

Tiina Rissanen

Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tekninen raportti



Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tiina Rissanen

Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tekninen raportti

Sarja B. Raportit ja selvitykset 6/2011

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-5897-17-3 (nid.)

ISSN 1799-2834

ISBN 978-952-5897-18-0 (pdf)

ISSN 1799-831X (verkkojulkaisu)

ISSN-L 1799-2834

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 6/2011

Rahoittajat: Euroopan Unioni Euroopan alue-
kehitysrahasto, Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013,
Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Kirjoittaja: Tiina Rissanen

Kannen kuva: Ruukki

Graafinen suunnittelu ja toteutus: VIM, Kemi-
Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappia

Uniprint, Oulu 2011

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu

PL 505

94101 Kemi

Puh. 010 353 50

www.tokem.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC on
yliopiston ja kahden ammattikorkea-
koulun strateginen yhteenliittymä.
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto,
Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja
Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

www.luc.fi

Sisällys

1 JOHDANTO	7
1.1 Raex-kulutusteräukset	7
1.2 Optim QC -rakenneteräukset.	9
2 LEIKKAUS	13
2.1 Terminen leikkaus	13
2.1.1 Leikkausmenetelmät	14
2.1.2 Termiseen leikkaukseen liittyviä suosituksia	15
2.1.3 Mekaaninen leikkaus	15
3 SÄRMÄYS	17
3.1 Särmyksessä käytettävät työkalut	18
3.2 Jännityksen muuttuminen ja takaisinjousto.	19
3.3 Särmykseen liittyviä suosituksia	20
4 HITSAUS	23
4.1 Lämmöntonnin rajoittaminen ja esikuumennustarve	24
4.2 Hitsauslisäaineet	26
5 LASTUAMINEN	27
5.1 Lastuamissuosituksia ultralujille rakenne- ja kulutusteräksille	27
6 HYÖDYLLISIÄ LINKKEJÄ	29
7 LÄHTEET.	31

1 Johdanto

Raportissa tarkastellaan kuumavalssattujen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen ominaisuuksia ja soveltuvuutta tyypillisimpiin konepajaprosesseihin. Tarkastelun kohteeksi on valikoitu Rautaruukin Optim QC –rakenneteräkset sekä Raex –kulutusteräkset, jotka ovat myös KuURak - projektin tutkimusmateriaaleina.

Ultralujilla rakenne- ja kulutusteräksillä tarkoitetaan yleisesti teräslaatuja, joiden myötölujuus on yli 550N/mm^2 ja murtolujuus yli 700N/mm^2 . Teräkset valmistetaan suorasanmutusmenetelmällä, jossa kontrolloidun kuumavalssauksen jälkeen teräs jäähdytetään eli sammutetaan välittömästi ilman uutta kuumennusta. Menetelmällä teräksen raekoko saadaan pidettyä pienenä ja sitkeyttä kasvatettua lujuudesta tinkimättä. /9, 13/

Teräkset soveltuvat pitkälti työstettäviksi konepajoissa, mutta lujuuden ja sitkeyden vuoksi niiden valmistus on kohtalaisen haastavaa ilman asiaan perehtymistä ja annettujen ohjeiden noudattamista. Suunnittelunäkökulmasta rakenteiden suunnittelu käyttäen näitä uusia materiaaleja vaatii materiaalituntemusta, mutta antaa parhaimmillaan kokonaan uuden lähtötilanteen. Ultralujien terästen käyttö rakenteissa ja muissa sovelluksissa antaakin huimia etuja verrattuna tavallisen rakenneteräkseseen. Käyttämällä ultralujia teräksiä, rakenteita saadaan kevennettyä turvallisuudesta ja kestävydestä tinkimättä, joka vaikuttaa oleellisesti laitteiden suorituskykyyn ja vähentää kustannuksia. Lisäksi materiaalien korkeiden lujuuksien vuoksi ne pidentävät laitteiden käyttöikä. Ne soveltuvatkin erinomaisesti esimerkiksi painokriittisten sovellusten valmistusmateriaaleiksi. /5, 13/

1.1 RAEX-KULUTUSTERÄKSET

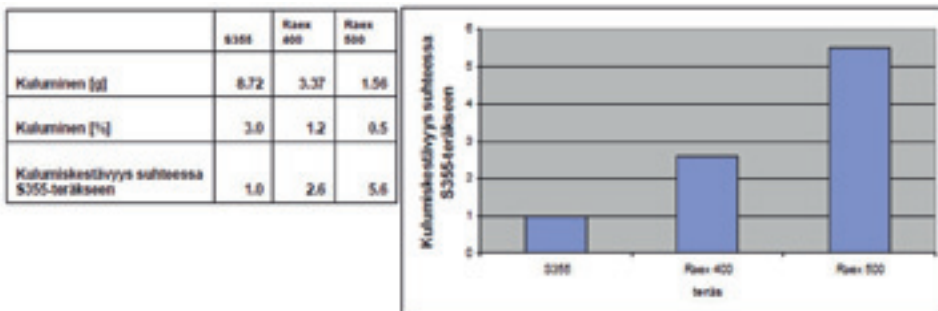
Rautaruukin kulumista kestäviä teräksiä markkinoidaan tuotenimellä Raex, johon kuuluu neljä eri teräslajia: Raex 300, 400, 450 ja 500, numeroluvun kuvatussa materiaalin kovuutta HBW- yksiköissä. Raex- teräs on kova ja luja rakenneaine, joka kestää hankavaa kulutusta ja kovaa pintapainetta. Käyttämällä kulumista kestäviä teräksiä voidaan pidentää laitteiden käyttöikä, vähentää rakenneseinien kulumista ja säästää siten kustannuksia. Tyypillisimpiä käyttökohteita, joita on esitelty kuvissa 1 ja 2, ovat kyseisille teräksille muun muassa maansiirtokoneiden kauhat ja huulilevyt, kaivoskoneet, betoniasemien kulutusosat, puunkäsittelykoneet, lavarakenteet sekä syöttimet ja suppilot. /20/



Kuvat 1 ja 2. Kulutusterästen käyttösovelluksia /19/

Raex-teräkset ovat karkaistuja, jonka vuoksi niillä on luja ja kova martensiittinen kiderakenne. Raex 400–500 -teräksillä kiderakenne on itsepääsyyttä sälemartensiittia ja pääsemätöntä martensiittia. Rautaruukilla teräksen karkaisu tehdään ns. suorakarkaisulla, jossa teräs jäädytetään nopeasti heti kuumavalssauksen jälkeen. Lisäksi kontrolloimalla valssausparametreja sekä seostusta, teräkseen saadaan erittäin kova ja luja mikrorakenne. Valmistusprosessin lopussa teräkselle tehdään vielä Dead Flat-käsittely eli oikaisuvalssaus, jossa nauhalevy kylmämuokataan koko paksuudeltaan. Käsittelyssä saadaan poistettua jäännösjännitykset sekä aikaansaadaan erinomainen tasomaisuus. /16, 20/

Verrattuna normaaliin rakenneteräkseen, kulumista kestävän teräksen kovuus voi olla jopa 3-kertaa suurempi. Lisäksi Rautaruukin suorittamien kulutuskestävyytestien mukaan Raex-terästen kulumiskestävyys, käytettäessä abrasiivina 20 kg raekoon 16–22 mm graniittisoraa, on verrattuna tavalliseen S355-rakenneteräkseen jopa 5,6-kertainen. Tarkemmat testitulokset käyvät ilmi kuvasta 3. Teräksen kemialliset koostumukset sekä yleisimmät mekaaniset ominaisuudet on esitelty kuvissa 4 ja 5. /3, 20/



Kuva 3. Raex-terästen kulumiskestävyydestien tuloksia /3/

Kemiallinen koostumus									
	Pitoisuus %, enintään (sulatusanalyysi)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Raex 300	0,18	0,80	1,70	0,025	0,015	1,50	1,00	0,50	0,005
Raex 400	0,25	0,80	1,70	0,025	0,015	1,50	1,00	0,50	0,005
Raex 450	0,26	0,80	1,70	0,025	0,015	1,00	1,00	0,50	0,005
Raex 500	0,30	0,80	1,70	0,025	0,015	1,00	1,00	0,50	0,005

Lisäksi alumiinia (Al) ja/tai mangaania (Ti) voidaan käyttää mikroosana.

Kuva 4. Raex- terästen kemialliset koostumukset /20/

Teräkset	Paksuus, mm		Myötölujuus $R_{p0,2}$ N/mm ²	Murtolujuus R_m N/mm ²	Murtovenymä A_2 %	Kovuus- alue HBW	Iskusitkeys poikittain	
	Nauha	Kvartto					T, °C	KV, J
Raex 300	2-8	-	900	1000	11	270-390	-40	20
Raex 400	2-6.4	5-15	1000	1250	10	360-420	-40	40
	-	(15)-30	1000	1250	10	360-450	-40	20
	-	(30)-80	1100	1400	8	360-480	-40	20
Raex 450	3-6.4	6-60	1200	1450	8	420-500	-40	20
Raex 500	4-5.5	5-60	1250	1600	8	450-540	-30	20

Kuva 5. Raex-terästen yleisimmät mekaaniset ominaisuudet /3/

1.2 OPTIM QC -RAKENNETERÄKSET

Optim QC on Rautaruukin käyttämä markkinointinimi sen ultralujille rakenneteräksille. Tuoteperheeseen kuuluu kolme teräslajia: Optim 900, 960 ja 1100 QC, numerotunnuksen ilmaistaessa lajin myötölujuuden vähimmäisarvoa MPa- yksiköissä. QC- teräkset ovat lujia, kohtuullisesti kulumista kestäviä sekä hyvin hitsattavissa ja särmättävissä. Lisäksi materiaali on hyvin kylmämuokattavissa sekä hitsattavissa ilman esilämmityksen tarvetta. On myös osoitettu, että materiaali kestää konepajaoiloissa suoritettavat peittaus- ja kuumasinkitystoimenpiteet hyvin, ilman että ne vaikuttaisivat oleellisesti sen mekaanisiin ominaisuuksiin. /2, 24/

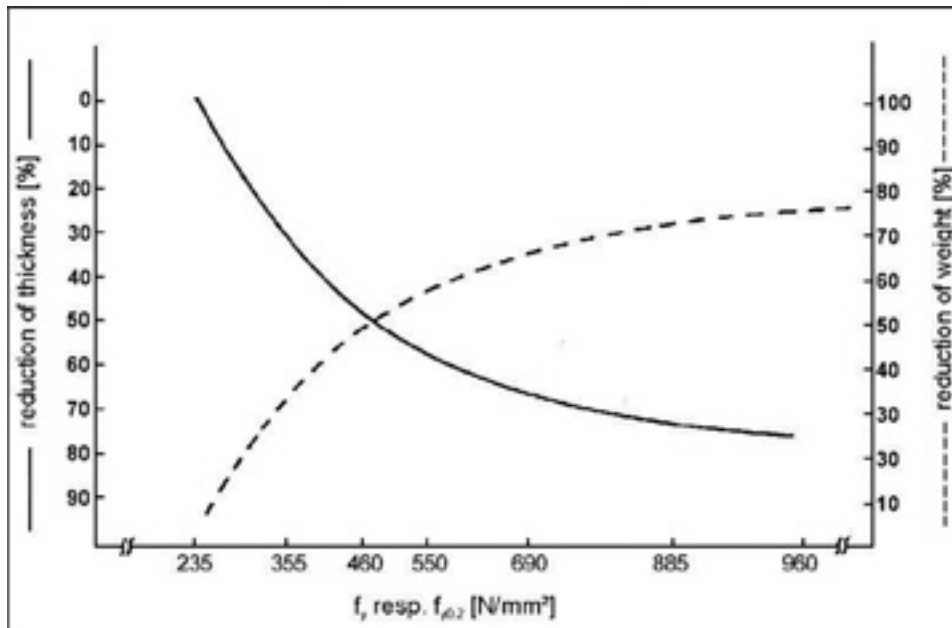
Materiaali on kehitetty erityisesti sovelluksiin, joissa haetaan etua keveydestä. Ohuiden levynpaksuuksien, mutta hyvien lujuusominaisuuksien vuoksi, sovellusten painoa ja energian kulutusta voidaan pienentää. Samalla laitteiden tehoja pystytään kasvattamaan ja tuotantokustannuksia pienentämään. Esimerkiksi case-tapauksessa, jossa ultralujaa rakenneterästä käytettiin kontin runkomateriaalina, painoa saatiin pienennettyä 800kg ja samalla polttoainekulutusta vähennettyä kontin eliniän aikana 6000l. Tyypillisimpiä käyttökohteita, joita on esitelty kuvissa 6 ja 7 ovatkin kyseisille teräksille muun muassa koneiden puomit ja nostolaitteet, kuormankäsittely-

laitteet, kuorman tuenta- ja kiinnityslaitteet, kontit sekä hyötyajoneuvojen rungot ja päällysrakenteet. /2, 9, 24/



Kuvat 6 ja 7. Optim-terästen käyttösovelluksia /26/

Optim -teräkset valmistetaan samalla tavalla kuten Raex- teräksetkin, suorakarkaisulla ja sen jälkeisellä oikaisukäsittelyllä. Karkaisussa teräkseen muodostuu bairniittia ja martensiittia sisältävä mikrorakenne, jonka raekoko on keskimäärin yksi μm . Pieni raekoko mm. parantaa teräksen iskusitkeyttä sekä suurentaa erityisesti myötölujuutta ja kovuutta. Verrattuna tavalliseen S355 -rakenneteräkseen, ultralujien rakenneterästen kovuus onkin lähes kaksinkertainen, jonka vuoksi rakenne voidaan suunnitella jopa 40% ohuemmaksi kuin tavallista rakenneterästä käytettäessä (kuva 8). Optim-terästen kemialliset koostumukset, ja yleisimmät mekaaniset ominaisuudet on esitelty kuvissa 9-10. /7, 12, 24/



Kuva 8. Rakenteen painon ja paksuuden riippuvuus materiaalin myötölujuudesta /12/

Kemiallinen koostumus							
	Pitoisuus %, enintään (sulatusanalyysi)			P	S	P + S	Ti
	C	Si	Mn				
Optim 900 QC	0,10	0,25	1,15	0,020	0,010	0,030	0,07
Optim 960 QC	0,11	0,25	1,20	0,020	0,010	0,030	0,07
Optim 1100 QC	0,15	0,30	1,25	0,020	0,010	0,030	0,07

Lisäksi voidaan käyttää alumiinia (Al), niobia (Nb), vanadiinia (V), kromia (Cr), molybdeeniä (Mo) tai booria (B) yksin tai yhdisteinä.

Kuva 9. Optim-terästen kemialliset koostumukset /24/

Mekaaniset ominaisuudet ja paksuusalueet						
Teräslaji	Paksuusalue mm	Myötölujuus $R_{p0,2}$ MPa Vähintään	Murtolujuus R_m MPa Vähintään	Murtovenymä A_5 % Vähintään	Iskukeveys pöikittin ¹⁾ t °C	Charpy V J/cm ² Vähintään
Optim 900 QC ¹⁾	2,5 – 8,0	900	950	8	-40	34
Optim 960 QC ¹⁾	2,5 – 8,0	960	1000	7	-40	34
Optim 1100 QC ²⁾	2,5 – 6,4	1100	1250	6	-20	34

¹⁾ Myötölujuus ja murtolujuus testataan pöikittin valssausuuntaan nähden, mutta taataan sekä pöikittin että poikittain.
Murtovenymä testataan pöikittin valssausuuntaan nähden.

²⁾ Myötölujuus, murtolujuus ja murtovenymä testataan poikittain valssausuuntaan nähden.

³⁾ Iskukeveys testataan standardin EN 10045-1 mukaisesti Charpy V -iskuokeella.
Iskukeveysarvo 34 J/cm² vastaa arvoa 27 J testatessa 10 x 10 mm yleisokeasuilla.
Alle 6 mm paksuuskalle ei iskuokeita tehdä.

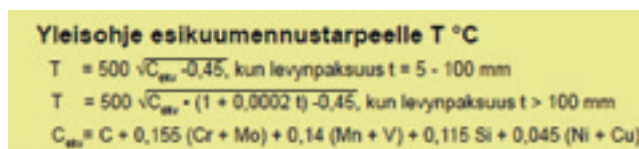
Kuva 10. Optim-terästen tyypillisimmät mekaaniset ominaisuudet /24/

2 Leikkaus

Leikkaustapoja on kahdenlaisia, termisiä ja mekaanisia. Termisillä leikkaustavoilla tarkoitetaan leikkausprosesseja, joissa leikkaus tapahtuu polttamalla tai sulattamalla metallia lämpöenergian avulla. Yleisimmät tavat ovat poltto-, plasma- ja laserleikkaus. Mekaanisilla leikkaustavoilla tarkoitetaan vastaavasti yleisimmin sellaisia, joissa materiaalia leikataan terän avulla joko käsin tai koneellisesti. Tavallisimmat leikkaustavat ovat pyörö- ja suorateräinen leikkaus. /4, 22/

2.1 TERMINEN LEIKKAUS

Termisen leikkauksen perusedellytys, riippumatta leikattavan teräksen ominaisuuksista, on, että leikattavan levyn annetaan lämmetä huoneenlämpöiseksi. Myötölujuuteen 500 MPa saakka, ei leikkauksessa tarvita erikoistoimenpiteitä. Vaatimukset lisääntyvät teräksen lujuuden ja kovuuden kasvaessa, jolloin tarvitaan esimerkiksi työstettävien kappaleiden esikuumennusta. Yleisohje esikuumennustarpeelle on esitetty kuvassa 11. /23/



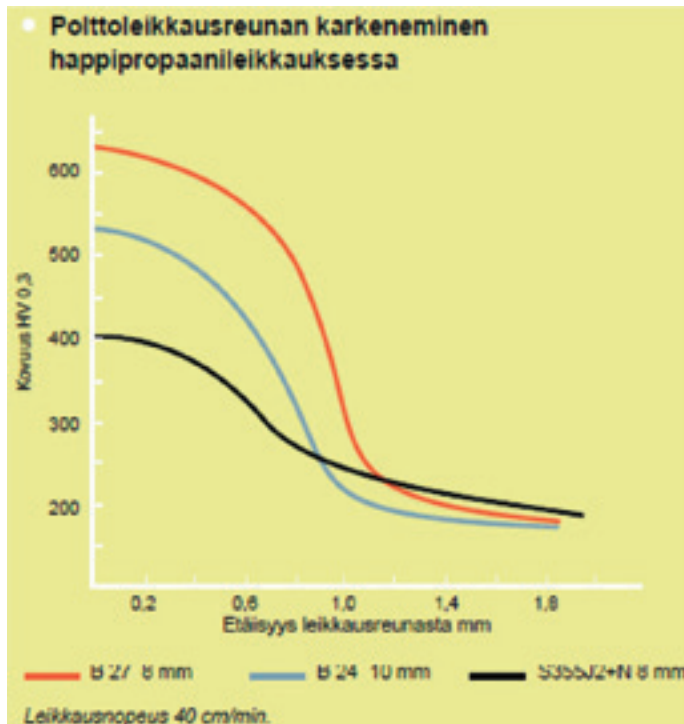
Yleisohje esikuumennustarpeelle T °C
 $T = 500 \sqrt{C_{\text{ter}} - 0,45}$, kun levynpaksuus t = 5 - 100 mm
 $T = 500 \sqrt{C_{\text{ter}} - (1 + 0,0002 t) - 0,45}$, kun levynpaksuus t > 100 mm
 $C_{\text{ter}} = C + 0,155 (Cr + Mo) + 0,14 (Mn + V) + 0,115 Si + 0,045 (Ni + Cu)$

Kuva 11. Yleisohje esikuumennustarpeelle /23/

Yleisesti ottaen ultralujat teräkset soveltuvat hyvin termisesti leikattaviksi, jonka vuoksi leikkausreunasta tulee sileä ja näin ollen hyvin väsymiskestävä. Plasmaleikkausmenetelmät ovat polttoleikkausmenetelmiä nopeampia, jonka vuoksi lämpövaikutusalue on kapeampi mutta lujuus puolestaan nousee korkeammaksi. Tämän vuoksi suositellaan käytettäväksi joko poltto- tai laserleikkausta. Leikatessa karkaistuja teräslevyjä termisellä menetelmällä, on tärkeää että lämpötila pysyy +200 °C alapuolella. Muutoin on vaarana, että teräs päästyy, jolloin sen kulumiskestävyys- ja mekaaniset ominaisuudet voivat heiketä. /23/

2.1.1 Leikkausmenetelmät

Paksuimpia teräslevyjä leikataan polttoleikkaamalla. Polttoleikatessa terästä, sen pintaan muodostuu vastaavanlainen noin 5mm leveä mikrorakennevyöhyke (HAZ-vyöhyke) kuin hitsatessa. Pinta karkenee noin 0,1mm syvyydeltä sen hiilittyessä, kun teräs palaa valikoivasti. Työstettävän levyn paksuus vaikuttaa polttoleikkauksessa sen kuumenemis- ja jäähtymisnopeuteen sekä kovuuteen ja raekokoon. Mitä paksumpaa levyä leikataan, sitä kovemmaksi levyn pinta muuttuu leikatessa, riippuen tietysti myös materiaalin hiilipitoisuudesta. Kuvassa 12 on havainnollistettu polttoleikkausreunan karkeneminen leikatessa happi-propaaniseoksella. Liiallista karkenemistä voidaan välttää esikuumennuksella, jolloin polttoleikatun reunan kovuus alenee ja muodonmuutoskyky paranee. Polttoleikattu reuna ei ole väsymiskestävyyden kannalta heikompi verrattuna vaikkapa hiottuun reunaan, kunhan leikkaustulos on mahdollisimman tasainen. /23/



Kuva 12. Polttoleikkausreunan karkeneminen /23/

Laserleikkaus on nykyään hyvin yleinen leikkausmenetelmä sen erinomaisen leikkaustarkkuuden ja -jäljen vuoksi. Hyvin laserleikatulla levyn reunalla on hyvä väsymiskestävyys. Tämä johtuu leikkausprosessin aikaisista lämpökäsittelistä vaikutuksista, jolloin reunaan muodostuu ferriittis-martensiittis-bainiittinen mikrorakenne. Tämä kova rakenne yhdessä mahdollisten puristusjännitysten kera paran-

taa väsymiskestävyyttä. Lisäksi laserleikkauksen aiheuttama pieni pinnankarheus leikkauksen jälkeen vaikuttaa väsymiskestävyteen ratkaisevasti. Laserleikatessa levyn reunaan muodostuu noin 0,2mm leveä pehmentynyt vyöhyke, joka ei vaikuta haitallisesti materiaalin ominaisuuksiin, vaan päinvastoin jopa jonkin verran parantaa sen kylmämuovattavuutta. /2, 23/

2.1.2 Termiseen leikkaukseen liittyviä suosituksia

Esikuumennuksen avulla voidaan välttyä liialliselta karkenemiseltä, sillä se alentaa polttoleikkauksen kovuutta ja näin ollen helpottaa levyn mekaanista työstöä. Esikuumennustarve riippuu mm. materiaalin karkenevuudesta, käytettävästä leikkauksen menetelmästä sekä -nopeudesta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että yli 40 mm paksut materiaalit tulee esilämmittää ennen leikkausta. /23/

Polttoleikatessa kulutusteräksiä, niiden leikkauspinta karkenee uudelleen 1–3 mm syvyyteen samalla kun sen alainen kerros päästyy ja pehmenee, pinnalta johtuvan lämmön vaikutuksesta. Kulutusterästen termisen polttoleikkaustyön yleisten suositusten mukaan yli 40 mm paksut levyt on aina esilämmitettävä vähintään 100 °C, mieluiten 150–200 °C. Suositellut työlämpötilat riippuen materiaalin paksuudesta on esitelty kuvassa 13. Lisäksi yli 45°viisteiden tekeminen paksuihin levyihin vaatii joissain tapauksissa kontrolloidun jäädytyksen ja lastuamista varten täytyy polttoleikkauksessa syntyneet karennut pinta sekä terävät särmit poistaa hiomalla. /11, 23/

Suositeltavat työlämpötilat polttoleikkauksessa		
	Paksuus mm	Työlämpötila °C
Raex 400	15 – 30	50 – 75
	(30) – 60	75 – 125
Raex 450	15 – 60	75 – 125
Raex 500	10 – 60	125 – 175

Teräslaji Raex 300 (2 – 8 mm) ei tarvitse korotettua työlämpötilaa.

Kuva 13. Suositellut polttoleikkauksen työlämpötilat /20/

2.1.3 Mekaaninen leikkaus

Lujien terästen leikkaamiseen suositellaan suorateräistä leikkaamista, kuten saksimaista leikkausmenetelmää. Mekaanisessa leikkauksessa käytettävillä koneilla sekä arvoilla on suuri merkitys leikkauksen onnistumisessa, joten ne tulee valita huolellisesti. Tärkeimpiä tekijöitä ovat leikkausväli ja -kulma sekä erityisesti Raex-teräksillä leikkausterän kovuus. Kovimpien kulutusterästen osalta terän kovuudeksi on määriteltä >53HRC, eikä niiden leikkausta suositella yli 10mm paksuille levyille. Kuten termisessä leikkauksessa, tulee mekaanisessa leikkauksessakin materiaalien olla vähintään huoneenlämpöisiä. /22/

Sopivan leikkausvälin käyttäminen vähentää leikkurin runkoon kohdistuvia rasituksia ja näin ollen vaikuttaa terien keston, kustannuksiin ja koko laitteiston käyttöikään. Mitä lujempi teräs on kyseessä, sitä suuremmaksi leikkausväli tulee säätää, kuten kuvassa 14 esitetään Raex 400-teräkselle. /20/

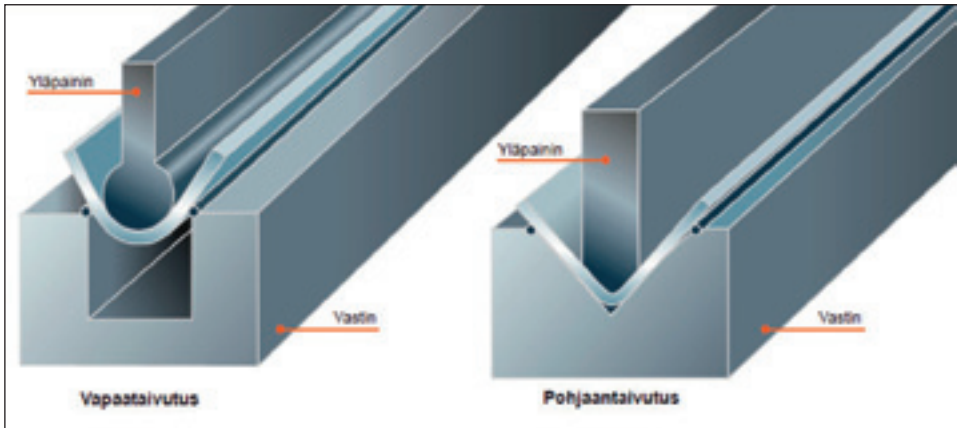
Raex® 400 -terästen mekaaninen leikkaus							
	Murtolujuus	Murtoverynä	Mekaaninen leikkaus, ohjearvoja		Kallistuskulma α^*	Viertokulma A^*	Leikkausvoima $\times 10^3 \text{ N}$
	R_m , N/mm ²	A_5 , %	Levyn paksuus mm t	Leikkausväli mm U			
Raex 400	1250	10	6	0,60 – 0,72	3 – 4	0 – 3	150 – 200
			8	0,80 – 1,28	3 – 5	0 – 5	250 – 350
			10	1,00 – 1,60	4 – 6	0 – 5	300 – 450
			12	1,20 – 2,16	4 – 6	0 – 5	400 – 600

Kuva 14. Mekaaniset leikkausarvot Raex 400- teräkselle /20/

Leikkaustulokseen vaikuttavat leikkurin lisäksi myös teräksen ominaisuudet, kuten murtolujuus sekä sitkeys. Tyypillisimpiä virheitä aiheuttavia tekijöitä ovat liian suuri leikkauskulma, tylsät terät, väärin säädetty leikkausväli tai leikkauskoneen akseleiden ja rungon joustot. Leikatessa terästä, ainoastaan osa materiaalista leikkautuu ja loput katkeavat murtumalla. Murtumisväli pysyy samana koko ajan, jonka vuoksi terien leikkausväli pitää asettaa levyn paksuuden ja murtolujuuden mukaan. Leikkausväli on asetettu oikein, kun murtohalkeama osuu suoraan terien leikkaaviin sarmiin, jolloin levy leikkautuu suoraan. Silmämääräisesti tarkastettuna oikein asetettu leikkausväli jättää noin 20 % leikkauspinnasta kooltaan olevan tasomaisen ja kiillotuneen vyöhykkeen. /22/

3 Särmäys

Särmäyksessä voidaan käyttää kahta menetelmää: vapaataivutusta tai pohjaantaivutusta. Yleisemmässä vapaataivutuksessa, työstettävä levy on koko työiskun ajan vastimen kulmien varassa ja oikea taivutuskulma saadaan säätämällä sekä iskunpituutta että vastimen aukon leveyttä. Takaisinjousto kompensoidaan suorittamalla riittävä ylitaivutus. Menetelmän etuna ovat suhteellisen yksinkertaiset ja helposti saatavilla olevat standardityökalut sekä työprosessin helppo automatisointimahdollisuus. Pohjaantaivutuksessa puolestaan yläpainin painaa taivutettavan levyn täysin vastinta vasten, jolloin levy muovautuu plastisesti eikä takaisinjousto pääse syntymään. Taivutusvoiman tarve, takaisinjouston suuruus ja pienin sallittu taivutussäde kasvavat materiaalin lujuuden kasvaessa. Pohjaantaivutuksen tuloksena saadaan hyvin jäykkä ja mittatarkka profiili, mutta haittana on 3-5-kertainen puristusvoiman tarve vapaataivutukseen verrattuna. Menetelmien periaatteet on esitetty kuvassa 15. /4, 25/



Kuva 15. Särmäystavat ja työkalut /25/

3.1 SÄRMÄYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUT

Yleisimmin materiaalin särmäykseen käytetään mekanisoitua särmäyspuristinta, jossa levy taipuu kahden työkalun, vastimen ja painimen, välissä (kuva 11). Muun muassa DIN-standardeissa standardisoidut työkalut kiinnitetään koneen ylä- ja alapalkin reunaan ja ne voivat olla joko koko koneen levyisiä tai koostua osista. Erityisesti lyhyitä levynpituuksia särmättäessä koottavat osat ovat käteviä, sillä niitä voidaan kiinnittää särmäyskoneeseen useita peräkkäin. Näin saadaan kaikki tarvittavat työvaiheet suoritettua kerralla ilman työkalujen välivaihtoja. /14/

Eniten särmäyksessä käytetty ylätyökalu on suora painin (kuva 16), mutta paljon on käytössä myös ns. hanhenkaulapainimia (kuva 17). Hanhenkaulapainimet ovat varustettu väistöllä ja käyvät näin ollen monimutkaisempien profiilien särmäämiseen. Normaaliin yleisluonteiseen konepajakäyttöön tarvitaan tavallisesti vain muutamia painimia tai paininsarjoja, esimerkiksi omat ohutlevyille ja karkaistuille levyille. /14/



Kuva 16. Suoria painimia /27/



Kuva 17. Hanhenkaulapainimia

Vastimen yleisin muoto on v-ura, mutta muitakin muotoja, kuten u-uraa, tavataan. Pohjaantaivutukseen tarkoitettujen vastimien kulma on koneistettu tarkasti haluttuun kulmaan kun taas vapaataivutuksessa vastimiin jätetään hieman ”pelivaraa”, jotta takaisinjousto pystytään kompensoimaan. Vapaataivutuksessa u-uraisen vastimen käyttö on juuri takaisinjouston vuoksi edullisempää. Tavallisimpien vastimien lisäksi on olemassa myös erikoisvastimia, joiden muoto voi vaihdella suorasta laatasta monimutkaisiin rakenteisiin, sekä elastisia vastimia (kuva 18). /14/

Elastisen vaste nimensä mukaisesti muuttaa särmäyksen aikana muotoaan levykosketusta mukailleen, jonka vuoksi sillä särmäämistä kutsutaan myös joustomuovaukseksi. Vastimella särmääminen onnistuu noin 3mm levynpaksuuteen saakka ja sen voimantarve on noin 1,5–2-kertainen vapaataivutukseen verrattuna, joka on huomattavasti alhaisempi kuin pohjaantaivutuksella. Elastisen vasteen käytön etuna ovat

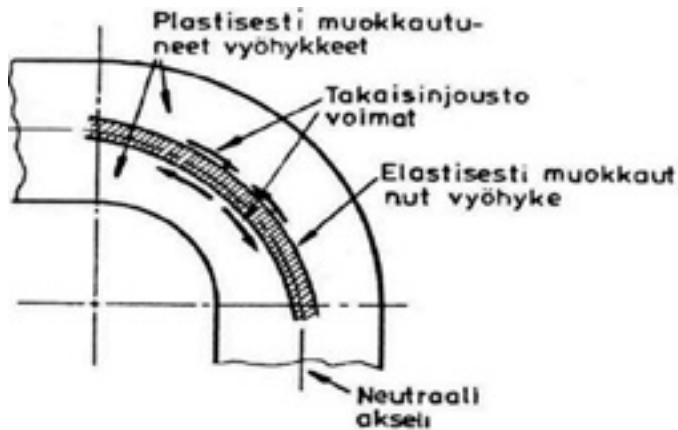
jopa 50 % pienemmät taivutussäteet verrattuna perinteisiin vastimiin. Lisäksi särmän ulkopinta säilyy ehjänä sellaisillakin materiaaleilla, jotka aukkoon taivutettaessa murtuisivat, kappaleen naarmuttomasta ulkonäöstä puhumattakaan. Väsytykskokeiden tuloksena, elastiseen vastimeen särmätyt kappaleet myös kestävät selvästi paremmin. /14, 27/



Kuva 18. Elastisia vastimia /15/

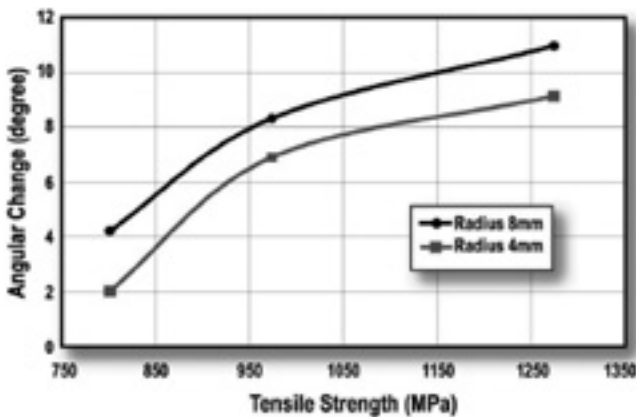
3.2 JÄNNITYKSEN MUUTTUMINEN JA TAKAISINJOUSTO

Särmättävä levy taipuu vaiheittain, siten että taivutusvoiman tarve vaihtelee taivutuksen edetessä. Aluksi voimantarve kasvaa tasaisesti, jonka jälkeen se alenee. Taivutuksen aikana levyn ulkopintaan syntyy vetojännitys ja sisäpintaan puristusjännitys samalla kun neutraaliakseli siirtyy sisäpintaan päin. Mikäli menetelmänä käytettäisiin pohjaantaivutusta, voimantarve kääntyisi jälleen nousuun, mitä lähemmäs vastinta levy painuisi. Vapaataivutuksessa esiintyy takaisinjoustoja, jossa levy särmäyspuristuksen loputtua pyrkii kimmoisen jännityksen vuoksi palautumaan muutaman asteen verran takaisin alkuperäiseen tilaansa päin. Taivutettaessa materiaaliin muodostuvat plastisesti eli pysyvästi ja elastisesti eli kimmoisasti muokkautuneet alueet, joiden väliin jääneet takaisinjoustovoimat aiheuttavat taipuman (kuva 19). /14, 18/



Kuva 19.
Takaisinjouston periaatekuva /18/

Takaisinjousto on yleensä suoraan verrannollinen materiaalin lujuuden kanssa -mitä lujuempi materiaali, sitä suurempi takaisinjouston määrä on. Lujuuden lisäksi takaisinjoustoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. särmästyökalun säde ja särmättävän levyn paksuus. Myötölujuuden ja särmäyssäteen vaikutus takaisinjoustoon on esitetty kuvassa 20. /28/



Kuva 20. Takaisinjouston riippuvuus myötölujuudesta ja särmäyssäteestä /28/

3.3 SÄRMÄYKSEEN LIITTYVIÄ SUOSITUKSIA

Ennen särmäystä, varsinkin yli 20 mm paksut, materiaalit kannattaa esilämmittää 100–200 °C, joka pienentää taivutusvoiman tarvetta ja parantaa särmättävyyttä. Lisäksi särmättävä alue tulee siistiä onnistuneen lopputuloksen saamiseksi. Myös valssaussuunnan tunnistaminen on tärkeää, sillä kulutusteräksillä taivutussäteet ja yläpainimen halkaisijat ovat erilaiset särmätessä poikittain ja pitkittäin valssaussuuntaan nähden (kuva 21). Ultralujilla rakenneteräksillä taivutussärmän suunnalla ei ole väliä (kuva 22). /25/

Raex-terästen särmäys							
Yläpainimen halkaisijan valinta teräslajin, levypaksuuden ja taivutussäteen perusteella							
Taivutussäde R mm ¹⁾	Yläpainimen halkaisija D mm ²⁾	Raex 300 ja Raex 400 Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden		Raex 450 Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden		Raex 500 Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden	
		Pokittain	Pikittain	Pokittain	Pikittain	Pokittain	Pikittain
6	12	2	2				
9	18	3	3				
12	24	4	4	3	2		
15	30	5	5		3		
18	36	6					
20	40	7		5			
25	50	8	6				
28	56	9			5		
30	60	10	8	7			
36	72	12			7		
40	80	14	10	10			
50	100	16					
55	110	18			10	5	
60	120	20	15	15			5
70	140				15	7	
85	170		20	20			7
100	200				20	10	
120	240						10
150	300					15	
180	360						15
200	400					20	
240	480						20

¹⁾ Taivutussäde R saadaan taivutettavan fyökappaleen piirustuksesta.
²⁾ Yläpainimen halkaisijaksi D valitaan konepajassa olevasta paininsarjasta suurempi, joka on taulukossa suositeltu lähin.
 Taivutuksessa V-laukkoon (90 °C) suositellaan aukon leveyden ja levypaksuuden suhteeksi Wit = 15.

Kuva 21. Yläpainimen halkaisijan valinta Raex-teräksillä /25/

Optim QC -terästen särmäys				
Yläpainimen halkaisijan valinta teräslajin, levypaksuuden ja taivutussäteen perusteella				
Taivutussäde R mm ¹⁾	Yläpainimen halkaisija D mm ²⁾	Optim 900 QC	Optim 960 QC	Optim 1100 QC
		Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden kaikissa suunnissa	Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden kaikissa suunnissa	Levyys paksuus t mm Taivutuslinja valssausuuntaan nähden kaikissa suunnissa
9	18	3		
10	20		3	
12	24	4		3
14	28		4	
15	30	5		
16	32			4
17	34		5	
19	38	6		
20	40			5
22	44		6	
25	50			6

¹⁾ Taivutussäde R saadaan taivutettavan fyökappaleen piirustuksesta.
²⁾ Yläpainimen halkaisijaksi D valitaan konepajassa olevasta paininsarjasta suurempi, joka on taulukossa suositeltu lähin.
 Taivutuksessa V-laukkoon (90 °C) suositellaan aukon leveyden ja levypaksuuden suhteeksi Wit = 15.

Kuva 22. Yläpainimen halkaisijan valinta Optim-teräksillä /25/

Käytännössä parhain lopputulos saavutetaan käyttämällä mahdollisimman suurta taivutussädettä ja suorittamalla särmäys yhdellä painalluksella huomioiden materiaalin takaisinjousto. Esimerkiksi Optim 900 QC -laadun pienin sallittu taivutussäde on kolminkertainen ja 960QC -laadulle 3,5-kertainen materiaalivahvuuteen nähden. Kulutusteräksillä takaisinjouston suuruus vaihtelee riippuen teräksen kovuudesta. Esimerkiksi Rautaruukin Raex- tuoteperheen 400:lla takaisinjousto on 9-13° ja 500:lla 10-15°. Ultralujien terästen takaisinjousto määritellään yleensä koetaivutuksella ennen varsinaisten työstökappaleiden särmäämistä. Kokemusten mukaan se kuitenkin esimerkiksi Optim 960 QC-laadulla on noin 14°. /2, 16, 25/

Ultralujien rakenne- ja kulutusterästen särmäys on haasteellista ja työstökoneilta tehokkuutta vaativaa, materiaalien korkean lujuuden ja näin ollen suurten taivutusvoimien vuoksi. Tarvittava taivutusvoima riippuu mm. levyn murtolujuudesta, paksuudesta sekä taivutettavasta pituudesta. Sen laskemiseksi on laadittu kaava (kuva 23), mutta kokemusten mukaan esimerkiksi Raex 400-laadulle tarvittava voima on n. 125 t/m ja Optim 960 QC -laadulle n. 115 t/m. Parhaimpaan lopputulokseen päästään usein yhdistämällä konepajojen kokemus tutkimuksilla saatuun teoreettiseen tietoon. /16, 25/

$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{W}$$

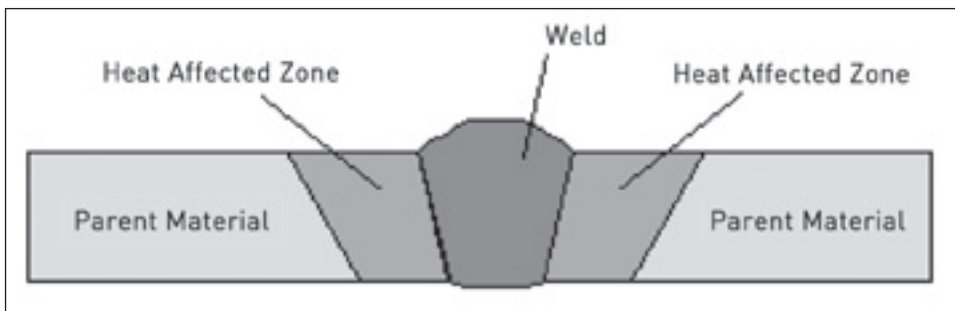
R_m = levyn murtolujuus, MPa
 t = levyn paksuus, mm
 C = vakio (1,2 – 1,5)
 b = taivutettava pituus, mm
 W = vastimen aukon leveys, mm

Kuva 23. Tarvittavan taivutusvoiman laskukaava /25/

4 Hitsaus

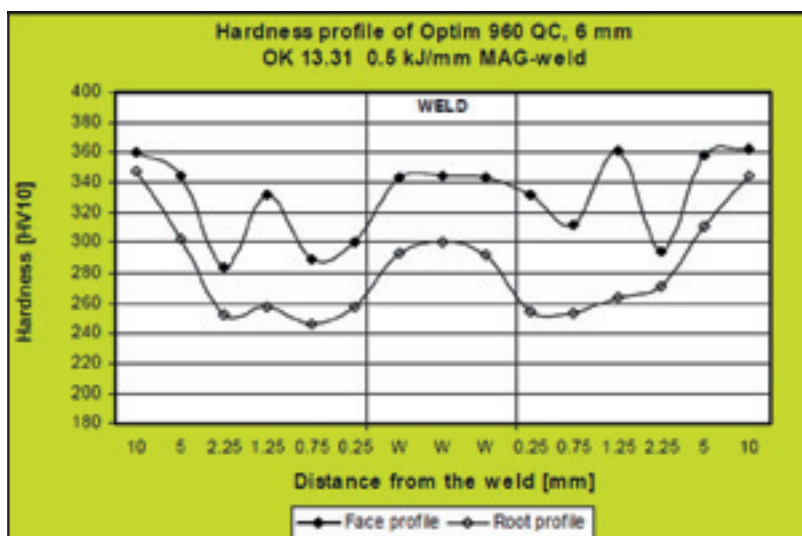
Hitsaus on nykyään selvästi yleisin teräksen liittämismenetelmä. Yleensä siinä kappaleet liitetään yhteen sulattamalla liitospinnat ja käyttäen apuna lisäainetta. Hitsauksessa kappaleeseen kohdistuva lämpöenergia vaikuttaa voimakkaasti sekä hitsauslisäaineen että sitä ympäröivän perusaineen rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Hitsausmenetelmiä on monia, mutta ultralujia rakenne- ja kulutusteräksiä hitsattaessa suositellaan käytettäväksi perinteistä kaasukaarihitsausta umpi- tai täytelangalla tai vaihtoehtoisesti laser-, pulssi-MAG- tai laserhybridihitsausta. /4, 24/

Valmis hitsisauma jaetaan eri vyöhykkeisiin. Seostumisvyöhykkeellä, perusaine ja lisäaine sekoittuvat toisiinsa 15-60% sekoittumisasteella, riippuen käytetystä hitsausmenetelmästä. Vyöhykettä, jossa perusaine ei ole sulanut mutta siinä hitsauslämmön vaikutuksesta on tapahtunut mikrorakennemuutoksia, kutsutaan muutosvyöhykkeeksi eli HAZ-vyöhykkeeksi (kuva 24). Kuten kuvasta 25 huomataan, hitsattavan perusmateriaalin lujuus vaihtelee hitsin lämpövyöhykkeellä huomattavasti. Hitsatuissa rakenteissa, joille asetetaan paljon kuormitusta, syntyy näin ollen riski rakenteen myötäämiselle sauman kohdalla. HAZ- vyöhyke on lisäksi altis halkeilulle sekä liialliselle karkenemiselle, jonka vuoksi kappale on usein esilämmitettävä sekä lämmöntuontia alueelle on rajoitettava. /4, 8/



Kuva 24. Muutosvyöhyke eli HAZ (Heat Affected Zone) /1/

Hitsattavuuden suurpiirteiseen arviointiin ja esikuumennustarpeen määrittämiseen voidaan käyttää apuna hiiliequivivalentti- eli CEV-arvoa (Carbon Equivalent Value).



Kuva 25. Materiaalin kovuuden muuttuminen hitsin lämpövyöhykkeellä /10/

Kun arvo on välillä 40-50, materiaali on hyvin hitsattavissa eikä ohuilla levynpak-suuksilla tarvita esilämmitystä mikäli käytetään niukkavetyistä lisäainetta. Yli 50 CEV-arvoilla esikuumennus on yleensä aina tarpeen. Kuvissa 25 ja 26 on esitetty Raex- ja Optim QC-terästen hiilikvivalenttiarvoja. /6/

Hiilikvivalentti (CEV)		
	CEV tyypillinen	CEV enintään
Optim 900 QC	0,51	0,56
Optim 960 QC	0,52	0,57
Optim 1100 QC	0,50	0,55
CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15		

Kuva 25. Optim QC-terästen hiilikvivalenttiarvoja /24/

4.1 LÄMMÖNTUONNIN RAJOITTAMINEN JA ESIKUUMENNUSTARVE

Hitsausprosessia valitessa tulee huomioida terästen lämmöntuontirajoitukset, joiden vaikutukset korostuvat teräksen lujuuden ja iskutkeysvaatimusten kasvaessa. Pie-nellä lämmöntuonnilla hitsausalueen jäähtyminen tapahtuu liian nopeasti, jolloin hitsin lämpövaikutusalue karkenee ja muuttuu entistä kylmähalkeilualttiimmaksi. Liian suurella lämmöntuonnilla jäähtymisnopeus puolestaan on liian hidask, jolloin liitoksen kovuus ja lujuus alenevat ja iskutkeysominaisuudet heikkenevät. /4, 17/ HAZ-vyöhykkeen muutoksia voidaan kontrolloida korottamalla työlämpötilaa, jol-loin hitsausliitoksen jäähtyminen hidastuu ja halkeilualttiin mikrorakenteen synty-

Teräslaji	Nauhalevy		Kvarttolevy	
	Paksuus mm	CEV	Paksuus mm	CEV
Raex 300	2 – 8	0,47	-	-
Raex 400	2.5 – 6.4	0,49	5 - 12	0,45
			(12) - 30	0,50
			(30) – 60	0,56
Raex 450	3 – 6.4	0,53	6 - 30	0,50
			(30) – 60	0,58
Raex 500	4 – 5.5	0,55	5 - 60	0,64

Kuva 26. Raex-terästen hiilielkivalenttiarvoja /17/

minen estyy. Sopiva työlämpötila määräytyy pääasiassa yhdistetyn levynpaksuuden ja materiaalin hiilielkivalentin avulla. Kuvassa 27. on esitetty suositellut työlämpötilat Raex-teräksille. Optim QC-teräksiä ei yleensä käytettävien ohuiden levynpaksuuksien sekä alhaisen hiilipitoisuuden vuoksi tarvitse esilämmittää. Koska molemmat materiaalit ovat erittäin lujia, työstöä yli 200 °C ei suositella, sillä se heikentää materiaalien lujuutta, kovuutta ja kulumiskestävyyttä. /20, 25/

	Hitsausmenetelmän vetypitoisuus HD	Minimitaustenergia E kJ/mm	Yhdistetty levyn pakkaus t, mm											
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Raex 400	MAG-umpilanka, täytelanka, pulkko HD = 5 ml / 100g	1.5		20		50	75	125			150			
		2			20				125			150		
		2.5			20					100		125		
	Täytelanka, pulkko HD = 5 - 10 ml / 100 g	1.5		20	100		125			175			200	
		2			20		100	125		150		175		
		2.5			20			75	125	150	150		175	
	Jauhekaarihitaus HD = 5 - 10 ml / 100 g	1.5		20	50	100	125	150			175			
		2			20			75	125	150		175		
		2.5				20			100	125	150		175	
Raex 500	MAG-umpilanka, täytelanka, pulkko HD = 5 ml / 100g	1.5	20	75	125		150				175			
		2		20		75		125		150		175		
		2.5			20		75	125		150		175		
	Täytelanka, pulkko HD = 5 - 10 ml / 100 g	1.5	20	150	175					200 ¹⁾				
		2	20	100	150	175				200 ¹⁾				
		2.5	20	50	100	150				200 ¹⁾				
	Jauhekaarihitaus HD = 5 - 10 ml / 100 g	1.5	20	100	150	175				200 ¹⁾				
		2	20	50	100	150				200 ¹⁾				
		2.5	20		50	100				200 ¹⁾				

Teräslajin Raex 300 hitsauksessa ei tarvita korotettua työlämpötilaa.
¹⁾ Yli 200 °C:n työlämpötila saattaa heikentää mekaanisia ominaisuuksia.

$$E = \frac{60 \cdot U \cdot l}{100 \cdot v}$$

E = hitsausenergia (kJ/mm) I = hitsausvirta (A)
U = kaarijännite (V) v = hitsausnopeus (mm/min)

Kuva 27. Suositeltavat hitsauslämpötilat Raex-teräksille /20/

Hitsauksessa tapahtuvaa lämpövaikutusta arvioidaan liitoksen jäähtymisajalla $t_{8/5}$ eli 800°C:sta 500°C:n. Pisin sallittu jäähtymisaika määräytyy hitsisauman HAZ-vyöhyk-

keen iskutipkeysvaatimusten perusteella. Tutkimusten mukaan Raex-teräksille optimaalisimmat ominaisuudet saavutetaan, kun jäähtymisaika $t_{8/5}$ on välillä 10-20s. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi 10 mm levyn MAG-hitsauksessa hitsausenergia-

Teräslaji	Levyepäkuus mm	Kaarienergia kJ/mm ¹⁾	
		Päätäsiliitos	Pienäsiitos
Optim 900 QC, Optim 960 QC	2,5 – 4,0	0,25 – 0,6	0,4 – 0,7
Optim 900 QC, Optim 960 QC	(4,0) – 6,0	0,35 – 0,8	0,5 – 1,1
Optim 900 QC, Optim 960 QC	(6,0) – 8,0	0,45 – 1,0	0,6 – 1,4
Optim 1100 QC	2,5 – 4,0	0,25 – 0,4	0,4 – 0,7
Optim 1100 QC	(4,0) – 6,4	0,25 – 0,6	0,5 – 0,9

¹⁾ Kaarienergia = $E = 60 \times U \times l / 1000 \times v$, jossa E = (kJ/mm), U = kaarijännite (V), l = hitsausvirta (A) ja hitsausnopeus v = (mm/min).
Taulukon 7 lämmöntuontiarvot vastaavat hitsausliitoksen jäähtymistä lämpötila-alueen 800 – 500 °C välillä, seuraavia jäähtymisaikoja:
Teräslajit Optim 900 QC ja Optim 960 QC: $t_{8/5} = 4 - 15$ sekuntia ja teräslaji Optim 1100 QC: $t_{8/5} = 4 - 10$ sekuntia.
Huomio: Hitsauksessa voi käyttää näitä $t_{8/5}$ -arvoja lyhyempiäkin jäähtymisaikoja.

aluetta 1.2-1.7kJ/mm (kuva 27). Optim QC- teräksille vastaava jäähtymisaika on 4-15 s, joka saavutetaan hitsatessa 6mm levyä hitsausenergialla 0.8 kJ/mm (kuva 28). /2, 20/

Kuva 28. Optim QC-terästen suositeltuja hitsausenergia-arvoja /24/

4.2 HITS AUSLISÄAINEET

Karkaistujen terästen hitsauksessa suositellaan käytettävien ferriittisiä lisäaineita, joiden on ehdottomasti oltava niukkavetyisiä ($HD \leq 5\text{ml}/100\text{g}$). Lisäaineelta tavoitellaan joko alilujuutta tai tasalujuutta. Aliluja hitsauslisäaine on myötölujuudeltaan perusainetta pienempi, kun puolestaan tasalujalla lisäaineella myötölujuus on sama kuin perusaineella. Käytettävät hitsausaineet valitaan kohteena olevan rakenteen asettamien vaatimusten sekä liitosmuodon ja hitsausasennon perusteella. /20, 24/

Yleensä alilujaa hitsausainetta käytetään tilanteissa, jossa hitsiliitokset eivät joudu alttiiksi suurelle kuormitukselle. Tasalujaa lisäainetta puolestaan käytetään tilanteissa, jossa hitsiliitokselta halutaan kovaa lujuutta ja se altistuu kovalle kulutukselle. Alilujaa lisäainetta käytettäessä saavutetaan paljon etuja, kuten hitsausliitoksen matalampi jännitystila sekä vähäisempi työlämpötilan korottamistarve. Lisäksi aliluja lisäaine on muodonmuutoskyvyllään ja iskutipkeydeltään parempi kuin tasaluja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös molempia hitsauslisäaineita samaan hitsaussaumaan, jolloin 2-3 pintapalkkerrosta hitsataan tasalujalla lisäaineella ja välipalot alilujalla, jolloin voidaan hyödyntää sen tuomat edut. /20, 24/

Raex-teräksille voidaan käyttää lisäaineena myös austeniittisten ruostumattomien teräksien hitsauslisäaineita, mikäli hitsausliitoksen halutaan olevan alilujuinen. Austeniittinen hitsauslisäaine on sitkeää ja erittäin muodonmuutoskykyistä, jolloin hitsausauma jää pehmeämmäksi kuin ferriittisiä lisäaineita käytettäessä. Ko. hitsauslisäaineet eivät ole kylmähalkeilualltiita, jolloin niitä käyttämällä voidaan yleensä välttää työlämpötilan korottamisen tarve. /20/

5 Lastuaminen

Lastuamisella tarkoitetaan materiaalin eli lastujen irrottamista työstettävästä kappaleesta kiilamaisen terän avulla, joka on huomattavasti perusmateriaalia kovempaa ainetta. Se on laajimmin konepajateollisuudessa käytetty työstömenetelmä. Tärkeimmät lastuamismenetelmät ovat sorvaaminen, poraaminen ja jyrsiminen. Sorvaukselle ominaista on se, että työstettävä kappale pyörii oman pituusakselinsa ympäri, terän pysyessä tietyssä asennossa. Jyrsinnässä puolestaan työkalu pyörii akselinsa ympäri työstettävän kappaleen ollessa paikallaan. Porauksessa työkalu pyörii akselinsa ympäri, liikkuen samalla sen suuntaisesti. Kaikki menetelmät ovat nykyisin automatisoitavissa NC-ohjelmoinnin avulla. /4/

Lastuamiseen pätevät samanlaiset yleisohjeet kuin muuhunkin konepajatyöskentelyyn. Ultralujien terästen kohdalla tulee kuitenkin muistaa niiden työstämiseen vaadittavat normaalia suuremmat voimankäyttötarpeet. Työstöön käytettävän koneen tulee olla tukeva ja työkappale täytyy kiinnittää siihen mahdollisimman tiukasti. Työstettäessä tulee käyttää mahdollisimman suurta syöttönopeutta sekä lastuamissyvyyttä, runsaan lastuamismesteen kera. Materiaalivalmistajat opastavat usein myös tarvittavien työstöterien valinnassa. /21/

5.1 LASTUAMISSUOSITUKSIA ULTRALUJILLE RAKENNE- JA KULUTUSTERÄKSILLE

Raex 400 ja 450 -laadut ovat porattavissa tavallisilla tai vaihtoehtoisesti kobolttiseosteisillä pikateräsporilla eli HSS-porilla (High-Speed Steel). Kovemman Raex 500 -laadun poraamiseen suositellaan kovametalliporaa, jotta saadaan oikeanlainen lopputulos. Yleisesti käytettäväksi suositellaan DIN 1897- standardin mukaisia lyhyen reiän poria. Kuvissa 28-30 on esitetty suositeltavat porausarvot eri poratyypeillä. Optim QC -laadun kaltaiset nuorrutusteräokset ovat hyvin porattavissa tavallisilla pikateräsporilla. /21/

Tavallisesti kulutusteräksillä jyrsintään käytetään rouhinta-jyrsintää. Varsinkin Raex 500 -laatua jyrsittäessä ja sorvattaessa tulee noudattaa erityistä varovaisuutta materiaalin lujuuden vaatimien työstövoimien vuoksi. Jyrsinnässä ja sorvaamisessa suositellaan käytettäväksi kovametalliteriä. Lastuamisarvoja, jotka pätevät niin jyrsintään kuin sorvaamiseen on esitetty kuvassa 31. /21/

Raex 400. Suositeltavat porausarvot pikateräsporilla ¹⁾					
	Poran halkaisija mm	Syöttö mm/kieros	Syöttö mm/minuutti	Lastumisnopeus m/minuutti	Kierrosuku r/minuutti
Pinoittamaton HSS-pora	5	0,10	60 – 80	9 – 12	600 – 800
	15	0,20	40 – 50	9 – 12	200 – 250
	25	0,25	30 – 40	9 – 12	110 – 150
Pinoittamaton HSS-Co-pora	5	0,10	70 – 100	12 – 15	800 – 950
	15	0,20	50 – 70	12 – 15	250 – 320
	25	0,20	25 – 30	9 – 12	110 – 150

¹⁾ Pikateräsporan merkinnässä "HSS"=High-Speed Steel=pikateräs.

Kuva 28. Raex 400 -laadulle suositeltuja porausarvoja /21/

Raex 450. Suositeltavat porausarvot pikateräsporilla ¹⁾					
	Poran halkaisija mm	Syöttö mm/kieros	Syöttö mm/minuutti	Lastumisnopeus m/minuutti	Kierrosuku r/minuutti
Pinoittamaton HSS-pora	5	0,08	40 – 50	8 – 10	500 – 650
	15	0,20	35 – 45	8 – 10	170 – 210
	25	0,25	25 – 35	8 – 10	100 – 130
Pinoittamaton HSS-Co-pora	5	0,10	60 – 75	8 – 10	600 – 750
	15	0,20	35 – 45	8 – 10	170 – 210
	25	0,20	15 – 20	6 – 8	75 – 100

¹⁾ Pikateräsporan merkinnässä "HSS"=High-Speed Steel=pikateräs.

Kuva 29. Raex 450 -laadulle suositeltuja porausarvoja /21/

Raex 500. Suositeltavat porausarvot pikateräsporilla ¹⁾ ja täyskovametallikärkiporalla					
	Poran halkaisija mm	Syöttö mm/kieros	Syöttö mm/minuutti	Lastumisnopeus m/minuutti	Kierrosuku r/minuutti
Pinoittamaton HSS-pora	5	0,10	25	4	250
	15	0,15	15	4	85
	25	0,15	8	4	50
Pinoittamaton HSS-Co-pora	5	0,10	25 – 35	4 – 6	250 – 380
	15	0,15	15 – 20	4 – 6	80 – 130
	Täyskovametallikärkipora	16	0,15	120	40

¹⁾ Pikateräsporan merkinnässä "HSS"=High-Speed Steel=pikateräs.

Kuva 30. Raex 500 -laadulle suositeltuja porausarvoja /21/

Raex. Rouhintajyrsinnän lastuamisarvot			
Rouhintajyrsintä, lastuamisneste			
	Kääntöterä P40	Syöttö	Lastuamisyvyys
	Lastuamisnopeus m/min	mm/hammas	mm
Raex 400	75 – 90	0,1 – 0,2	2 – 5
Raex 500	60 – 75	0,1 – 0,15	1 – 4

Optimaalisissa olosuhteissa on mahdollista käyttää jopa 50 % suurempia lastuamisarvoja.
Kulvana lastuamiseen suositellaan 20 – 30 % pienempiä lastuamisarvoja.

Kuva 31. Raex-terästen jyrsintään suositeltuja lastuamisarvoja /21/

6 Hyödyllisiä linkkejä

Rautaruukilla on materiaaleilleen kattavat ohjekokoelmat, jotka ovat vapaasti käytettävissä internetin välityksellä heidän kotisivuillaan www.ruukki.com. Lisäksi Rautaruukki on hiljattain käynnistänyt Ruukki Academyn, joka tarjoaa monipuolista koulutusta rakennus- ja konepajateollisuuden ammattilaisille. Ohessa on hyödyllisiä linkkejä liittyen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen ominaisuuksiin, työstöön ja käyttöön.

- Raex-ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0A7E078BA1581379C2257734002994AB/\\$File/Raex_HR%202%201%2046%2005%202010_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0A7E078BA1581379C2257734002994AB/$File/Raex_HR%202%201%2046%2005%202010_FI.pdf?openElement)
- Optim QC-ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/\\$File/S%C3%A4rm%C3%A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/$File/S%C3%A4rm%C3%A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement)
- Mekaaninen leikkaus -ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/8F8CC9E90C01409BC225727C00307DF8/\\$File/Mekaaninen%20leikkaus_HR_02.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/8F8CC9E90C01409BC225727C00307DF8/$File/Mekaaninen%20leikkaus_HR_02.2007_FI.pdf?openElement)
- Terminen leikkaus -ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/EDD8290B247FC3DEC22572C30024B106/\\$File/Terminen%20leikkaus%20ja%20kuumilla%20oikominen_HR_04.2007%20V2_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/EDD8290B247FC3DEC22572C30024B106/$File/Terminen%20leikkaus%20ja%20kuumilla%20oikominen_HR_04.2007%20V2_FI.pdf?openElement)
- Särmäys -ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/\\$File/S%C3%A4rm%C3%A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/$File/S%C3%A4rm%C3%A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement)
- Hitsaus -ohje: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/64E5332B3DCB0A71C22573A300406860/\\$File/Hitsaus_HR_11.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/64E5332B3DCB0A71C22573A300406860/$File/Hitsaus_HR_11.2007_FI.pdf?openElement)

7 Lähteet

- /1/ Heat affectec zone, [www-dokumentti], http://www.hsc.csu.edu.au/engineering_studies/joining_metals/3817/heat_affected.png
- /2/ HEMMILÄ M., LAITINEN R., LIIMATAINEN T., PORTER D., Mechanical and Technological Properties of Ultra High Strength Optim Steels, Rautaruukki Oyj
- /3/ HYLKILÄ ANU, Ruukki Metals, Ruukin suorakarkaistut kulutusteräkset, [pdf-dokumentti]
- /4/ IHALAINEN E, AALTONEN K, AROMÄKI M, SIHVONEN P, Valmistustekniikka, 9. painos, Otatieto, 2002
- /5/ Inline, 4/2007, s. 10-12, [PDF-dokumentti], [http://www.ruukki.com/www/publications.nsf/52B4DBFDC3F3851DC22574720023DF70/\\$file/Inline_4_07_fin.pdf?OpenElement](http://www.ruukki.com/www/publications.nsf/52B4DBFDC3F3851DC22574720023DF70/$file/Inline_4_07_fin.pdf?OpenElement)
- /6/ KARPPI RISTO, LUKKARI JUHA, Vety hitsauslisäaineissa ja hitsiaineissa sekä lisäaineiden kostumistaipumus, Hitsaustekniikka 1/2005, [PDF-dokumentti], http://www.shy-hitsaus.net/HT1_2005_JK&RK.pdf
- /7/ KOIVISTO KAARLO, LAITINEN ESKO, NIINIMÄKI MATTI, TIAINEN TUOMO, TIILIKKA PENTTI, TUOMIKOSKI JUHO, Konetekniikan materiaalioppi, 9. painos, Edita Oyj, 2001
- /8/ KUOPPALA JUHA, Rautaruukki Oyj, Ultralujat teräkset, teräsrakenteiden suunnittelu, [PPT-esitys], Modernit teräkset ja niiden sovellukset -seminaari, 14.4.2010 Helsinki
- /9/ KÖMI JUKKA, Rautaruukki, esitysmateriaali, 2009
- /10/ LAITINEN RISTO, Rautaruukki Oyj, Ultralujien terästen hitsaus, [PPT-esitys], Ultralujien ja kulutusta kestävien terästen muovattavuus, [PPT-esitys], Modernit teräkset ja niiden sovellukset -seminaari, 14.4.2010 Helsinki
- /11/ MIKKONEN PERTTI, Ruukki Production, Kuumavalssattujen lujien terästen konepajakäytettävyys
- /12/ MÜLLER CHRISTIAN, SEDLACEK GERHARD, High Strength Steels in Steel Construction, [PDF-dokumentti], http://www.cbmm.com.br/portug/sources/techlib/science techno/table_content/sub_4/images/pdfs/047.pdf
- /13/ MÄNTYJÄRVI KARI, Ultralujien levymateriaalien käyttö ja tähän liittyvät valmistusmenetelmät, SISU 2010 –vuosiseminaari 2009, esitysmateriaali
- /14/ Pieneräätuotannon levytyökoneiden työvälineet

- /15/ Polyurethane Products Corp, Elastisia vastimia, [www-dokumentti], <http://www.polyprod.com/pics/vpad.jpg>
- /16/ Ruukki Academy, Kulutuksenkestävät Raex teräkset, koulutusmateriaali
- /17/ Ruukki Academy, Raex-terästen hitsaus, koulutusmateriaali
- /18/ Ruukki Academy, Raex-terästen taivutus/särmäys, koulutusmateriaali
- /19/ Ruukki, Kulutusterässovelluksia, [WWW-dokumentti], <http://www.ruukki.com/www/finland.nsf/Documents/A5F66FB93BB234C7C22574F100496F49?OpenDocument>
- /20/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Kulumista ja pintapainetta kestävät teräkset, Raex, ohje-lehti, [PDF-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0A7E078BA1581379C2257734002994AB/\\$File/Raex_HR%202%201%2046%2005%202010_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0A7E078BA1581379C2257734002994AB/$File/Raex_HR%202%201%2046%2005%202010_FI.pdf?openElement)
- /21/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Materiaalin työstö, Lastuaminen, ohje-lehti, [pdf-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DDCE0A444DE33199C22576E8002B9360/\\$File/Lastuaminen_HR%205%202%2005%2005%202010_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DDCE0A444DE33199C22576E8002B9360/$File/Lastuaminen_HR%205%202%2005%2005%202010_FI.pdf?openElement)
- /22/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Materiaalin työstö, Mekaaninen leikkaus, ohje-lehti, [PDF-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/8F8CC9E90C01409BC225727C00307DF8/\\$File/Mekaaninen%20leikkaus_HR_02.2007_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/8F8CC9E90C01409BC225727C00307DF8/$File/Mekaaninen%20leikkaus_HR_02.2007_FI.pdf?openElement)
- /23/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Materiaalin työstö, Terminen leikkaus ja kuumilla oikominen, ohje-lehti, [PDF-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/EDD8290B247FC3DEC22572C30024B106/\\$File/Terminen%20leikkaus%20ja%20kuumilla%20oikominen_HR_04.2007%20V2_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/EDD8290B247FC3DEC22572C30024B106/$File/Terminen%20leikkaus%20ja%20kuumilla%20oikominen_HR_04.2007%20V2_FI.pdf?openElement)
- /24/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Rakenneteräkset, Optim QC, ohje-lehti [PDF-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/FoDB17FD0B50A3CDC2257735003F7319/\\$File/Optim%20QC_HR%202%201%2023%2006%202010_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/FoDB17FD0B50A3CDC2257735003F7319/$File/Optim%20QC_HR%202%201%2023%2006%202010_FI.pdf?openElement)
- /25/ Ruukki, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat, Särmäys, Raex kulutusteräkset, Ultralujat Optim QC -rakenneteräkset, ohje-lehti, [PDF-tiedosto], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/\\$File/S%20C3%20A4rm%20C3%20A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/DE8B11608182DC3AC225758A002C1E28/$File/S%20C3%20A4rm%20C3%20A4ysohje_HR_04.2009_FI.pdf?openElement)
- /26/ Ruukki, Optim-referenssiesite, [PDF-dokumentti], [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0079E29DB2523323C225768800334EDA/\\$File/Optim_references_LR.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/0079E29DB2523323C225768800334EDA/$File/Optim_references_LR.pdf?openElement)
- /27/ SAVOLA JAAKKO, Rautaruukki Oyj, Ultralujien ja kulutusta kestävien terästen muovattavuus, [PPT-esitys], Modernit teräkset ja niiden sovellukset -seminaari, 14.4.2010 Helsinki
- /28/ World Auto Steel, Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines, version 4.1, June 2009, [PDF-dokumentti], <http://www.worldautosteel.org/uploaded/AHSS%20Application%20Guidelines%204-1%20June%202009.pdf>

Raportissa tarkastellaan kuumavalssattujen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen ominaisuuksia ja soveltuvuutta tyypillisimpiin konepajaprosesseihin. Tarkastelun kohteeksi on valikoitu Rautaruukin Optim QC -rakenneteräkset sekä Raex -kulutusteräkset, jotka ovat myös KuURak -projektin tutkimusmateriaaleina.