



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

**KORKEALUJUUSTERÄSTEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA**

Aleksi Lehtonen

**KANDIDAATINTYÖ**

**2016**

Ohjaaja: Matti Kangaspuoskari

# TIIVISTELMÄ

Korkealujuusterästen käyttö rakentamisessa

Alexi Lehtonen

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2016, 23 s. + 0 s. liitteitä

Työn ohjaaja: Matti Kangaspuoskari

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tutkia korkealujuusterästen käyttöä rakentamisessa. Lisäksi tutkitaan eroavaisuuksia korkealujuusterästen ja normaalilujuisten rakenneterästen rakentamiseen vaikuttavissa mekaanisissa ominaisuuksissa.

Työn tuloksena saatiin selville korkealujuusterästen käytön myötä saadut hyödyt sekä mahdolliset haasteet rakentamisessa.

*Asiasanat: Korkealujuusteräs, rakentaminen, mekaaniset ominaisuudet*

## **ABSTRACT**

The use of high strength steels in construction

Alexi Lehtonen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2016, 23 p. + 0 p. appendixes

Supervisor: Matti Kangaspuoskari

The object of this bachelor thesis is to research the usage of high strength steels in construction. In addition, the object is to compare construction related mechanical properties between high strength steels and normal structural steels.

As a result, the thesis proofed the benefits and potential issues regarding the usage of high strength steels in construction.

*Keywords: High strength steel, construction, mechanical properties*

## **ALKUSANAT**

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia korkealujuusterästen käyttöä rakentamisessa. Työssä tutkittiin korkealujuusterästen käytössä vaikuttavia mekaanisia ominaisuuksia sekä mahdollisia käyttökohteita.

Työn ohjaajana toimi Matti Kangaspuoskari, jolta sain apua varsinkin liittyen työn rakenteeseen sekä aihealueen rajaamiseen.

Oulu, 26.1.2016

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	7
2 KORKEALUJUUSTERÄKSET .....	8
2.1 MÄÄRITTELY .....	8
2.2 KORKEALUJUUKSISET RAKENNETERÄKSET .....	8
2.3 KORKEALUJUUSTERÄSTEN LAATUJA .....	9
2.3.1 RUUKIN OPTIM QL JA OPTIM MC .....	9
2.3.2 HSLA –TERÄS .....	10
2.3.3 HPS -TERÄS .....	10
3 RAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT OMINAISUUDET .....	11
3.1 MEKAANISET OMINAISUUDET .....	11
3.1.1 LUJUUS .....	11
3.1.2 JÄYKKYYS .....	13
3.1.3 STABILITEETTI .....	13
3.1.4 VÄSYMINEN .....	14
3.1.5 HITSATTAVUUS .....	15
3.2 HINTA JA SAATAVUUS .....	16
4 KÄYTTÖ .....	17
4.1 KÄYTÖN VAIKUTUKSET .....	17
4.2 KÄYTTÖKOHTEET .....	18
4.2.1 KOTELOPILARIT .....	18
4.2.2 SILLAT .....	19
5 YHTEENVETO .....	21
6 LÄHTEET .....	22

## MERKINNÄT JA LYHENTEET

C	kylmämuovattu teräs
$f_y$	myötöraja
$f_u$	vetomurtolujuus
L	teräslaji joka on sitkeä myös matalissa lämpötiloissa
M	termomekaanisesti valssattu teräs
Q	karkaistu teräs
t	rakenneosan paksuus
HPS	high performance -teräs
HSLA	high strength low alloy -teräs

# 1 JOHDANTO

Korkealujuusterästen käyttö rakentamisessa on kasvavassa suosiossa. Korkealujuusteräksiä käytetäänkin nykyään monissa eri rakenteissa sekä rakennelmissa. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia missä rakentamisen osa-alueissa korkealujuusteräksiä pääasiassa käytetään ja niiden käytön myötä tulevia hyötyjä ja haittoja verrattuna normaalilujuisiin rakenneteräksiin. Verrattavina olivat pääasiassa rakenteiden mekaaniset ominaisuudet sekä hinta ja saatavuus.

Korkealujuusterästen kasvava käyttöaste rakentamisessa johtaa juurensa suunnittelijoiden haluun luoda kevyempiä ja ohuempia rakenteita menettämättä rakenteiden lujuus- tai muita tärkeitä mekaanisia ominaisuuksia. Varsinkin ohuemmat rakenteet luovat suunnittelijoille uusia haasteita rakenteiden kestävyuden kannalta. Tässä työssä tutkitaan yleisellä tasolla mekaanisten ominaisuuksien eroavaisuuksia normaalilujuisten terästen sekä korkealujuusterästen välillä. Lisäksi tutkitaan korkealujuusteräsen käytön myötä tulevia haasteita suunnittelijoille sekä pohditaan näihin ongelmiin mahdollisia ratkaisuja. Korkealujuusterästen tuomia lisäsääntöjä tutkitaan myös kansallisen liitteen sekä standardien tasolla.

Korkealujuusteräket ovat olleet pitkään vähäisessä käytössä koska niiden käyttöä ei olla osattu suunnitella oikein. Viime aikoina korkealujuusteräket ja niiden suunnittelu ovat kuitenkin kehittyneet tasaisesti, josta johtuen työhön pyrittiinkin löytämään mahdollisimman uusia julkaisuja. Uusilla julkaisuilla pyritään varmistamaan tämän hetkinen tilanne muun muassa korkealujuusteräsrakenteiden tuomista kustannussäästöistä sekä ympäristöpäästöjen vähenemisistä.

## **2 KORKEALUJUUSTERÄKSET**

### **2.1 MÄÄRITTELY**

Ensimmäiset korkealujuusteräket valmistettiin karkaisemalla jo 1960 –luvun puolessa välissä. Tämän jälkeen käsite korkealujuusteräksestä on vuosien saatossa muuttunut useaan kertaan. Esimerkiksi yleisin Euroopassa käytettävä teräslaji S355 mielettiin 1950 –luvulla vielä korkealujuusteräkeksi. Tälläkään hetkellä korkealujuusterästen määrittämiselle ei ole olemassa yhtä selvää yhteistä linjaa. Yleisesti sanotaankin että teräket joiden myötölujuus on suurempi kuin yleisillä rakenneteräksillä voidaan mieltää korkealujuusteräkeksi. (Gogou 2012.)

Tässä työssä korkealujuusteräksillä tarkoitetaan SFS-EN 1993-1-12 standardin kansallisen liitteen mukaisia teräksiä, joiden lujuus on suurempi kuin S460 mutta enintään S700.

### **2.2 KORKEALUJUUKSISET RAKENNETERÄKSET**

Rakenneteräket voidaan luokitella kahteen luokkaan, seostamattomiin- ja seosteräksiin. Seostamattomat teräket määritellään seosainepitoisuuksien mukaan. Pitoisuudet eivät saa ylittää arvoja; alumiini 0,1 %, kupari 0,25 %, mangaani 0,8 % ja pii 0,5 %. Seosteräkeeseen on puolestaan tarkoituksellisesti lisätty jotain seosainetta ominaisuuksien parantamiseksi. Yleisimmät lisättävät seosaineet ovat kromi, nikkeli ja molybdeeni. (Leinonen 2006.)

Korkealujuusterästen mekaaniset ominaisuudet saavutetaan pääasiassa lämpökäsittelyiden avulla, joista eritoten käytetään termomekaanista valssausta (M) sekä karkaisua (Q). Termomekaanisessa valssauksessa kappale lämmitetään valssaustilapötilaan jonka jälkeen suoritetaan nopeutettu jäähdytys. Tällöin saavutetaan pienempi raekoko, parempi sitkeys, korkeampi lujuus ja hyvä hitsattavuus. Karkaisussa kappale lämmitetään noin 700 asteeseen jonka jälkeen se jäähdytetään hyvin nopeasti esimerkiksi vesisuihkun avulla. Karkaisulla saavutetaan suurempi lujuus, mutta samalla kappaleiden hitsattavuus huononee. Ruukilla termomekaanisesti valssattuja teräksiä on



saatavilla 700 MPa lujuuteen asti kun taas karkaistuja teräksiä on saatavilla 1100 MPa lujuuteen asti. (Leinonen 2006; Peltoniemi & Kalamies; Tihinen 2013.)

## **2.3 KORKEALUJUUSTERÄSTEN LAATUJA**

Korkelujuusteräksillä on maailmanlaajuisesti olemassa monia erilaisia laatuja ja nimikkeitä. Laatuojen rakenteelliset ominaisuudet sekä kemialliset koostumukset vaihtelevat valmistajan valmistusprosessin mukaan. Yhdistävä tekijä kaikissa laaduissa on kuitenkin niiden pyrkimys parempiin mekaanisiin ominaisuuksiin tavallista korkeamman lujuuden ohella. (Gogou 2013.)

Alla on esitelty sekä Suomessa että maailmassa yleisesti käytettäviä teräslajeja. Näistä laaduista saadaan myös hyvin selville miten erilaisilla käsittelyillä ja valmistuskeinoilla saadaan teräksestä halutut ominaisuudet parhaiten irti.

### **2.3.1 RUUKIN OPTIM QL JA OPTIM MC**

Ruukin Optim QL –rakenneteräkset ovat nuorrutettuja teräksiä. Teräksiä on helppo hitsata, taivuttaa ja leikata. Tämän lisäksi teräksellä on erinomaiset sitkeysominaisuudet myös matalissa lämpötiloissa (L). Optim QL –rakenneteräkset täyttävät myös standardin SFS-EN 10025-6 + A1 mukaiset tekniset toimitusehdot nuorrutetuille rakenneteräslevytuotteille. Yleisimmät käyttökohteet Optim QL –rakenneteräksille ovat koneenrakennus sekä erilaiset teräs- ja runkorakenteet. (Ruukki 2015.)

Ruukin Optim MC –rakenneteräkset ovat termomekaanisesti valsattuja kylmämuovattavia (C) teräksiä, joilla on erinomaiset taivutus-, hitsaus- ja leikkausominaisuudet. Tämän lisäksi terästen pinnanlaatu sekä mittojen ja muotojen tarkkuus ovat erinomaisia. Optim MC –rakenneteräkset täyttävät myös standardin SFS-EN 10149-2 mukaiset termomekaanisesti valsattujen terästen tekniset toimitusehdot. Optim MC –rakenneterästen yleisimpiä käyttökohteita ovat erilaisten ajoneuvojen rakenteet sekä mastorakenteet. (Ruukki 2015.)

### 2.3.2 HSLA –TERÄS

HSLA –terästen (High strength low alloy –teräs) tuotanto muodostaa noin 12 % koko maailman terästuotannosta ja niitä on saatavilla myötölujuudeltaan 250 MPa:sta aina 590 MPa:iin asti. HSLA –teräksille on tyypillistä niiden prosentuaalisesti pieni sidosaineiden määrä, alle 0,15 %. Tyypillisesti HSLA –teräkset sisältävät 0,07 % - 0,12 % hiiltä, noin 2 % mangaania sekä pieniä määriä niobiumia, vanadiinia sekä titaania. Normaaleihin hiiliteräksiin verrattuna HSLA –teräkset omaavat yleensä rakentamisen kannalta paremmat mekaaniset ominaisuudet sekä paremman vastustuskyvyn ilmastoin aiheuttamalle korroosiolle. HSLA –teräkset valmistetaan yleensä termomekaanisella valssauksella ja niiden valmistus vaatii noin 30 % enemmän tehoa kuin hiiliterästen valmistus. (Gogou 2012.)

### 2.3.3 HPS -TERÄS

HPS –teräs (High performance steel –teräs) luotiin Yhdysvaltojen, Euroopan ja Japanin yhteistyöllä. HPS –teräksiä on saatavilla 485 MPa:sta 900 MPa:iin asti ja niille on ominaista erityisen hyvä muovattavuus, sitkeys sekä korroosionkestävyys. Tämän lisäksi HPS –teräksiä on huomattavasti helpompi hitsata kuin monia aikaisemmin kehitettyjä teräksiä. HPS –teräkset luotiin hyödytettäväksi varsinkin siltarakenteisiin. HPS –teräkset toivatkin ilmestyessään siltarakenteisiin 18 % kustannus- ja 28 % omapainosäästöt verrattuna aikaisemmin käytettyihin teräslajeihin. HPS –teräksiä voidaan valmistaa joko karkaisemalla tai termomekaanisella valssauksella. (Gogou 2012.)

## **3 RAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT OMINAISUUDET**

### **3.1 MEKAANISET OMINAISUUDET**

#### **3.1.1 LUJUUS**

Korkealujuusterästen kasvava käyttöaste johtaa juurensa suunnittelijoiden haluun luoda rakenteista mahdollisimman kevyitä menettämättä rakenteiden lujuusominaisuuksia. Korkealujuusterästen suuri myötölujuus mahdollistaakin suuria painon kevennyksiä rakenteisiin sekä kustannustehokkaampia ratkaisuja normalilujuisiin rakenneteräksiin verrattuna. Käytössä lujilla teräksillä on monia etuja, jotka toimivat lujien terästen valttikortteina markkinoilla. Näiden etujen pääkohtia ovat ekologisuus, kestoikä, suorituskyky, turvallisuus, keveys sekä hyötytilavuuden ja hyötykuorman kasvaminen. (Lämsä & Kiuru 2012.)

Huomattavin hyöty materiaalin lujuuden kasvaessa on kuitenkin kevyempiin rakenteisiin johtavat ainepaksuuksien ohuemiset. Ohuemmat ja kevyemmät rakenteet johtavat myös energiategokkaampiin ratkaisuihin hyötykuormien kasvaessa. Keveydellä on myös helppottava vaikutus tuotantoon, sillä se pienentää kappalepainoa, vähentää käsittelykustannuksia sekä vähentää täyteaineen tarvetta hitsauksissa. Tämä vähentää myös hiilijalanjälkeä, joka on nykyään tärkeässä roolissa kun ehtyvien luonnonvarojen kulutusta yritetään pitää mahdollisimman pieninä. (Lämsä & Kiuru 2012; Sperle.)

SFS-EN 1993-1-12 standardin kansallisessa liitteessä korkealujuusteräksiksi myönnetään teräkset joiden lujuus on suurempi kuin S460 mutta enintään S700. Lisäksi suositellaan käytettävän taulukon 1 ja 2 mukaisia kuumavalssattujen rakenneterästen sekä kuumavalssattujen sileiden tuotteiden teräslajeja sekä nimellisiä myötörajan ja vetomurtolujuuden arvoja. (Suomen standardisoimiliitto 2005; Ympäristöministeriö 2005.)

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 1993-1-12 mukaiset kuumavalsattujen rakenneteräksien myötörajojen  $f_y$  ja vetomurtolujuuksien  $f_u$  nimellisarvot.

Teräslaji ja laatuluokat	Rakenneosan paksuus nimellisenä $t$ (mm)					
	$t \leq 50$ mm		$50 \text{ mm} < t \leq 100$ mm		$100 \text{ mm} < t \leq 150$ mm	
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
S500Q/QL	500	590	480	590	440	540
S550Q/QL	550	640	530	640	490	590
S620Q/QL	620	700	580	700	560	650
S690Q/QL	690	770	650	760	630	710

Taulukko 2. Standardin SFS-EN 1993-1-12 mukaiset kuumavalsattujen sileiden tuotteiden myötörajojen  $f_y$  ja vetomurtolujuuksien  $f_u$  nimellisarvot.

Teräslaji ja laatuluokat	$1,5 \text{ mm} \leq t \leq 8$ mm		$8 \text{ mm} < t \leq 16$ mm	
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
S500MC	500	590	480	590
S550MC	550	640	530	640
S600MC	620	700	580	700
S650MC	690	770	650	760
S700MC	700	750	680	750

### 3.1.2 JÄYKKYYS

Jäykkyydellä tarkoitetaan rakenteen joustoa sen kimmoisella alueella. Jäykkyys määräytyy kimmokertoimen mukaan, joka on korkealujuusteräksillä sama kuin normaalilujuisilla rakenneteräksillä. Kimmokerroin on materiaalivakio, joten siihen ei voida vaikuttaa erilaisilla seostuksilla tai lämpö- ja pintakäsittelyillä. Korkealujuusteräkset eivät siis saavuta parempia jäykkyyden arvoja kuin normaalilujuiset rakenneteräkset. (Lämsä & Kiuru 2012; Kiuru 2012.)

Jäykkyyteen voidaan kuitenkin vaikuttaa muutenkin kuin kimmokertoimella. Jäykkyys on riippuvainen rakenteen poikkipinta-alasta ja muodosta, joten tarvittava jäykkyys voidaan saavuttaa poikkipinnan mittoja tai muotoja muutamalla. (Kiuru 2012.)

SFS-EN 1993-1-12 standardin kansallisessa liitteessä ei ole myöskään lisäsääntöjä tai mainintoja teräksen jäykkyyteen liittyen. Tällöin myös korkealujuusteräksien jäykkyyden määrittämiseen käytetään normaalilujuisien rakenneterästen standardin mukaisia arvoja. (Suomen standardisoimiliitto 2005; Ympäristöministeriö 2005.)

### 3.1.3 STABILITEETTI

Oleellisimmat epästabiilisuus ilmiöt korkealujuusterästen mitoituksessa ovat nurjahdus ja lommahdus. Näiden ilmiöiden erillinen ja yhteisvaikutuksen mitoittaminen muuttuu koko ajan tärkeämmäksi, sillä tekniikan kehittyessä pyritään tarkempaan materiaalien hyödyntämiseen sekä kehittyneempiin rakenneratkaisuihin. (Kiuru 2012.)

Nurjahduksella tarkoitetaan rakenteen suurta poikittaista liikettä kuormaan nähden. Nurjahdusta esiintyy puristavissa kuormituksissa, ja mitä pitempi ja hoikempi rakenne on sitä suurempi mahdollisuus nurjahduksen tapahtumiselle on. Korkealujuusterästen korkeasta lujuudesta hyödytään nurjahduksen välttämiseksi silloin kun rakenteen hoikkuus on riittävän pieni. Kun hoikkuusluku on suuri, nurjahdus riippuu ainostaan kimmokertoimesta jolloin materiaalin lujuudella ei ole merkitystä. Myös massiiviset rakenteet ovat lujille teräksille nurjahduksen kannalta hyödyllisiä, sillä puristuksessa olevan lujan teräksen hyöty kasvaa rakenteen profiilin kasvaessa. (Lämsä & Kiuru 2012.)

Lommahduksella tarkoitetaan levymäisen rakenteen äkillistä taipumista puristus- tai leikkausvoiman johdosta. Lommahduksen mahdollisuus kasvaa levyrakenteen paksuuden pienenemisen myötä. Palkkien seinämät ovat levyrakenteita, joten ne voivat myös lommahtaa. Seinämät pyritään mitoittamaan mahdollisimman ohutseinäisiksi, jolloin lommahdus voi muodostua mitoittavaksi tekijäksi. Lommahdusta voidaan estää jäykisteillä, jotka ovatkin tehokkaampi vaihtoehto kuin levypaksuuksien tai muiden dimensioiden muuttaminen. (Kiuru 2012.)

Rakenneterästen stabiliteettia tarkastellaan standardin SFS-EN 1993-1-5 kansallisessa liitteessä. Kun tarkastellaan korkealujuusterästen SFS-EN 1993-1-12 standardin kansallista liitettä, voidaan SFS-EN 1993-1-5 standardin kansallinen liite todeta soveltuvaksi myös korkealujuusteräksille ilman lisäsääntöjä. (Suomen standardisoimiliitto 2005; Ympäristöministeriö 2005.)

### 3.1.4 VÄSYMINEN

Teräksen väsymisilmiötä ilmenee rakenteissa joissa kuormitus on vaihtelevaa. Väsymisilmiö tarkoittaa pitkäaikaisen vaihtelevan kuormituksen alaisuudessa olevan rakenteen rakenneominaisuuksien heikkenemistä. Väsymisilmiöön tarvittava jännitys voi usein olla huomattavasti pienempi kuin rakenteen myötöraja. Väsymislujutena käytetään siis jännitystä jonka rakenne kestää kun kuormituskertojen lukumäärä on ääretön. Hitsatuissa rakenteissa teräksen lujuudella ei ole merkitystä väsymislajuuden suuruuden kannalta, sillä tällöin väsymislajuus määräytyy usein hitsin väsymislajuuden mukaisesti. (Lämsä & Kiuru 2012; Kiuru 2012.)

Korkealujuusteräksillä väsymislajuus saattaa muodostua rakenteen kriittisimmäksi tekijäksi. Yleisimmissä suunniteluohjeissa ei nimittäin esitetä korkealujuusteräksille parempaa väsymislajuuden arvoa kuin normaalilujuuksisille teräksille. Sperlen ja Nilssonin artikkelissa "The Application of high strength steels for fatigue loaded structures" tehdyn tutkimuksen mukaan nauhateräksien väsymislajuus kuitenkin kasvaa rakenteen lujuuden kasvaessa. Samassa tutkimuksessa kerrotaan myös kuinka karkaistujen terästen pinnanlaadun karheus vaikuttaa alentavasti väsymislajuuteen, pudottaen karkaistujen terästen väsymislajuuden huomattavasti nauhaterästen väsymislajuutta alemmaksi. Mahdollista lujien terästen korkeampaa väsymislajuutta

voidaan yrittää hyödyntää oikeanlaisilla rakenteiden suunnitteluilla ja toteutuksilla. Esimerkiksi hitsausliitosten sijaan tulisi suosia ruuviliitoksia, koska tällöin liitoksen väsymislujuus ei alene. (Kiuru 2012; Sperle & Nilsson)

Rakenneterästen väsymistä tarkastellaan standardin SFS-EN 1993-1-9 kansallisessa liitteessä. Kun tarkastellaan korkealujuusterästen standardin SFS-EN 1993-1-12 kansallista liitettä, voidaan standardin SFS-EN 1993-1-9 kansallinen liite todeta soveltuvaksi myös korkealujuusteräksille yhdellä lisäsäännöllä. Lisäsääntö koskee hybridikannattajia, joissa laipan teräslaji on suurempi kuin S460 mutta enintään S700. Lisäsääntönä tavallisten kuormien aiheuttavat normaalijännitysvaihteluvälit eivät saa ylittää annettua arvoa. Tässä tapauksessa annettu arvo on puolitoista kertaa laipan myötölujuuteen suuruinen. (Suomen standardisoimiliitto 2005; Ympäristöministeriö 2005.)

### **3.1.5 HITSATTAVUUS**

Hitsattujen rakenteiden lujuus riippuu hitsauslisäaineista, hitsauksen suorituksesta ja hitsausliitoksen sijoittelusta. Korkealujuusteräokset valmistetaan lämpökäsittelyillä, joten ne voivat menettää ominaisuuksiaan hitsauksen lämmön vaikutuksesta. Tämä tarkoittaa että hitsauksen lämmötuontiin ja esilämmitykseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Hitsauksen aiheuttamaa lämmöntuontia voidaan mitata termoelementeillä, erilaisilla lämpömittareilla tai mittaliidulla. (Liimatainen & Sipilä 2008.)

Hitsien suunnittelu, kuten hitsien muotoilu ja sijoittelu, korkealujuusteräksiin vaatii enemmän suunnittelua verrattuna hitsien suunnitteluun normalilujuisiin rakenneteräksiin. Suunnittelua vaatii erityisesti väsymiskestävyys, hitsien sijoittelu vähemmän kuormitetuille alueille sekä pehmeämpien hitsauslisäaineiden käyttö. Tällöin syntyy niin sanottu aliluja hitsi. Alilujat hitsit korkealujuusteräksen hitsauksessa on monissa tapauksissa edullisempi vaihtoehto. Lisäksi on suotavaa valita hitsiin niukkahiiliset lisäaineet sekä pitää hitsin vetypitoisuus mahdollisimman pienenä, tällöin vältetään vetyhalkeilulta. (Liimatainen & Sipilä 2008.)

Lujat teräkset ovat siis suhteellisen hyviä hitsattavia, kunhan suunnittelu ja toteutus hoidetaan hyvin ja lisäaineet valitaan huolellisesti.

### **3.2 HINTA JA SAATAVUUS**

Lujien terästen saatavuus on heikkoa ja usein ne ovatkin saatavilla vain tehdastoimituksina. Saatavuus onkin korkealujuusterästen käytön suurimpia esteitä. Jälleenmyyjät eivät pidä valikoimissaan yleisiä rakenneteräksiä lujempia teräksiä, jolloin varsinkin pienien määrien tilaaminen on erittäin kallista. Näiden lisäksi tilatessa on odotettavissa pidemmät toimitusajat, minimitoimituserien suuruuksien kasvu ja määrän vaikutus toimitushintaan. Myös profiilivaihtoehtoja voi olla vähemmän. (Lämsä & Kiuru 2012; Kiuru 2012.)

Kun verrataan hintaa painoyksikköä kohden, tehtaaltakin tilattuna korkealujuusteräket ovat tavallisia teräksiä kalliimpia. Tämä johtuu siitä että korkealujuusterästen valmistus on vaikeampaa kuin tavallisten rakenneterästen. Hintaero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Kun taas verrataan hintaa myötörajaa kohden korkealujuusteräket ovat taloudellisesti kannattavampia. Tämän lisäksi korkealujuusterästen kevyempi omapaino ja ohuemmat rakenteet vähentävät kuluja kuljetuksissa sekä hitsauksissa. Voidaan siis sanoa että, jos korkealujuusterästen ominaisuuksia voidaan rakenteissa hyödyntää, on korkealujuusterästen käyttö taloudellisesti kannattavaa. (Lämsä & Kiuru 2012; Kiuru 2012.)



## 4 KÄYTTÖ

Korkealujuusterästen käyttäminen rakentamisessa on vielä harvinaista. Käyttöä hankaloittavat pääasiassa perinteet sekä lainsäädäntö. Korkealujuusterästen käyttö onkin vielä niin haastavaa, ja harvinaista, että suunnittelijat karttavat niiden käyttöä. Haastavaa korkealujuusterästen käytöstä tekee uusien asioiden huomioiminen suunnittelussa. Näitä asioita ovat pääasiassa poikkileikkauksen suunnittelu, nurjahduksen ja lommahduksen estämiseksi, sekä väsymislujuuden mitoittaminen. (Ruukki 2013; Hämäläinen 2011.)

### 4.1 KÄYTÖN VAIKUTUKSET

Korkealujuusterästen käyttö, hyvin suunniteltuna, vaikuttaa jokaiseen rakentamiseen vaikuttavaan tekijään. Vaikuttavia tekijöitä tässä tapauksessa ovat arkkitehti, rakennesuunnittelija, sijoittaja sekä ympäristö. Tässä työssä käytön vaikutusten esimerkkinä käytetään Ruukin kotisivuilta otettua uutista ”Lujat erikoisteräkset luovat uutta arkkitehtuuria”. Uutisessa kerrotaan Tukholmaan 2012 rakennetun jättistadionin Friends Arenan rakentamisesta ja rakentamisessa käytettyjen korkealujuusterästen aiheuttamista vaikutuksista.

Arkkitehdeille rakenteiden ulkonäkö on tärkeässä roolissa. Korkealujuusteräkset mahdollistavatkin hoikemmilla rakenteillaan yhä sirompien ja kevyemmän näköisten rakenteiden luomisen. Kun stadionin avattava katto avataan, ei hoikat kattoristikkorakenteet juuri estä luonnonvalon pääsyä stadionille. (Ruukki 2013.)

Rakennesuunnittelijalle Friends Arenan rakentaminen oli haastavaa. Korkealujuusterästen vähäisen käytön takia valmiita rakenneratkaisuja ei ollut saatavilla. Erityisen haastavat suunnitella olivat stadionin kattorakenteet, siihen kohdistuvien suurien voimien johdosta. Kattoristikot valmistettiin Rautaruukin Optim 700QL -teräksestä. Loppujen lopuksi Friends Arenan kattorakenteissa päädyttiin 800 tonnin painonsäästöihin verrattuna normaaliin S355 –rakenneteräksestä valmistettuun rakenteeseen, prosentuaalisesti säästö on noin 15 %. Korkealujuusteräksillä päästiin siis rakennesuunnittelijalle tärkeään materiaalitehokkaampaan ratkaisuun. (Ruukki 2013.)

Sijoittajaa rakennusprojekteissa kiinnostaa pääasissa kustannussäästöt. Friends Arenalla kustannussäästöjä korkealujuusterästen materiaalitehokkuuden myötä saatiin noin 2,2 miljoonaa euroa, joka on noin 15 % kattorakenteiden kustannuksista. Materiaalitehokkuus näkyi säästöissä erityisesti konepajatoissa ja kuljetuskustannuksissa. Myös kevyempien nostokalustojen mahdollinen käyttö toi säästöjä. (Ruukki 2013.)

Materiaalitehokkuudella päästiin myös, nykyään yhä tärkeämmässä roolissa oleviin, pienempiin ympäristöpäästöihin. Kasvihuonepäästöt vähenivät niin valmistuksessa, jalostuksessa kuin kuljetuksissa. Friends Arenan elinkaarilaskelmien mukaan kevyemmät rakenteet vähensivät päästöjä ilmakehään 900 000 hiilidioksidikilolla. (Ruukki 2013.)

## **4.2 KÄYTTÖKOHTEET**

Korkealujuusteräksiä käytetään erilaisissa kohteissa ympäri maailmaa. Erityisesti korkealujuusteräksiä käytetään kohteissa joissa niiden suuri myötölujuus saadaan parhaiten hyödynnettyä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi vedetyt rakenteet jotka eivät nurjahda tai lommahda, eli rakenteet joissa epästabiiisuusiilmöt eivät vaikuta rakenteet kestävyyttä pienentävästi. Tällaisia kohteita ovat myös rakenteet, joissa korkealujuusterästen käytöllä päästään huomattaviin materiaali- ja kustannussäästöihin, kuten edellä mainittu Friends Arena. (Ruukki 2013; Hämäläinen 2011.)

Tässä työssä perehdytään korkealujuusterästen käyttöön parissa yleisessä käyttökohteessa. Nämä käyttökohteet ovat raskaasti kuormitetut kotelopilarit ja siltarakenteet.

### **4.2.1 KOTELOPILARIT**

Kotelopilareita käytetään yleisesti rakenteissa joihin ei ole olemassa tai saatavilla vaatimuksia täyttävää poikkileikkausta. Esimerkki tällaisesta rakenteesta on kattilalaitosten kattilan kannatuspalkistoa tukevat pilarirakenteet. Tukeviin pilarirakenteisiin kohdistuu todella suuri puristava voima, sillä kattilan lämpöliikkeiden ja suuren massan takia kattilaa ei voida tukea alhaaltapäin vaan kattila tuetaan roikkumaan tukevien pilarirakenteiden varaan. Kattilan massa vaihtelee kahden- ja

kymmenen miljoonan kg:n välillä, koon ja käyttötarkoituksen mukaan. Näin suuri puristusvoima altistaa pilarin nurjahdukselle. Tästä syystä nurjahdusta pyritäänkin estämään erilaisilla jäykistävillä ristikoiduilla tasorakenteilla. Kotelopilarit kootaan hitsaamalla, joka tekee korkealujuusterästen käytöstä hieman haastavampaa niiden huonomman hitsattavuuden johdosta. (Kukkonen 2010.)

Korkealujuusterästen käyttöä kotelopilareissa ja sen tuomia materiaali- ja kustannushyötyjä on tutkittu Juha Kukkonen kirjoittamassa ”Rakenteiden Mekaniikka” -lehdessä julkaistussa artikkelissa ”Korkealujuusteräksen käyttö raskaasti kuormitetuissa kotelopilareissa”. Artikkelissa mitoitettiin kahden erisuuren kattilalaitoksen 24 vaihtelevaa, poikkileikkauksiltaan, voimasuureiltaan ja nurjahduspituuksiltaan, kotelopilaria. Mitoitusten vertailu suoritettiin eri teräslajien kesken, teräslajit olivat S355, S420, S500, S550, S620 ja S690, levynvahvuuksien vaihdella 15 mm ja 50 mm välillä. Poikkileikkausluokkina käytettiin luokkia 1, 2 ja 3, kun taas pilareiden hoikkuusluvut vaihtelivat 35 ja 65 välillä. (Kukkonen 2010.)

Tuloksena saatiin materiaalien edullisuusvertailut hoikkuusluvun vaihdella. Kun hoikkuusluku oli pienempi kuin 55, huomattiin teräslajin S500 olevan edullisin ratkaisu. Kun taas hoikkuusluku oli suurempi kuin 55, huomattiin teräslajin S355 olevan edullisin ratkaisu. Eri teräslajien edullisuusvertailu on kuitenkin herkkä muun muassa hintakertoimien vaihteluille, joten yksittäisen teräslajin edullisuuden totuutta ei voida täydellä varmuudella sanoa. Kuitenkin korkealujuusterästen käyttöä kattilalaitosten kotelopilareissa voidaan vertailun perusteella pitää perusteltuna. (Kukkonen 2010.)

#### **4.2.2 SILLAT**

Korkealujuusteräksillä on suuri potentiaali siltoja rakennettaessa. Siltojen rakentamiseen tarkoitetuissa korkealujuusteräksissä yhdistetään korkean lujuuden lisäksi ominaisuuksia kuten hitsattavuus, muovattavuus ja korroosion kestävyys pitämällä materiaalin kustannukset kuitenkin kustannustehokkaalla tasolla. Suurimmat hyödyt korkealujuusterästen käytöstä tulevat kuitenkin suurista painon vähenemistä ja poikkileikkausten mittojen pienenemisistä, jotka samalla pienentävät rakentamisen kokonaiskustannuksia. Euroopassa korkealujuusteräksiä käytetään siltarakenteissa vielä

varsin rajatusti, kun taas Yhdysvalloissa ja Japanissa ne ovat jo yleisemmin käytössä. (Gogou 2012; Sulasalmi 2014.)

Siltarakenteisa rajoittavat tekijät ovat kuitenkin yleensä rakenteiden jäykkyys ja väsyminen. Näihin tekijöihin ei voida suoraan vaikuttaa kasvattamalla materiaalin myötölujuutta, sillä väsymiskestävyys on yleensä riippuvainen hitsiliitosten väsymiskestävyydestä kun taas kappaleen jäykkyys on riippuvainen kimmokertoimesta. Tästä syystä siltarakenteisiin käytetäänkin yleensä karkaistuja korkealujuusteräslaatuja joiden myötölujuudet vaihtelevat S460 ja S690 teräslaatuja myötölujuuksien välillä. Näillä teräslaaduilla saavutetaan edullisimmat rakenneratkaisut, sillä korkeamman myötölujuudet tuomat edut poikkileikkausmitoissa ja levynpaksuuksissa mitätöityvät jäykkyyden ja väsymiskestävyuden tuomien rajoitusten johdosta. (Gogou 2012.)

Tehokkaimmin ja taloudellisesti korkealujuusteräksiä käytetään silloin kun niiden korkea lujuutta saadaan mahdollisimman hyvin hyödynnettyä. Tällaisia siltoja ovat varsinkin pitkän jännevälillä omaavat sillat, joissa materiaalin omapaino on rakenteen vallitseva kuorma. Hyvä esimerkki, ja samalla yksi vanhimmista, tällaisesta sillasta on vuonna 1974 Japanin Osakaan rakennettu 980 m pitkä ”Minato Ohashi Bridge”. Sillan rakentamiseen käytettiin TS780 teräslaatuja, jonka myötölujuus on 690 MPa. Jo tuolloin oli selvästi huomattavissa, vaikka korkealujuusteräksset ovat kalliimpia, niiden hinta enemmän kuin kuitaan pienempien kuljetus- ja asennuskulujen jälkeen. (Gogou 2012.)

## 5 YHTEENVETO

Työstä saatiin selvästi esille korkealujuusterästen tuomat haasteet ja hyödyt rakentamisessa. Stadionin kokoisessa rakennushankkeessa korkealujuusterästen käytöllä saavutettiin noin 15 % kustannussäästöt rakenteista. Lisäksi rakenteiden omapaino laski ja materiaalitehokkuus nousi 15 %. Materiaalitehokkuden myötä myös ilmakehään pääsevät päästöt vähenivät noin 900 000 hiilidioksidikilolla. Lisäksi ohuet ja kevyet rakenteet mahdollistavat arkkitehtuaalisesti näyttävämpien ja sirompien rakenteiden valmistamisen.

Korkealujuusterästen käytön haasteet, varsinkin henkilöasiakkaille, tulevat esille saatavuudessa ja hinnassa. Jälleenmyyjät eivät yleensä pidä valikoimissaan korkealujuusterästen lajeja, jolloin varsinkin pienien määrien tilaaminen on todella kallista. Myös profiilivaihtoehtoja voi olla vähemmän. Toisaalta kevyempi omapaino ja ohuemmat rakenteet vähentävät kuluja kuljetuksissa ja hitsauksissa. Korkealujuusteräokset ovat myös edullisempi vaihtoehto kuin verrataan hintaa myötörajan suhteen. Voidaan siis sanoa että, jos korkealujuusterästen ominaisuuksia voidaan rakenteissa hyödyntää, on korkealujuusterästen käyttö taloudellisesti kannattavaa.

Suunnittelussa korkealujuusteräsrakenteiden kriittisiksi tekijöiksi nousivat usein esiin väsyminen, hitsiliitokset sekä stabiliteetti. Nämä kriittiset kohdat voidaan kuitenkin välttää tai niiden vaikutusta lieventää oikeanlaisella ja huolellisella suunnittelulla.

Tutkimusta olisi hyvä jatka tarkentamalla korkealujuusterästen mekaanisten ominaisuuksien tutkimista. Esimerkiksi korkealujuusterästen väsymislujudessa tuntui olevan erimielisyyksiä julkaisujen kesken.

## 6 LÄHTEET

Gogou E., (2012), Use of high strength steel grades for economical bridge design, Amsterdam; Delft university of technology.

Hämäläinen O-P., (2011), Lujasta teräksestä valmistetun palkin poikkileikkauksen optimointi, Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kiuru H., (2012), Ultralujien terästen ominaisuuksien hyödyntäminen kone- ja teräsrakenteissa, Oulu: Oulun yliopisto, Oulun eteläinen instituutti.

Kukkonen J., (2010), Korkealujuusteräksen käyttö raskaasti kuormitetuissa kotelopilareissa, [rmseura.ttk.fi](http://rmseura.ttk.fi), 5.12.2015.

Leinonen J., (2006), Materiaalitekniikka I opintomoniste, Oulu: Oulun yliopisto.

Liimatainen R. & Sipilä T., (2008), Miilux-kulutusteräokset käyttäjän käsikirja 2008, Miilux Oy.

Lämsä J. & Kiuru H., (2012), Ultralujat rakenne- ja kulutusteräokset – tärkeimmät ominaisuudet suunnittelulle, Oulu: Oulun yliopisto, Raahen seudun teknologiakeskus Oy.

Peltoniemi J. & Kalamies U., Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit, [www.rakennustieto.fi](http://www.rakennustieto.fi), 10.11.2015.

Ruukki, (2013), Lujat erikoisteräokset luovat uutta arkkitehtuuria, [ruukki.fi](http://ruukki.fi), 15.12.2015.

Ruukki, (2015), Nuorrutetut Optim QL/QL1 –rakenneteräokset, [ruukki.fi](http://ruukki.fi), 7.1.2016.

Ruukki, (2015), Optim MC –rakenneteräs, [ruukki.fi](http://ruukki.fi), 7.1.2016.

Sperle J-O., High strength sheet and plate steels for optimum structural performance, [www.sperle.se](http://www.sperle.se), 18.11.2015.

Sperle J-O. & Nilsson T., The application of high strength steels for fatigue loaded structures, [www.sperle.se](http://www.sperle.se), 20.11.2015.

Sulasalmi V., (2014), Liittopalkkisiltojen rakenneratkaisujen ja rakentamismenetelmien kehittäminen, Oulu: Oulun yliopisto.

Suomen standardisoimiliitto, (2005), SFS-EN 1993-1-(1-12): Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Tihinen S., (2013), Lujat termomekaanisesti valssatut teräkset, Raahen terästehdas, Ruukki Metals Oy.

Ympäristöministeriö, (2005), Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1993-1-12 Osa 1-12: EN 1993 laajennus teräslajeihin S700 asti, Helsinki: Ympäristöministeriö.