudoitteiden kilohinta on 17 % kalliimpi, tulee työmaalle taloudellisesti halvemmaksi tilata raudoitteet valmiina alihankkijalta ja suorittaa asennus urakkana. Jos yksi raudoitekilo maksaa euron / kg, tulee harjateräksen lopullinen hinta asennettuna olemaan 12 metrin harjaterästangosta työmaalla

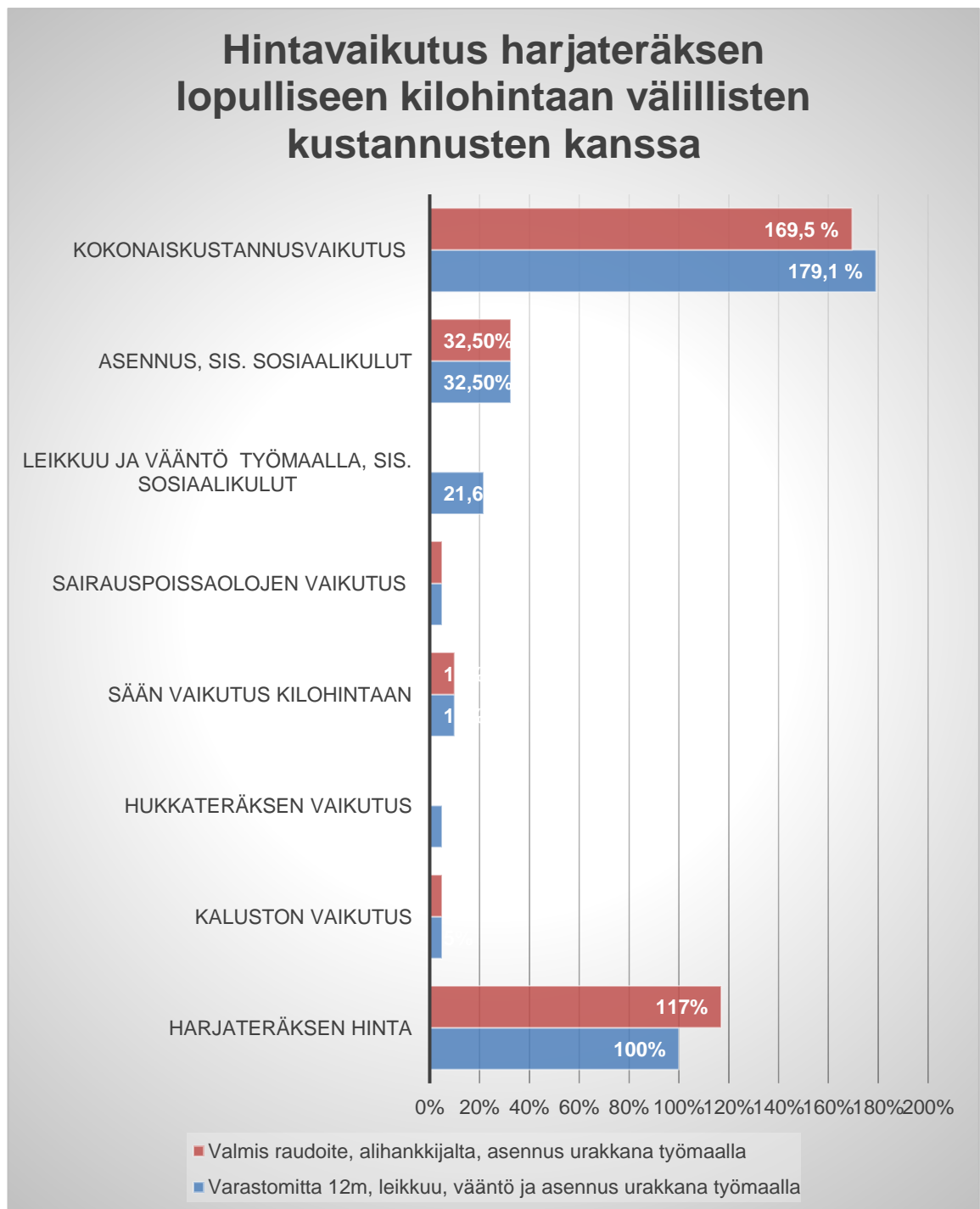
väännettynä 1,541 € / kg ja alihankkijalta valmiina hankittujen raudoitteiden kanssa 1,495 € / kg. Täten valmis raudoitekilo asennettuna on 0,046 € / kg halvempi.

Taulukko 2: Välilliset kustannusvaikutukset harjateräksen lopulliseen kilohintaan.



Yllä olevasta taulukosta näemme muita kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Suurin osa tekijöistä vaikuttaa rakennustyömailla myös muihin työvaiheisiin. Kalusto ja raudoitehukka aiheuttaa noin 10 % lisäyksen raudoitekilon lopulliseen kilohintaan. Muut taulukossa esillä olevat tekijät saattavat vaikuttaa lopulliseen hintaan niiden toteutuessaan. Alihankkijalta tilattaessa työmaan ei esimerkiksi tarvitse itse hankkia taivutuskalustoa työmaalle.

Taulukko 3: Kokonaiskustannusvaikutukset lopulliseen kilohintaan eri urakkamuotojen kohdalla suorien ja välillisten kustannusten kanssa.



Yllä olevassa taulukossa on huomioitu eri urakkamuotoihin suoraan ja välillisesti vaikuttavat tekijät.

Raudoitteet alihankkijalta, asennus urakkana: lopullinen vaikutus kilohintaan 169,5 %

Kokonaisurakka, sisältäen tuotannon ja asennuksen: lopullinen vaikutus kilohintaan 179,5 %

Jos raudoitekilo maksaa 1 € / kg, tulee valmis raudoite alihankkijalta ja asennus urakkana maksamaan raudoitekilolta 1,695 € / kg ja työmaalla 12 metrin varastotavarasta väännettynä ja asennettuna 1,791 € / kg. Alihankkijalta tilattu valmis raudoite urakka-asennuksena tulee 0,096 € / kg halvemmaksi. 20 000 kg urakassa hintaeroa tulee 1920 euroa alihankkijalta tilattujen valmiiden, muottiin urakalla asennettavien raudoitteiden eduksi.

Jotta työmaalla tapahtuva raudoitetuotanto, sisältäen asennuksen urakkana, pystyisi kilpailemaan suoralla taloudellisella kannattavuudella, tulisi työmaalle tulevan harjateräksen hinta saada alaspäin. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kilpailuttamalla alihankkijoita.

#### **4 Työmaiden kokemuksia betoniraidoiteiden tuotannosta työmailla**

Tässä osiossa selvitetään työmaiden kokemuksia tutkittavan tuotantotavan toteutuksesta työmaalla.

Tutkimuskysymyksinä olivat [8]:

- Mitä hyviä puolia työmaa näki tuotantotavassa?
- Mitä huonoja puolia työmaa näki tuotantotavassa?
- Millä tavalla tuotantotapaa voitaisiin parantaa?

#### 4.1 Tuotantotavan hyvät puolet

Työmaat kokivat tuotantotavan pystyvän hyvin vastaamaan muuttuviin tilanteisiin työmailla. Työmaatuotannon yleisimpänä hyvänä puolena mainittiin:

- Raudoitteet ovat oikean kokoisia ja muotoisia
- Raudoitteita on sopiva määrä

Etenkin korjausrakentamisen puolella nämä koettiin suuriksi eduiksi. Korjausrakentaminen asettaa haasteita raudoitteille kohdassa 1.1.2 mainittujen erikoispiirteiden takia. Yleistä oli, että tuotannon työmaalla suoritti myös asennuksen suorittava työryhmä. Useimmissa tapauksissa tämä oli YIT Suomi Oy:n omia raudoittajia, mutta aliurakoitsijoiden kanssa on toteutettu tuotantoa tällä tavalla. On myös ollut tapauksia, joissa aliurakoitsija on hoitanut raudoitteiden tuotannon, ja YIT Suomi Oy:n raudoittajat ovat asentaneet sekä tilanteita, missä YIT Suomi Oy:n raudoittajat ovat suorittaneet tuotannon, ja aliurakoitsija on asentanut tuotetut raudoitteet.

Jotkut työmaat toimivat siten, että työmaakohtainen raudoitettuotanto oli osa koko logistiikkaketjua. Pääosa raudoitteista saapui suoraan alihankkijalta, mutta osa tuotettiin itse työmaalla. Taloissa, joissa kerrokset toteutettiin ontelolaatoilla, tämä oli yleistä. Ontelolaattojen paikallavalettaviin palkkeihin tulevat U-hakaset ja muut väännettävät raudoitteet ovat kokemuksen perusteella järkevämpää vääntää itse työmaalla. Joskus työmaat ovat joutuneet ottamaan tuotantotavan käyttöön alihankkijan logistiikkaongelmien takia aikatauluissa pysyäkseen.

Työntekijöiden näkökulmasta tuotantotapa varmistaa pidemmän työn jatkuvuuden. Asennusten välissä, esimerkiksi elementtiasennuksen ja holvimuottien valmistumisen odotusaika käytetään seuraavan kerroksen raudoitteiden leikkaamiseen ja vääntämiseen. Työntekijät kokivat, että tuotantotapa antoi heille mahdollisuuden muokata raudoitteita tarvittaessa helpommin asennettaviksi. Näissä tilanteissa on aina konsultoitu rakennesuunnittelijaa ennen kuin muutoksia on lähdetty tekemään. Tällä tavalla on saatu aikataulua nopeutettua ja työergonomiaa parannettua. Raudoitteiden määrä saadaan pidettyä sopivana, jolloin ylimääräistä siirtelyä saadaan vähennettyä. Niin työnjohtajat kuin

työntekijät pitivät erittäin tärkeänä sujuvaa kommunikaatiota työn edistymisen kannalta. Työntekijät yleensä myös osaavat jo suunnitelmia tutkiessa todeta, millä tavalla raudoitteet kannattaa toteuttaa. Tämä näkökulma saattaa jäädä huomioimatta, kun tilataan alihankkijalta.

#### 4.2 Tuotantotavan huonot puolet

Työmaat kokivat haastattelujen perusteella tutkitun tuotantotavan huonoina puolina:

- Tilan tarve
- Tuotantomuoto tuo työmaalle lisää tehtävää
- Yksi tapaturma-altis työvaihe työmaalla lisää.

Tuotantotapa vaatii tilaa, mitä ei kaikilla työmailla ole. Tuotantotapa aiheuttaa työmaalle lisää työtä, sillä tuotantotilan sekä kaluston järjestäminen vie aikaa. Lisäksi usein työmaan toimihenkilöille jää suorien tankojen tilaaminen. Alihankkijalta tilatessa työnjohton ei tarvitse kuin lähettää kuvat yhteyshenkilölle aikatauluineen ja alihankkija hoitaa loput. Työmaan ei tarvitse kuin järjestää purkupaikka saapuville raudoille. Tuotantopaikalle tarvitaan sähkö sekä tarvittavat laitteet. Tuotantotapa tuottaa myös jätettä, minkä hallinta ja logistiikka tuo lisää työtä työmaille.

Korjausrakentamisen puolella suureksi haasteeksi koettiin raudoitteiden siirto kohteelle. Kohteet saattavat usein sijaita maan alla tai vanhoissa rakennuksissa, minne torninosturin tai muun nostokaluston saaminen on käytännössä mahdotonta. Logistiikka on käytännössä tämän kaltaisilla työmailla pienkoneiden tai henkilövoimien varassa. Pienillä koneilla tulee usein haasteeksi nosto- tai vetokapasiteetti. Tämä haaste ei ole tuotantopariippuvainen. Tämä tulee tekijöiden ottaa huomioon nippujen kokoja suunnitellessa.

Yhtenä ongelmana mainittiin sairaspöissaolojen vaikutus. Raudoitteiden teko on vaativaa työtä eikä kuka tahansa pysty tai osaa toteuttaa sitä aikataulullisesti tehokkaasti. Korvaavan työvoiman saatavuus voi olla heikkoa ja tämä aiheuttaa ongelmia aikataulujen kanssa.

Työntekijät kokivat, että tuotantotapa, vaikkakin tuo jatkuvuutta työmaalla, aiheuttaa etenkin aikataulullisten ongelmien ilmetessä suurta työtaakkaa. Sekä raudotteiden teko että niiden asentaminen on fyysisesti erittäin raskasta etenkin, jos sama työryhmä toteuttaa molemmat vaiheet. Kiire luo painetta ja stressiä, mikä vähentää työn tekemisen iloa.

#### 4.3 Millä tavalla tuotantotapaa voitaisiin parantaa

Haastattelutulosten perusteella tehokkain tapa parantaa tuotantotapaa on parantaa tuotantomenetelmiä. Tehokas suunnittelu parantaa koko tuotantoketjua. Tuotantotavoissa ei nähty suurta mahdollisuutta kehittää työmaaolosuhteissa. Työmaalle ei ole taloudellisesti eikä tilan puolesta järkevää tuoda suurta kalustoa. Tuotantopisteen sijoittaminen nostolaitteiston ulottuville on tärkeää. Sujuva kommunikaatio työtä suorittavan tahon kanssa.

Korjausrakentamisen puolella logistiikan parantaminen koettiin tehokkaimpana tapana parantaa tuotantoa. Tuotantopisteen sijoittaminen mahdollisimman lähelle asennuspaikkaa vähentäisi huomattavasti kuljetuksesta tulevia haittoja ja ongelmia. Kaikissa kohteissa ei pystytä hyötykäyttämään suurempaa kuljetuskalustoa tilojen ahtauden tai sijainnin takia.

## 5 Referenssikohde

Referenssikohteena toimii kohde, jossa asennettavan harjateräksen menekki oli noin 10 000 kg. Referenssikohde sijaitsi pääkaupunkiseudulla. Kohteessa toimiva henkilömäärä:

- 3 toimihenkilöä: työpäällikkö, työmaainsinööri ja työnjohtoharjoittelija
- 1 kirvesmies ja 1 raudoittaja
- Paalutusryhmä (4 henkilöä)



Kohteessa vahvistettiin olemassa olevia perustusanturoita mantteloimalla. Kohteeseen tuli myös uudistuotantona yhden, kahden ja neljän paalun anturoita. Referenssikohteessa työ tapahtui suuressa, tilavassa hallissa sisätiloissa. Raudoitus-, muotti ja -valutöiden alkuperäinen suunniteltu kesto oli noin 3 viikkoa. Kohteessa sama työryhmä toteutti betonivaluihin liittyvät kaikki työvaiheet: raudoitteiden valmistuksen, muottityöt, raudoituksen sekä valutyöt.

## 5.1 Työn suunnittelu referenssikohteessa

Työn suunnittelu aloitettiin tutustumalla rakennesuunnittelijan toimittamiin suunnitelmiin. Yhdessä työmaan toimihenkilöiden kanssa työryhmä, joka koostui yhdestä kirvesmiehestä sekä yhdestä raudoittajasta, tutkivat ja etsivät eri tapoja toteuttaa työ. Kohteessa oli sekä selkeää uudistuotantoa että vanhojen rakenteiden vahvistamista. Yhteisellä suunnittelulla päädyttiin, että työmaa vääntää ja leikkaa kaikki tarvittavat raudoitteet suorasta harjateräksestä. Kohteessa oli tarvetta vääntöpöydälle joka tapauksessa, sillä vahvistettaviin rakenteisiin asennettävien raudoitteiden mitoittaminen suoraan kuvista ilman tarkistusmittauksia olisi ollut riskialtista ja aiheuttanut suurella todennäköisyydellä toimitettujen raudoitteiden päätyminen metallijätteenä.

Neljän paalun anturat todettiin olevan toteutuskelpoisia rakennesuunnitelmissa annettujen mitoitusperusteella. Paalutustyön viivästymisen takia työryhmä suunnitteli kaikki neljän paalun anturat toteutettavaksi mahdollisimman valmiina elementteinä. Tällä pyrittiin varmistamaan se, että paalutustyön valmistuttua itse valettava kohde saadaan mahdollisimman nopeasti valukuntoon eikä täten aiheuta myöhästymistä työkohteelle. Työryhmä laati rakennekuvien pohjalta raudoiteluettelon.

Vahvistettavat perustusanturat suunniteltiin toteutettavaksi siten, että työryhmä pääsee mitoittamaan leikattavat ja väännettävät raudoitteet vallitsevan kohteen mukaisesti eikä näitä valmistettaisi ennakoon. Kuvissa symmetrisesti samankokoiset osat eivät todellisuudessa olleet samankokoisia, vaan eri puolilla vahvistettavaa rakennetta oli suuria mitta- ja kokoeroja.



Kuva 9: Vahvistettava antura, maa- ja kiviaineksen poisto käynnissä [7].

Työmaan pienen koon takia tavoitteena oli saada kerralla tilattua tarvittava määrä suoraa harjaterästä, mistä työmaalla pystyttäisiin leikkaamaan ja vääntämään kaikki tarvittavat raudoitteet. Työryhmä käytti aikaa raudoiteluetteloiden laatimiseen ja tarvittavan harjateräksen määrän arviointiin.

#### 5.1.1 Raudoitetuotannon turvallisuussuunnitelma referenssikohteessa

Työryhmä laati yhdessä työnjohdon kanssa työstä työn turvallisuussuunnitelman (TTS). Tällä tavalla kartoitettiin työn riskitekijöitä ja pyrittiin minimoimaan ne. Todennäköisimmät riskit olivat:

- Leikkuutyön vaarat
- Vääntötyö
- Työergonomia
- Hallitrukkien käyttö logistiikan apuvälineinä.

Työryhmä perehdytettiin tilaajan toimesta hallitrukkien käyttöön.

## 5.2 Tuotantopaikan valinta referenssikohteessa

Työmaan tuotantopaikka sijoitettiin korkeaan ja tilavaan halliin, missä oli sähköpisteet hyvin saatavilla. Suorat harjateräksiset sijoitettiin puiden päälle leikkaamisen ja siirtämisen helpottamiseksi. Suuri halli oli vallitsevien olosuhteiden takia suljettu, eikä alueella liikunut muita kuin hallin huoltohenkilökuntaa sekä työmaan työntekijöitä. Raudoitteiden katkaisu suoritettiin kulmahiomakoneella. Leikkauspisteelle tuotiin tarvittava sammutuskalusto sekä muottivaneria, millä pystyttiin suojaamaan ympäröiviä rakenteita leikkaamisesta syntyvältä kipinäsuihkulta. Erillistä jäteastiaa ei tuotantopaikalle tuotu, vaan jätteet kerättiin kauluksella varustetulle kuormalavalle. Tuotantopaikan sijoitus oli kaukana itse työkohteesta, sillä työkohteeseen sijaitsi toisessa varastohallissa, minne tuotantopaikan sijoittaminen ei olisi ollut järkevää johtuen alueella tapahtuvasta liikenteestä (mm. paalutustyö) sekä tilan puutteesta.

Tuotantopaikalle rakennettiin myös hitsauspiste, missä neljän paalun anturoihin tarvittavat raudoitteet voitaisiin hitsata elementeiksi. Yhden pienemmän, yhden paalun vahvistettavan anturan raudoitteet työryhmä hitsasi valmiiksi raudoite-elementiksi työn nopeuttamiseksi.

## 5.3 Työn toteutus referenssikohteessa

Työryhmä aloitti työn toteuttamisen neljän paalun anturoista. Raudoiteluettelon pohjalta toteutettiin kohteisiin menevien raudoitteiden leikkaaminen ja muotoon taivuttaminen. Alkuperäinen suunnitelma oli asentaa raudoitteet anturamuotteihin heti, kun paalut oli saatu porattua, valettua ja muotti asennettua kohteen ympärille. Paalutustyön myöhästymisen takia työryhmä muutti suunnitelmia ja päätti asentaa tai hitsata valmiiksi elementeiksi kaikki raudoitteet, mitkä pystyttiin tällä tavalla toteuttamaan. Hitsatut raudoite-elementit eivät vaatineet luokkahitsausta, sillä kyseessä oli vain työn aikainen hitsaus, jonka tarkoitus oli ainoastaan nopeuttaa työvaihetta. Paalutustyön valmistuttua työryhmä kuljetti muottikaluston, missä oli valmiiksi asennettuna suunnitelmien mukaiset rengasteräksiset paikalleen. Tämän jälkeen paalujen päälle asennettavat raudoitteet kuljetettiin ja

asennettiin paikalleen. Lopuksi asennettiin pintaverkko. Työryhmä merkitsi kaikki raudotteet lapuilla, joista selvisi, minne mikäkin raudoite kuuluu asentaa.



Kuva 10: Valmis neljän paalun antura raudotteineen ennen betonivalua [7].

Vahvistettavien anturoiden raudotteet mitoitettiin kohteen todellisten mittojen mukaan. Vahvistettavia anturoita oli eri kokoisia, eikä kahta saman kokoista anturaa lopulta kohteesta löytynyt.





Kuva 11: Vahvistettava kahden paalun antura. Toinen paalu vanhan anturan toisella puolella [7].

Pintalattia oli aukaistu vahvistettavien anturoiden ympäriltä ja ympäriltä oli kaivettu maata pois. Paikoitellen pintalattiaa oli irronnut suuremmalta alueelta kuin oli alun perin suunniteltu. Osa pohjamaasta oli painunut todella paljon. Lisäksi sekä ympäröivään lattiaan että vanhaan anturaan jätettiin olemassa olevia harjateräksiä tartuntateräksiksi. Työryhmä joutui suunnittelemaan vahvistettavien anturoiden ympärille sellaisen muotin, mikä kestäisi valupaineen eikä sitä tarvitsisi purkaa. Työryhmä ehdotti ratkaisuksi harjateräksistä koostuvaa tukirunkoa, jota vasten asennettaisiin 100 mm EPS-styroksi. Toimitustavalle saatiin lupa työnjohdolta. Tällä ratkaisulla saatiin myös valettavan alueen kokoa pienennettyä.



Kuva 12: Vahvistettavan paaluanturan raudoitteita [7].

Valumuottien asentamisen jälkeen työryhmä pääsi mitoittamaan raudoitteiden mittoja. Jokainen vahvistettava antura numeroitiin ja muistiinpanojen pohjalta tehtiin raudoitelu-ettelo, jonka pohjalta raudoitteet leikattiin ja väännettiin haluttuun mittaan ja muotoon. Jokaisesta raudoitteesta tehtiin koekappale, joka käytiin koeasentamassa jokaiseen vahvistettavaan anturaan. Tällä varmistettiin mittojen paikkansa pitävyys sekä minimoitiin syntyvä jäte. Kun mitat oli varmistettu, aloitettiin raudoitteiden tuotanto. Kaikki raudoitteet merkittiin työryhmän toimesta lapuilla. Raudoitteiden koot mitoitettiin logistiikassa käytettävien hallitrukkien kapasiteetin mukaan.

#### 5.4 Raudoitteiden varastointi referenssikohteessa

Työmaa sijaitsi suuressa ja tyhjässä hallissa, missä tilaa oli hyvin. Työryhmä pystyi varastoimaan valmiit raudoitteet selkeästi puiden päälle. Raudoitteet oli merkitty lapuilla. Myös anturamuotit varastointiin samassa paikassa ja myös nämä oli merkitty selkeästi lapuilla. Työmaa sijaitsi sisätiloissa ja tästä syystä raudoitteita eikä muotteja tarvinnut erikseen suojata säältä.

### 5.5 Raudoitteiden logistiikka referenssikohteessa

Työkohde sijaitsi eri hallissa mitä tuotantopaikka. Kohteessa ei ollut sijainnin takia nosturia tai muuta suurempaa nostokalustoa. Hallissa oli hallitrukkeja, joiden käyttöön työmaa oli saanut luvan tilaajalta. Hallitrukeilla pystyttiin kuljettamaan kaikki tarvittavat raudoitteet kohteelle. Raudoiteniput oli mitoitettu käytettävien hallitrukkien kapasiteetin mukaan. Myös anturamuotit saatiin kuljetettua paikalleen hallitrukkien avulla. Hallitrukit toimivat tässä kohteessa erinomaisina logistiikan apuvälineinä.



Kuva 13: Referenssikohteessa käytössä ollutta logistiikkakalustoa, hallitrukki [7].

### 5.6 Raudoitteiden laadunvalvonta referenssikohteessa

Kohteessa työryhmä valvoi raudoitteiden laatua yhdessä työnjohdon kanssa. Kohteista tehtiin pöytäkirjat Congridiin. Suunnitelmamuutokset ja -ehdotukset hyväksyttiin ennen toteuttamista rakennesuunnittelijalla. Rakennesuunnittelija kävi kohteessa katselmoimassa anturat ja varmistamassa Ympäristöministeriön ohjeiden täyttymisen [5, sivu 54]. Mittausryhmä tarkasti neljän paalun anturoiden muottien kulmapisteet.

## 5.7 Referenssikohteen haasteet

Suurin yksittäinen haaste muodostui paalutustyön aikataulun myöhästymisestä. Alun perin kolmen viikon työ muuttui yli kaksi kuukautta kestäväksi. Työryhmä oli jo alussa paikallisesti sopinut työnjohdon kanssa tekevänsä myös muita, kuin ammattikuntansa edustajalle kuuluvia töitä. Niin työmaan toimihenkilöt kuin myös työntekijät hyötyivät tästä. Työnjohdon ei tarvinnut tilata jokaiseen työhön omaa tekijäänsä eikä heidän tarvinnut siirtää työvoimaa työmaalta toiselle. Työntekijöille puolestaan tämä tarkoitti sitä, että heillä oli koko ajan tekemistä eikä heidän tarvinnut vaihtaa työmaata. Molemmat työryhmän työntekijät olivat oman alansa kokeneita ammattilaisia. Lisäksi heiltä löytyi halua ja taitoa tehdä myös muita töitä. Työryhmä ehdotti paalutustyön viivästymisen takia, että toteutetaan neljän paalun anturat mahdollisimman valmiina elementteinä. Työryhmä myös suunnitteli ja ehdotti ratkaisua vahvistettavien anturoiden muoteille.

Työryhmä joutui soveltamaan ja suunnittelemaan vahvistettavien anturoiden raudoitteita. Rakennesuunnittelijan suunnitelmia ei suoraan annetuilla mitoilla olisi pystytty toteuttamaan ilman, että rakenne olisi kasvanut suuremmaksi kuin oli suunniteltu. Työjärjestystä jouduttiin suunnittelemaan tarkasti. Jokaiseen vahvistettavaan yhden ja kahden paalun anturoihin tuli suunnitelmien mukaan injektoitavaksi harjaterästä tartunnan varmistamiseksi. Rakennesuunnitelmissa U-hakasen muotoisia raudoitteita jouduttiin muuttamaan kahdeksi D-hakasen muotoiseksi, jotta työ voitaisiin toteuttaa. Lupa muutoksiin hyväksyttiin aina ensin rakennesuunnittelijalla.

## 6 Yhteenveto

Betoniraidotteiden tuotanto rakennustyömaalla on varauksellisesti vertailukelpoinen toteutustapa alihankkijalta tilaamiseen verrattuna. Tuotantotapa sopii niin uudis- kuin korjaus- ja infrarakentamiseen. Uudisrakennuskohteissa on usein taloudellisempaa tilata raudoitteet suoraan alihankkijalta ja hoitaa asennus urakkana. Korjausrakennuskohteissa sekä kohteissa, joissa on odotettavissa suunnitelmamuutoksia tai kohde on muuten rakenteellisesti haastava ja vaihteleva nousee tuotantotapa positiivisessa valossa esiin. Raidotteiden tilaaminen suoraan alihankkijalta on työmaan kannalta usein helppoa ja vähemmän työlästä. Työmaalla tuotetut raudoitteet taas pystyvät vastaamaan



tehokkaasti ja nopeasti työmaalla muuttuviin tilanteisiin eikä suunnitelmamuutokset aiheuta aikataulupaineita, kun tarvittavat raudoitteet saadaan nopeasti tuotantoon.

Tuotantopaikka vaatii työmaalla suunnittelua, tilaa, laitteet sekä ammattitaitoista työvoimaa. Tila on usein työmailla kortilla, eikä suurelle raudoitetuotannolle ole usein mahdollisuutta varata ahtailta tonteilta tilaa. Tehokkaan tuotannon edellytys on myös ammattitaitoinen työvoima. Työ on erikoistyötä eikä siihen kouluteta erikseen. Tehtailla koneet vääntävät raudoitteet harjateräskiepiltä, eikä työntekijän tarvitse kuin osata ohjelmoida kone ja niputtaa raudoitteet. Työmaalla raudoitteet leikataan suorasta harjateräksestä ja väännetään sähkökäyttöisellä vääntöpöydällä. Lisäksi tarvitaan varastopaikka, ellei valmiita raudoitteita pystytä suoraan siirtämään raudoitettavalle kohteelle.

Työryhmä laatii raudoitteista raudoiteluettelon, jonka pohjalta he leikkaavat ja vääntävät oikean määrän oikeanlaisia ja paksuisia raudoitteita. Tämän jälkeen raudoitteet merkitään, niputetaan ja siirretään joko varastointialueelle tai työkohteelle. Työ sisältää useita tapaturma-alttiita työvaiheita, joiden tunnistaminen työn turvallisuussuunnitelmassa on tärkeää.

Taloudellisesti on usein kannattavampaa tilata valmiit raudoitteet alihankkijalta ja suorittaa asennus urakkana. Jotta työmaalla tapahtuva raudoitetuotanto pystyisi kilpailemaan taloudellisesti valmiiden raudoitteiden kanssa, tulisi varastomittaisten harjaterästen ostohintaa saada halvemmaksi tai vaihtoehtoisesti saada työvoiman kustannuksia pienemmäksi.

Työmaiden kokemukset tuotantotavasta olivat positiivisia. Raudoitteita saatiin tuotettua sopiva määrä, ne olivat oikeanlaisia eikä suunnitelmamuutokset aiheuttaneet viivästyksiä aikatauluihin. Raudoitehukan määrä oli usein myös pienempi. Huonoina puolina todettiin tilan tarve, työläs suunnittelu sekä tapaturma-alttius sekä kohonneet kustannukset. Työmaat kokivat, että paras tapa tehostaa tuotantotapaa olisi kehittää tuotantomenetelmiä. Korjausrakentamisen puolella koettiin, että logistiikan parantaminen edistäisi tehokkuutta kaikista parhaiten.

## 7 Pohdinta

Lähdin tekemään tätä työtä jatkumona innovaatioprojektille, missä tutkimme parini kanssa raudoitelogistiikan parantamista työmaan ja alihankkijan välillä (Valuraudoituksen hankinnan ja logistiikan konseptointi). Tuon työn pohjatyöstä oli apua tämän työn toteuttamisessa, sillä monet haasteet toistuvat molemmissa tutkielmissa. Opinnäytetyöni aiheesta on vähän suoraan aihetta käsittelevää kirjallisuutta, joten päätin toteuttaa tutkielmani pääosin haastattelemalla YIT Suomi Oy:n työntekijöitä ja toimihenkilöitä sekä käyttämällä referenssikohdetta sekä normeja, standardeja ja säädöksiä. Haastattelukysymysten luominen oli ensimmäinen haaste: Miten tehdä kysymys, missä en johdattele kysyttävää minun mielestäni oikean vastauksen suuntaan. Saman asian kanssa painimme innovaatioprojektin kanssa. Näin jälkikäteen tarkasteltuna muutaman kysymyksen olisi voinut muotoilla toisin.

Haastattelutulokset avasivat paremmin työmaan näkökulmaa tuotantotapaan ja sen menetelmiin. Vuodesta 2008 lähtien raudoittajan työskennellessä olen toteuttanut usealla työmaalla raudoitteiden tuotannon tutkielmassa esitetyllä tavalla. Oli jo tulevan toimenkuvani takia tärkeää päästä kuulemaan työmaan toimihenkilöiden kokemuksia asiasta. Vaikka molemmat, niin toimihenkilöt kuin työntekijätkin, tähtäävät samaan lopputulokseen, oli näkökulmat aiheeseen eriäviä.

Toivon innovaatioprojektini sekä tämän työn auttavan työmaita tehostamaan raudoitteisiin liittyvää logistiikkaa ja tuotantoa sen ympärillä sekä antavan työmaille laajempaa näkökulmaa raudoituksen kokonaisuudesta. Suuret kiitokset YIT Suomi Oy:lle mahdollisuudesta toteuttaa nämä työt.

## Lähteet

- 1 Betoninormit BY65, BY-Koulutus, 6. painos, 2023, haettu 4.5.2023.
- 2 Punkki, J. 2017 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu Betoni 2, haettu 10.05.2023, sivu 70 [https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702\\_66-71.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_66-71.pdf)
- 3 Lastunen, A. Taivutustelan halkaisijan määrittäminen Suunnittelu ja innovaatiot Nro 2 / 2022, haettu 12.05.2022 <https://betoni.com/lehti/2022/06/02/taivutustelan-halkaisijan-maarittaminen/>
- 4 Bau-Met Oy, Tecmor PF62-S harjaterästaivutin, verkkosivu, haettu 9.6.2023 [https://bau-met.fi/cdn/shop/products/PF-62-S-copia\\_877x942\\_crop\\_center.jpg?v=1566909358](https://bau-met.fi/cdn/shop/products/PF-62-S-copia_877x942_crop_center.jpg?v=1566909358)
- 5 Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista, 3) Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B4 (2005), betonirakenteista annettu ympäristöministeriön asetus, <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/b4.pdf>
- 6 SFS 1267 Betoniraudotteet. Teräsbetonirakenteissa käytettävät raudotteet. 2008. SFS-standardit. Haettu 25.05.2023
- 7 Referenssikohde, YIT Suomi Oy, 2020
- 8 Bau-Met Oy, Schnell Eura 16 hakas- ja raudoiteautomaatiokone, verkkosivu, haettu 9.6.2023, <https://bau-met.fi/collections/schnell/products/schnell-aura-16-raudoitusautomaatikone>
- 9 Kristersson T, Meskanen I, Innovaatioprojekti, 2022

## Haastattelut

Haastatteluihin vastasi 5 raudoittajaa ja 10 toimihenkilöä. Haastattelut toteutettiin sähköpostihaastatteluina. Haastattelut toteutettiin 1.5.2023 – 16.8.2023 välisenä aikana.

Haastattelut:

- Miten tutkittava tuotantotapa soveltuu uudisrakentamiseen ja mitä erikoispiirteitä tämä asettaa

Työntekijöiden mielestä tuotantotapa sopii erinomaisesti uudisrakentamiskohteisiin. Kaikki tarvittavat raudotteet voidaan tuottaa tehokkaasti työmaalla. Tuotantotapa tuo myös raudoittajien näkökulmasta jatkuvuutta työhön. Ainoa erikoispiirre raudoittajien mielestä on se, että tarvitaan ns. tuotantopaikka.

Toimihenkilöiden mielestä tuotantotapa sopii uudisrakentamiseen. Tuotantotapa asettaa työmaalle tarpeen suunnitella tilan ja logistiikan tuoma tarve. Uudisrakennuskohteissa koettiin toimihenkilöiden puolesta usein helpommaksi ja mielekkäämmäksi tilata raudotteet alihankkijalta.

- Miten tutkittava tuotantotapa soveltuu korjausrakentamiseen ja mitä erikoispiirteitä tämä asettaa

Raudoittajien mielestä tuotantotapa sopii erinomaisesti korjausrakentamiseen johon usein korjattavien rakenteiden yllätyksistä sekä suunnittelun puutteesta tai sen perässä laahaamisesta. Tuotantotavalla myös raudoittajat saavat työllistettyä itsensä pidemmän aikaa työmaalla.

Toimihenkilöiden mielestä tuotantotapa sopii hyvin korjausrakentamiseen. Tehtaalta tilattuihin raudotteisiin verrattuna hukkaraudan määrä vähenee. Tehtaalta tilattuja raudotteita menee usein juuri korjausrakennuskohteissa jätelavalle väärin mittojen tai suunnitelmamuutosten takia.

- Mitkä ovat alihankkijalta tilattavien raudoitteiden edut ja haitat

Raudoittajien mielestä alihankkijalta tilattavat raudoitteet ovat hyvä ja toimiva ratkaisu, joskin se vähentää heidän työtänsä. Välillä tämä on hyvä asia, sillä työryhmät voivat täten ottaa itsellensä useampia kohteita varmistaen, ettei urakat jää tekemättä aikatauluongelmien takia. Haittana ilmenee se, että raudoitteet eivät välttämättä ole oikeanlaisia, vaikka ne olisikin väännetty rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukaan.

Toimihenkilöiden mielestä alihankkijalta tilattavien raudoitteiden etu on helppous. Sopimuskumppanille lähetetään tarvittavat kuvat, ilmoitetaan aikataulu ja odotetaan tilauksen saapumista työmaalle. Tilaa eikä laitteita tarvitse järjestää työmaalle sekä reklamaatioiden teko nähdään selkeämpänä ja helpompana sekä usein taloudellisempänä. Haittana ovat mahdolliset virheet tehtaassa raudoiteluetteloita tehtäessä, suunnitelmamuutokset työmaalla sekä ylijäämäteräksen määrä. Kommunikaatio ja siinä ilmenevät vaikeudet saattavat aiheuttaa ongelmia raudoitteiden tilaamisessa. Työmaat eivät aina muista / tajua sanoa, tarvitaanko esimerkiksi työteräksiä tai työpukkeja pitämään pinnat erillään toisista eikä tehtaalta välttämättä muisteta, ehditä tai viitsitä varmistaa asiaa työmaalta. Alihankkijalta tilatut raudoitteet ovat myös usein taloudellisempi vaihtoehto useille työmaille.

- Mitkä ovat työmaalla tapahtuvan raudantuotannon edut ja haitat

Raudoittajien mielestä työmaalla tapahtuvan tuotannon suurin etu on mahdollisuus valmistaa oikeanlaisia raudoitteita juuri oikea määrä. Raudoittajien näkökulmasta tällä tavalla saadaan myös työllistettyä työntekijöitä. Haittana raudoittajat näkivät mahdolliset aikatauluongelmat, jos sama työryhmä sekä leikkaa ja vääntää sekä asentaa raudoitteet.

Toimihenkilöiden mielestä tuotantotavalla saadaan työmaalla valmistettua oikea määrä oikeanlaisia raudoitteita. Haittana toimihenkilöt kokivat, että tuotantotapa vaatii tilaa, sen suunnittelu lisää työmäärää sekä laitteiston hankkiminen maksaa. Lisäksi

työtä suorittavan tahon tulee olla ammattitaitoista. Työ on erikoistyötä, mihin ei ole olemassa suoraa koulutusta. Tehtaalla automaattikoneet tekevät suurimman osan työstä, eikä työntekijän tarvitse osata kuin ohjelmoida kone, vaihtaa rullakiepit sekä pakata tuotteet. Työmaalla täytyy osata laskea raudoitteiden vääntämisessä tapahtuva venyminen, mitoittaa raudoitteet oikean mittaisiksi sekä osata käyttää oikeankokoista vääntörissaa. Myös väännettävien raudoitteiden optimaalinen määrä eri paksuuksille tulee tietää, jotta tuotanto olisi tehokasta. Työmaalla tapahtuva raudoitettuotanto on usein kalliimpaa kuin valmiiden raudoitteiden tilaaminen alihankkijalta.

- Mitä laitteita ja työkaluja tarvitaan tuotannon toteuttamiseen?

Vastauksissa ei ollut merkittäviä eroja ryhmien välillä.

Tarvittavia laitteita ovat: sähkökäyttöinen raudantaivutin sekä katkaisulaite. Lisäksi tarvitaan, minkä päällä suorat harjateräkset lepäävät työmaalla, valmiiden nippujen sitomiseen soveltuvaa paksumpaa lankaa sekä säänkestäviä merkklauslappuja.

Vääntöpöydän tulee olla laadukas. Vääntöpöydän molemmissa päissä tulee olla riittävästi tilaa, jotta raudoitteita voidaan käsitellä ja vääntää turvallisesti. Vaihtoehtona on myös ottaa raudoituskontti, minkä saa auki, kiinni ja lukkoon. Raudantaivutin tulee suojata sääolosuhteilta esimerkiksi katoksella tai sijoittaa se, mikäli mahdollista, sisätiloihin. Mikäli vääntöpöytä ei ole ns. raudoituskontissa, tulee pöytien molempiin päihin tehdä riittävä (2–4 metriä, riippuen kohteesta) jatkopöytä harjaterästen käsittelyä varten.

Katkaisuvälineenä yleisin on kulmahiomakone. Joissain kohteissa toimihenkilöt olivat tilanneet hydraulisen katkaisukoneen, mutta raudoittajat eivät sen käytöstä yleensä innostuneet. Syy tähän on se, että raudoitteiden vetäminen maantasossa tai matalalla on raskasta, eikä työmaakäytössä näkyvillä hydraulisilla katkaisukoneilla pysty leikkaamaan suorita harjateräksiä yhtä nopeasti ja tehokkaasti mitä kulmahiomakoneella. Kulmahiomakone aiheuttaa tulipalon vaaran, mikä tulee huomioida työn toteutuksessa. Lisäksi hengityssuojaimen käyttö on suotavaa, sillä katkaistessa irtoaa rautapölyä. Raudoittajien vastausten perusteella kulmahiomakone on nopein ja tehokkain tapa katkaista harjateräksiä. Työtapa aiheuttaa ergonomian kanssa

haasteita. Raudoittajat mainitsivat myös bensakäyttöisen timanttisahan, mutta selaista ei haastattelujen perusteella ole käytetty yhdelläkään kohteella.

- Mitkä ovat tuotannon aloittamisen edellytykset työmaalla ja miten ne toteutetaan?

Raudoitteiden leikkaamiselle ja vääntämiselle tulee olla suunniteltu sopiva paikka, missä on riittävästi tilaa suorille harjateräksille sekä varastointitila valmiille raudoitteille. Tarvittavat laitteet ja tarvikkeet tulee olla työmaalla. Valmiiden raudoitteiden kuljetuksen logistiikka tulee olla suunniteltuna. Logistiikkatavan toteutus vaihtelee kohteen asettamien erityispiirteiden mukaan: onko torninosturia jne.

- Miten tuotannon suunnittelu toteutetaan?

Tuotannon suunnittelu lähtee ajan tasalla olevien raudoitekuvien pohjalta. Uudiskoh-teissa voidaan raudoiteluettelo toteuttaa usein suoraan rakennekuvien pohjalta. Korjauusrakennuskohteissa saatetaan joutua tekemään koekappaleita ennen laajemman tuotannon aloittamista, jotta pystytään varmistamaan raudoitteiden sopivuus sekä minimoimaan syntyvä jäte. Rakennekuvista selvitetään raudoitteille asetetut vaatimukset (taivutussäteet, jatkospituudet). Mikäli näitä ei ole erikseen kuvissa mainittu, tulee noudattaa voimassa olevia normeja. Liian ohuella taivutustelalla taivutetut raudoitteet saattavat katketa eivätkä täten täytä vaatimuksia. Liian paksulla taivutetut taas saattavat siirtää sisälle asennettavat teräkset kauemmas kuin on suunniteltu, täten mahdollisesti vaikuttaen rakenteen kantavuuteen. Työryhmän ammattitaito sekä työmaalla tapahtuva laadunvalvonta nousee tässä avainasemaan.

Suunnitelmien pohjalta tehdään raudoiteluettelo. Luettelo toimii osana ennakkosuunnittelua. Luetteloon merkitään kohteeseen menevät raudoitteet. Luettelosta selviää paksuus, mitat, muoto, kohde. Luettelo mahdollistaa sen, että työvoiman vaihtuessa pystyy toinen työntekijä jatkaa suoraan siitä, mihin edellinen jäi. Käytännön suunnittelu jätettiin usein työryhmän vastuulle.

- Miten suunnitelmat toteutetaan? Mitä eri vaiheita tähän kuuluu?



Suunnitelmien toteutus on kaksivaiheinen: harjaterästen leikkaaminen ja vääntäminen. Leikkaaminen tapahtuu tavallisimmin 12 metriä pitkistä harjateräksistä leikkamalla. Raudoiteluettelon pohjalta leikataan haluttu määrä joko suoraa tai väännettäväksi menevää harjaterästä ja joko niputetaan ja merkitään ne tai siirretään vääntöpöydälle. Harjateräkset lepäävät useimmiten puuparrujen päällä, pitäen ne irti maasta ja helpottaen käsittelyä ja leikkaamista. Haluttu määrä harjaterästä siirretään joko sivuun tai nostetaan irralleen muista harjateräksistä puupalojen avulla. Työryhmä suunnittelee leikattavat niput siten, että ne ovat myöhemmin mahdollisimman tehokasta asentaa työkohteessa. On helpompaa jakaa neljä sadan kappaleen nippua kuin yhtä neljänsadan kappaleen nippua.

Raudoitteiden taivutus muotoonsa on seuraava vaihe. Raudoiteluettelon pohjalta leikataan ensiksi oikea määrä harjateräksiä. Yleensä tehdään koekappaleita, joilla varmistetaan harjateräksen sopiva pituus sekä sopivuus kohteeseen, mikäli se koetaan tarpeelliseksi. Vääntäessä tulee tietää, että harjateräs venyy. Tämä tulee huomioida harjateräksiä leikatessa, ettei valmiiden raudoitteiden mitoissa ole poikkeamia. Mikäli mittapoikkeamat eivät vaikuta asennustyöhön tai kantavuuteen, voidaan tietyt raudoitteet vääntää hieman eriävillä mitoilla. Yleisintä tämä on U-mallin hakasissa, missä pidemmät ”hännät” eivät yleensä haittaa. Tällä tavalla pystytään myös kontrolloimaan syntyvää jätettä: heitetäänkö 5 cm pala jätelavalle vai väännetäänkö 500 mm pitkät hännät 525 mm pitkiksi. Umpihakasissa normaali mitoitus tapa on hakasen mitat + 100 mm. Umpihakasten nokka on usein 100 mm pitkä. Joissain suunnitelmissa saatetaan vaatia 150 mm tai peräti 200 mm pitkä. Tällöin umpihakaseen tarvittavan harjateräksen pituus muuttuu. Työryhmän tulee olla tutustunut suunnitelmiin ja olla tietoinen vaatimuksista. Raudoitteet väännetään haluttuun kulmaan ja kulma säädetään digitaalisesti tai mekaanisesti, riippuen raudantaivuttimen mallista. Taivuttaessa harjateräksen paksuus sekä käytössä oleva taivutustela (rissa) vaikuttaa siihen, kuinka monta harjaterästä voidaan yhdellä kerralla taivuttaa. Taivutettavan raudoitteen muoto vaikuttaa myös tähän. D-hakasia voidaan vääntää kerralla useampia mitä umpihakasia. Harjateräkset tulee asettaa rissan ja taustalevyn väliin siten, että harjat ovat saman suuntaiset kaikissa. Tällä tavalla pystytään varmistamaan, ettei väännettäessä tule mittapoikkeamia.

Joissain kohteissa raudoitteita hitsattiin valmiiksi elementeiksi. Tämä tehtiin aikataulusyiden takia. Työvaihe saattoi olla muuten jumissa (perustustyöt, muottityöt), jolloin työryhmä työnjohdon kanssa suunnitteli, miten aikataulussa pysytään. Elementit saadaan asennettua paikalleen nopeasti eikä työryhmän tarvitse odottaa toimitettuna. Raudoite-elementtien hitsaaminen työmaalla katsotaan aina tapauskohtaisesti.

Varastointi toteutetaan työnjohdon suunnittelemaan paikkaan. Tämä sijaitsee yleensä tuotantopisteen välittömässä läheisyydessä. Raudoitteet niputetaan pakulla teräslangalla hyvin ja niihin laitetaan ehjät ja vaatimukset täyttävät nostoliinat valmiiksi. Irtonaisia päitä ei saa jäädä nipuista törröttämään, etteivät ne tarraa nostettaessa kiinni ja aiheuta vaaratilannetta. Mikäli mahdollista, raudoitteet nostetaan suoraan asennuskohteen välittömään läheisyyteen. Yleensä tämä ei ole mahdollista, joten välivarastointi joudutaan toteuttamaan. Valmiit niput tulee merkitä selvästi, että löydetään oikeat raudoitteet.

Syntyvä jäte toimitetaan jätelavalle (teräslava). Lavan tulee olla tuotantopisteen välittömässä läheisyydessä. Mikäli jämäpaloja pystytään käyttämään esimerkiksi tartuntoina, laitetaan sopivat harjateräksen palat sivuun odottamaan käyttöä. Useimmiten 30 cm ja lyhyemmät palaset heitetään jätelavalle.

Toimihenkilöt jättivät käytännön toteutuksen yleensä työryhmän huolehdittavaksi. Toimihenkilöt valvoivat pääsääntöisesti raudoitteiden laatua pistokokein, käyttämällä CONGRID-järjestelmää. Ulkopuolinen valvonta tarkasti joissain kohteessa pistokokein raudoituksia.

- Miten valmiit tuotteet varastoidaan?

Valmiit tuotteet varastoidaan työmaan toimihenkilöiden osoittamaan paikkaan. Valmiit raudoitteet niputetaan sopiviksi nipuiksi, varmistetaan teräslangalla, laitetaan asianmukainen nostoliina ja lopuksi merkitään lapulla, mistä selviää: sijainti, määrä, laatu, pakkaus.

- Miten syntyvä jäte hallitaan ja käsitellään?

Syntyvä jäte kierrätetään. Raudoitetuotantopisteen läheisyyteen laitetaan teräslava, jonne käyttökkelvottomat pätkät ja epäonnistuneet koekappaleet laitetaan. Käyttökelpoiset pätkät säilytetään raudoitteipisteen läheisyydessä

- Miten työturvallisuus toteutetaan ja mitä erikoispiirteitä tuotantotapa tuo työturvallisuuteen?

Työryhmä laatii työn turvallisuussuunnitelman. Tällä pyritään tunnistamaan vaaroja ja ennaltaehkäisemään. Yleisimpiä haastattelussa esiin nousseita riskejä olivat:

- Raudan leikkaamisessa tapahtuvat tapaturmat (kulmahiomakone osuu esim. jalkaan), viiltohaavat
- Raudan leikkaamisen tulityöt ja niiden riskit
- Harjateräsnippujen päällä kulkeminen
- Työergonomia
- Olosuhteiden tuomat haasteet (liukkaus, kuumuus)
- Vääntötyön turvallisuus (sormet raudan ja pöydän välissä)
- Työmaaliikenne ja työmaalla liikkuminen.

Vaarallisimpia työvaiheista on raudoitteiden katkaisuvaihe sekä vääntövaihe, Katkaisuvaiheessa usein kävellään harjaterästen päällä. Jotka voivat olla jäisiä tai ne saattavat päästä pyörähtämään jalan alla. Leikkuutyö aiheuttaa tulipalon riskin. Työntekijällä tulee olla asianmukaiset suojavarusteet. Harjateräksiin voi kompastua, astua ohi. Harjaterästen liikuttelu on fyysisesti raskasta.

Vääntäessä tulee työntekijän tuntee ja osata käyttää laitetta. Riskinä on joutua puristuksiin pöydän ja harjaterästen väliin, sormi saattaa jäädä taustalevyn ja raudoitteiden väliin. Tärkeää on myös estää ulkopuolisten pääsy raudantaivuttimelle.

- Mitä hyviä puolia työmaa näki tuotantotavassa?

Raudoittajien mielestä työtapa tuo lisää työtä ja jatkuvuutta. Työryhmän ei tarvitse esimerkiksi elementtiasennusten tai muottiasennusten välillä poistua työmaalta, vaan he voivat käyttää ajan raudoitteiden valmistamiseen. Lisäksi he kokivat, että he pystyvät paremmin vaikuttamaan lopputulokseen pääsemällä itse suunnittelemaan raudoitteiden tuotantoa. Tällä tavalla on pystytty helpottamaan mm. työergonomiaa.

Toimihenkilöiden mielestä tuotantotavan hyvinä puolina oli se, että raudoitteita on aina oikea määrä ja niitä saadaan oikeaan aikaan. Joillain työmailla on jouduttu tuotantotapa käyttöön alihankkijan toimitusongelmien takia. Joskus tuotantotapaan on turvauduttu eteen tulleiden suunnitelmamuutosten takia.

Etenkin korjausrakentamisen kohteissa tämä koettiin suurena etuna niin työntekijöiden kuin toimihenkilöiden puolelta. Korjausrakentamisessa erityispiirteinä ovat muuttuvat suunnitelmat ja korjattavien tai parannettavien kohteiden mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna pystyttiin säästämään rahaa, kun tilattua materiaalia ei tarvitse heittää jätelavalle kierrätettäväksi eikä aikaa kulu uusien raudoitteiden saapumisen odotteluun.

- Mitä huonoja puolia työmaa näki tuotantotavassa?

Toimihenkilöiden mielestä tuotantotavan huonoina puolina olivat:

- Tilan tarve
- Tuotantomuoto tuo työmaalle lisää tehtävää
- Yksi tapaturma-altis työvaihe työmaalla lisää

- Kalliimpi kilohinta.

Tila on usein kortilla työmailla. Työmaalle tulee hommata myös tarvittavat laitteet ja järjestää niille sähköt. Tuotantotavasta syntyy myös lisää jätettä. Kaikki työhön liittyvä suunnittelu tarkoittaa lisää työtä työmaan toimihenkilöille. Alihankkijalta tilattaessa toimihenkilöiden tarvitsee usein vain lähettää suunnitelmat alihankkijan tuotannon-suunnittelijalle, ja raudoitteet saapuvat yleensä aikataulun mukaan.

Korjausrakentamisen puolella koettiin, että tuotantotavan vaatima logistiikka tuottaa eniten päänsivaa. Kohde saattaa sijaita maan alla tai muuten hankalassa paikassa, minne raudoitettuotannolle ei pystytä järjestämään paikkaa, vaan raudoitteet väännetään kaukana raudoitettavasta kohteesta. Joissain kohteissa ainoa käytössä oleva logistiikka tapahtuu pienkoneiden ihmistyön voimin. Tämä tulee ottaa huomioon raudoitteiden riippuvien kokoja suunnitellessa.

Sairauspoissaolot saattavat aiheuttaa ongelmia. Korvaavan työvoiman saaminen työmaalle voi olla vaikeaa, sillä ammattitaitoisia tekijöitä ei välttämättä ole saatavilla. Uuden työntekijän saapuessa työmaalle osa ajasta menee aina perehdytyksiä tehdessä. Lisäksi henkilöllä menee hetki saada kiinni työvaiheesta ja siitä, missä mennään.

Työmaalla tapahtuva raudoitettuotanto on usein kalliimpaa mitä raudoitteiden tilaaminen alihankkijalta. Lopulliset kustannukset saattavat tasoittua eri kohteissa, mutta aikatauluongelmien ja syntyvän jätteen kohdalla kustannusten laskeminen ennakoon on vaikeaa.

Työntekijöiden mielestä tuotantotapa saattaa aiheuttaa aikataulupaineita ja sitä kautta kasvattaa työtaakkaa. Etenkin jos sama porukka tuottaa raudoitteet ja asentaa ne. Molemmat työvaiheet ovat fyysisesti raskaita. Kiire lisää stressiä, mikä vähentää työn mielekkyyttä.

- Millä tavalla tuotantotapaa voitaisiin parantaa?

Tuotantomenetelmien parantaminen on tehokkain tapa parantaa tuotantotapaa. Haastattelutulosten perusteella niin toimihenkilöt kuin raudoittajatkin totesivat, että työmaaolosuhteissa tämä on haastavaa. Työmaille ei saada samanlaisia automaatiokoneita mitä raudoitetuotantoon tarkoitetuilla halleilla on. Hyvä ennakkosuunnittelu on tehokkain tapa parantaa tuotantoa. Tuotantopaikan hyvä sijoittelu tehostaa myös tuotantoa.

Korjausrakentamisen kohteissa raudoitteiden logistiikka tuotantopaikalta itse raudoitettavalle kohteelle on usein haastavinta. Toimihenkilöt ja raudoittajat kokivat, että korjausrakentamisen kohteissa logistiikan parantaminen tehostaisi tuotantoa eniten. Ongelmana koettiin usein toimihenkilöiden puolelta, että suurempaa kuljetuskalustoa ei pystytä hyötykäyttämään työkohteen ahtauden tai sijainnin takia.