

Tiina Rissanen

SSAB:n ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tekninen raportti



SSAB:n ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tiina Rissanen

SSAB:n ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit

Tekninen raportti

Sarja B. Raportit ja selvitykset 7/2011

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-5897-19-7 (nid.)

ISSN 1799-2834

ISBN 978-952-5897-20-3 (pdf)

ISSN 1799-831X (verkkajulkaisu)

ISSN-L 1799-2834

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 7/2011

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

Kirjoittaja: Tiina Rissanen

Kannen kuva: SSAB

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



LUC

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 Weldox -lujat rakenneteräkset	7
1.2 Hardox -kulutusteräkset	8
2 LEIKKAUS	11
2.1 Termiseen leikkaukseen liittyviä suosituksia	11
2.2 Leikkausreunan halkeilun ehkäiseminen	12
2.3 Tehdaspinnoituksen vaikutukset leikkausominaisuuksiin	14
3 SÄRMÄYS	15
3.1 Suositellut särmäysparametrit	15
4 HITSAAUS	17
4.1 Esilämmityksen tarve	17
4.2 Lämmöntuonnin rajoittaminen	19
4.3 Hitsauslisäaineet	20
4.3.1 Seostamattomat ja vähäseosteiset lisäaineet	20
4.3.2 Ruostumattomat austeniittiset lisäaineet	21
4.3.3 Tasa- ja aliluja hitsauslisäaine	22
4.4 Pinnoituksen vaikutus materiaalin hitsaukseen.	25
4.5 Tyypillisimmät hitsausvirheet ja niiden ehkäisy	26
4.5.1 Liitosvirheet	26
4.5.2 Kuumahalkeamat	27
4.5.3 Sulkeumat	28
4.5.4 Reunahaavat	29
4.5.5 Huokokset ja ontelot.	29
4.5.6 Roiskeet	30
5 LASTUAMINEN	31
5.1 Poraaminen.	31
5.1.1 Uputusporaus	32
5.1.2 Kierteitys	33
5.2 Jyrsintä	34
5.3 Sorvaus.	35
6 LÄHTEET.	37

1 Johdanto

Raportissa tarkastellaan ruotsalaisen teräsvalmistajan Svenskt Stål AB:n (tästä eteenpäin SSAB) kuumavalssattujen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen ominaisuuksia ja soveltuvuutta tyypillisimpiin konepajaprosesseihin. Tarkastelun kohteeksi valikoituivat tuotenimellä Weldox markkinoitavat lujat rakenneteräkset sekä Hardox- kulutusteräkset. Raportti on jatkoa Ruukin vastaavista materiaaleista tehdylle konepajaprosessitarkastelulle (KuURaK-raportti nro 7).

1.1 WELDOX -LUJAT RAKENNETERÄKSET

SSAB:n ultralujia rakenneteräksiä markkinoidaan tuotenimellä Weldox, Tuoteperheeseen kuuluu 6 eri teräslajia: Weldox 700, 900, 960, 1030, 1100 ja 1300. Materiaalin myötölujuus vaihtelee teräslajien mukaan 700MPa:sta jopa 1300 MPa:n saakka ja sitä on saatavilla 4-130mm paksuisena. Materiaalin standardivastaavuus on EN 10025-6, pois lukien lujuusluokat 1030- 1300, joille vastaavaa standardia ei ole. /1/

Materiaalissa yhdistyvät korkea lujuus sekä erinomaiset työstömahdollisuudet, jonka vuoksi sen avulla voidaan valmistaa yhä kevyempiä rakenteita kuitenkin turvallisuudesta tinkimättä. Samalla saavutetaan materiaali-, valmistus- ja kuljetusteknisissä asioissa kustannussäästöjä. Toisaalta lujuusominaisuuksiensa vuoksi materiaalista voidaan valmistaa mm. entistä korkeampia puomirakenteita. Yksi esimerkki tällaisesta ovat nosturit, joiden kapasiteettia on kasvatettu jopa 100m asti ilman koneen painon lisäämistä. Lisää Weldox -terästen käyttökohteita on esitelty kuvissa 1-2. /1, 27/



Kuva 1. Traileri /27/



Kuva 2. Kaivurin puomi /27/

Korkeasta lujuudestaan huolimatta Weldom-teräksiä voidaan työstää perinteisillä menetelmillä normaaleissa konepajaolosuhteissa. Kuitenkin valmistajan antamia ohjeita kannattaa noudattaa, sillä esimerkiksi joissain tapauksissa materiaalit tarvitsevat esilämmitystä ennen työstöä. Weldom-terästen kemiallisten koostumusten maksimi-arvot on esitetty taulukossa 1. /27/

Taulukko 1. Weldom kemialliset koostumukset /21-26/

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max
Weldom 700	0,20	0,60	1,60	0,02	0,010	0,70	2,00	0,70	0,005
Weldom 900	0,20	0,50	1,60	0,02	0,010	0,70	0,10	0,70	0,005
Weldom 960	0,20	0,50	1,60	0,02	0,010	0,70	1,50	0,70	0,005
Weldom 1100	0,21	0,50	1,40	0,02	0,005	0,80	3,00	0,70	0,005
Weldom 1030	0,21	0,50	1,60	0,02	0,005	0,80	2,00	0,70	0,005
Weldom 1300	0,25	0,50	1,40	0,02	0,005	0,80	2,00	0,70	0,005

1.2 HARDOX -KULUTUSTERÄKSET

SSAB:n kulutusta kestäviä teräksiä markkinoidaan tuotenimellä Hardox. Tuoteperheeseen kuuluu 5 eri teräslajia: Hardox 400, 450, 500, 550 ja 600. Materiaalin kovuus vaihtelee teräslajin mukaan 400-600 HBW-yksikön välillä. Materiaalin tyypillisimmät mekaaniset ominaisuudet sekä kemialliset koostumukset on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Ohuimmillaan 3,2mm paksuisena saatavaa terästä voidaan, sen suuresta kovuudesta huolimatta, työstää eri tavoin. Tähän vaikuttavat erityisesti valmistusprosessissa saavutettava levyn tasaisuus, tasalaatuisuus sekä pinnan laatu. /12, 19/

Kulutusta kestävää terästä käytettäessä voidaan ohentaa tuotteiden paksuuksia, kuitenkin kestävyysominaisuuksia heikentämättä. Näin ollen voidaan valmistaa entistä kevyempiä rakenteita, joiden elinikä saadaan jopa kymmenkertaistettua alkuperäiseen käytettyyn materiaaliin verrattuna. Terästen elinikä on hyvin ennustettavissa joko ominaisuuksien perusteella tai SSAB:n kehittämän laskentaohjelman,

Taulukko 2. Hardox-terästen tyypillisimmät mekaaniset ominaisuudet /19/

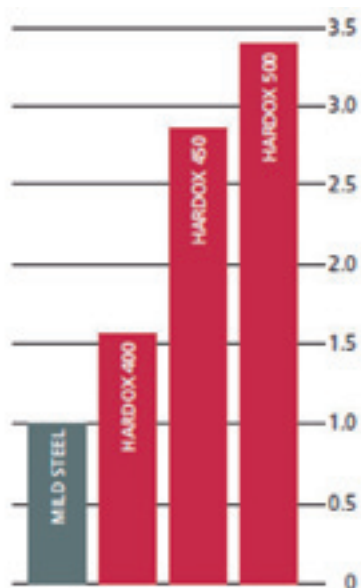
Name	Hardness* (HRC)	Toughness** KV, -40°C [J]	Yield Strength** R _{0.2} [MPa]	Tensile strength** R _m [MPa]	Carbon equivalents**		Thickness range [mm]
					CEV [%]	CET [%]	
Hardox 400	370–430	45	1000	1250	0,37	0,27	4,0–100
Hardox 450	425–475	40	1200	1400	0,48	0,35	3,2–80
Hardox 500****	470–530	30	1300	1550	0,62	0,41	4,0–80
Hardox 550	525–575	30	1400	1700	0,72	0,48	10–50
Hardox 600	570–640	20	1650	2000	0,73	0,55	8,0–50

* Guaranteed values. ** Typical values for 20 mm thick plates, except Hardox H/Tul. *** Typical values are for the thickness range 40–70 mm. **** Guaranteed hardness values are for the thickness range 8–32 mm. For thicknesses 32–80 mm is guaranteed 430–540 HRC.

Taulukko 3. Hardox-terästen kemialliset koostumukset 20mm levyllä /2-6/

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max	% max
Hardox 400	0,15	0,70	1,60	0,025	0,01	0,50	0,25	0,25	0,004
Hardox 450	0,21	0,70	1,60	0,025	0,01	0,50	0,25	0,25	0,004
Hardox 500	0,29	0,70	1,60	0,025	0,01	1,00	0,50	0,30	0,004
Hardox 550	0,37	0,50	1,30	0,020	0,01	1,40	1,40	0,60	0,004
Hardox 600	0,45	0,70	1,00	0,015	0,01	1,20	2,50	0,80	0,004

WearCalc:n avulla. SSAB:n omien testien mukaan Hardox-terästä käyttämällä voidaan saavuttaa jopa 75% pidempi elinikä tavalliseen niukkaseosteiseen hiiliteräkseen verrattuna (kuva 3) /7, 12/



Kuva 3. Eri teräslaatuojen suhteellinen kestoikä käytettäessä graniittia abrasiivina /7/



Kuvat 4-6. Hardox-käyttökohteita /7-9/

Hardox-terästen tavallisimpia käyttökohteita ovat kaivinkoneiden ja pyöräkuormaajien kauhat, kulutuslevyt sekä muun muassa kaivosteollisuuden monet eri kohteet, joissa vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä (kuvat 4-6). Käyttökohteet vaihtelevat teräksen kovuusluokan mukaan. Kovinta Hardox 600-terästä käytetään tyypillisimmin eri kohteiden vuoraukseen sekä muun muassa murskainten teriin. /12/

2 Leikkaus

Ultralujia rakenne- ja kulutusteräslevyjä voidaan leikata haluttuun kokoon ja muotoon onnistuneesti sekä termisillä että mekaanisilla menetelmillä. Mekaanisilla menetelmillä tarkoitetaan tässä tapauksessa vesisuihkuleikkausta sekä erilaisilla terillä suoritettavaa leikkaamista. Termisiin menetelmiin puolestaan lasketaan yleisestikin tyypillisimmät poltto-, plasma- ja laserleikkausmenetelmät. /11, 27/

2.1 TERMISEEN LEIKKAUKSEEN LIITTYVIÄ SUOSITUKSIA

Termiseen leikkaukseen liittyy riskejä, jotka voidaan välttää huolellisella ja ohjeita noudattavalla työskentelyllä. Erityisesti paksuja levyjä työstettäessä on vaarana, että leikkausreunat halkeilevat kuumuuden johdosta. Lisäksi käytettäessä liiallista lämmöntuontia, saattaa materiaali pehmetä ja menettää mekaaniset ominaisuutensa pääsemisen vuoksi. Yleisinä ohjeina kaikille teräslaaduille ja levynpaksuuksille mainittakoon, että työstettävän materiaalin tulee antaa lämmetä ennen työstöä huoneenlämpöiseksi. Myös työstön jälkeen on materiaalin hyvä antaa jäähtyä huoneenlämpöön ennen suurille lämpötilamuutoksille altistamista. Näin vähennetään mahdollisia lämpötilavaihtelujen tuomia sisäisiä jännityksiä materiaalissa. Vaativiin kohteisiin työstetyt paksut levyt on syytä tarkistaa ultraäänellä mahdollisten vaurioiden löytämiseksi. /10,11/

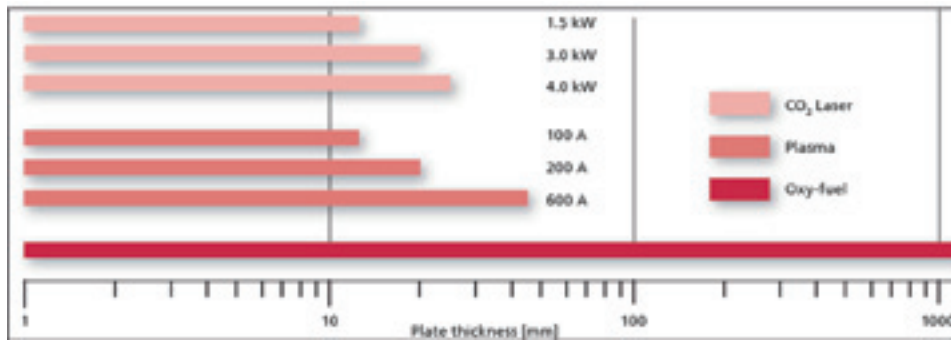
Taulukossa 4 on esitelty valmistajan suosittelemia työstöparametreja eri teräksille sekä kullekin materiaalipaksuudelle ihanteellisin leikkausmenetelmä. Ohuille materiaaleille suositellaan käytettäväksi laser- tai plasmaleikkausta polttoleikkauksen sijaan. Polttoleikkauksessa syntyvä lämmölle altistunut alue (Heat Affected Zone, HAZ) on moninkertainen em. leikkausmenetelmiin verrattuna, jolloin riski kappaleen pehmentymiselle on suuri. Ihanteellisimpana leikkausmenetelmänä pidetäänkin vesisuihku-

Taulukko 4. Hardox-terästen yleisimmät työstöparametrit eri leikkausmenetelmille. /11/

Cutting method	Cutting speed	Kerf	HAZ	Dim. tolerance
Abrasive water-jet cutting	8–150 mm/min	1–3 mm	0 mm	±0,2 mm
Laser cutting	600–2200 mm/min	< 1 mm	0,4–3 mm	±0,2 mm
Plasma cutting	1200–6000 mm/min	2–4 mm	2–5 mm	±1,0 mm
Gas cutting	150–700 mm/min	2–5 mm	4–10 mm	±2,0 mm

leikkausta, jossa HAZ-aluetta ei pääse syntymään ja jonka leikkausjälki on erittäin hienoa. Useimmissa tapauksissa tämä leikkausmenetelmä ei kuitenkaan ole taloudellisesti mahdollinen. Tällöin yksi mahdollisuus on suorittaa plasma- tai polttoleikkaus jäädyttämällä kappaletta samalla vesisuihkulla, jolloin syntyyvää HAZ-aluetta saadaan pienennettyä. /11/

Taulukko 5. Käytettävän leikkausmenetelmän riippuvuus levyn paksuudesta /11/



2.2 LEIKKAUSREUNAN HALKEILUN EHKÄISEMINEN

Yksi termisen leikkauksen haittapuolista on leikkausreunoilla mahdollisesti esiintyvä halkeilu, joka muistuttaa hyvin paljon hitsausliitosten vetyhalkeilua. 48h - useita viikkoja työstön jälkeen ilmaantuvan reunahalkeilun vaara kasvaa sitä mukaa mitä kovempaa ja paksumpaa terästä käsitellään. Halkeilualttiutta voidaan ehkäistä erilaisilla työstöä edeltävillä ja sen jälkeisillä lämpökäsittelyillä sekä leikkausnopeuden säätämällä. /11/

Parhain ehkäisykeino halkeilua vastaan on työstettävän kappaleen esilämmitys, jota suositellaan käytettäväksi erityisesti ennen polttoleikkausta. Esilämpötila riippuu teräksen laadusta sekä kappaleen paksuudesta, vaihdellen 100–175°C välillä. Tar-

Taulukko 6. Esilämmityksen tarve Hardox-teräksen polttoleikkauksessa /11/

Grade	Plate thickness	Preheating temp.
HARDOX 400	45–59,9 mm	100°C
	60–80 mm	150°C
	>80 mm	175°C
HARDOX 450	40–49,9 mm	100°C
	50–69,9 mm	150°C
	70–80 mm	175°C
HARDOX 500	30–49,9 mm	100°C
	50–59,9 mm	150°C
	60–80 mm	175°C
HARDOX 550	20–50 mm	150°C
HARDOX 600	12–29,9 mm	150°C
	30–50 mm	175°C

kemmat arvot on esitetty taulukossa 6. Esilämmitys on syytä toteuttaa tarpeeksi hitaasti, jottei työstettävään kappaleeseen synny paikallista ylikuumentumista. /11/

Esilämmityksen lisäksi halkeilua voidaan ehkäistä leikkausnopeuden säätelyllä. Alentamalla leikkausnopeutta tilanteissa, joissa kappaletta ei voida esilämmittää, saavutetaan melko hyviä, joskaan ei yhtä varmoja tuloksia kuin esilämmityksellä. Kuten esilämmityksessäkin, vaikuttaa käytettävään leikkausnopeuteen teräksen

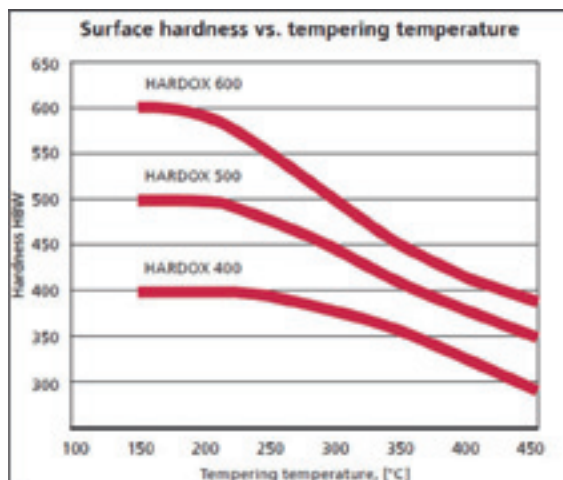
Taulukko 7. Hardox-terästen polttoleikkauksen enimmäisnopeudet (mm/min) ilman esilämmitystä /19/

Plate thickness	Hardox 400	Hardox 450	Hardox 500	Hardox 550	Hardox 600
< 12 mm	x	x	x	x	x
< 15 mm	x	x	x	x	300
< 20 mm	x	x	x	x	200
< 25 mm	x	x	300	270	180
< 30 mm	x	x	250	230	150
< 35 mm	x	x	230	190	140
< 40 mm	x	230	200	160	130
< 45 mm	230	200	170	140	120
< 50 mm	210	180	150	130	110
< 60 mm	200	170	140	-	-
< 70 mm	190	160	135	-	-
< 80 mm	180	150	130	-	-

laatu sekä työstettävän kappaleen paksuus, vaihdellen 110-300mm/min välillä (taulukko 7). Huomioitavaa on, että alle 12mm levynpaksuuksille ei leikkausnopeutta ole rajoitettu, kun taas yli 80mm paksuisia levyjä ei suositella leikattavaksi ilman esilämmitystä. Parhaimpaan tulokseen päästään kun voidaan yhdistää sekä esilämmitys että alennettu leikkausnopeus. /11/

Halkeilun ehkäisemiseksi kappale voidaan myös lämpökäsitellä välittömästi leikkaamisen jälkeen, hehkuttamalla sitä esilämpötilan mukaisessa lämpötilassa 5min/

Kuva 7. Hardox-teräksen pinnan kovuuden riippuvuus päästölämpötilasta /11/



mm. Matalassa lämpötilassa suoritettua lämpökäsittelyä ansiosta saadaan sekä poistettua vetyä että vähennettyä jäännösjännityksiä leikkausalueella. Kuumentamista yli 200°C ei suositella, sillä se pehmentää kappaletta olennaisesti ja samalla heikentää sen materiaalitekniisiä ominaisuuksia kuten lujuutta (kuva 7). /11/

2.3 TEHDASPINNOITUKSEN VAIKUTUKSET LEIKKAUSOMINAISUUKSIIN

Teräslevyjen pinnat ovat hyvin alttiita korroosiolle, mikäli niitä ei suojata jollain tavoin. SSAB voi pinnoittaa tuotteensa väliaikaisella korroosionestopinnoitteella, valitusta pinnoitteesta riippuen. Käytössä on kahden tyyppisiä pinnoitteita: orgaaninen PVB (polyvinyylibutyaali)- sekä epäorgaaninen sinkkisilikaattipinnoite, joista jälkimmäisessä sinkkipitoisuus voi olla joko matala tai keskitasoa. Pinnoite paitsi suojaa tuotetta 3-6kk korroosiota vastaan sillä on myös vaikutusta tuotteiden leikkaus- ja hitsausominaisuuksiin, erityisesti laserleikkaukseen. /13/

Tehdaspinnoituksella ei ole vaikutusta poltto- ja plasmaleikkaukseen, jonka vuoksi ne voidaan suorittaa normaaleilla parametreilla, joita on esitelty aiemmin tässä raportissa. Materiaalien laserleikkausominaisuudet huononevat huomattavasti PVB- ja keskitason sinkkisilikaattipinnoitteisilla tuotteilla. Kuitenkin matalan pitoisuuden sinkkisilikaattipinnoitetta käytettäessä ominaisuudet pysyttelevät melko hyvinä. Valitsemalla siis oikeanlaisen ja paksuisen pinnoitteen, voidaan sen negatiivisia vaikutuksia laserleikattavuuteen vähentää huomattavasti. /13/

Laserleikkauksessa leikkausnopeutta on syytä alentaa verrattuna pinnoittamattomalle tuotteelle suositeltuihin leikkausnopeuksiin. Lisäksi mitä ohuempi pinnoitekerros materiaaliin laitetaan, sitä helpompaa leikkaus on. Verrattuna kahta 4mm hiekkapuhallettua ja sinkkisilikaatilla pinnoitettua teräslevyä keskenään, pinnoitettua levyä tulee laserleikata noin 15% alhaisemmilla nopeuksilla, jotta päästään yhtä hyvään lopputulokseen. /13/

3 Särmäys

Ultralujien rakenne- ja kulutusterästen särmäyksen lopputulokseen vaikuttavat itse materiaalin lisäksi myös käytettävät työkalut sekä työn suoritustapa. Materiaalin lujuuden kasvaessa tarvitaan enemmän tehoa särmäyskoneelta ja samalla takaisinjouston suuruus kasvaa. Myös särmättävän materiaalin paksuudella ja valssaussuunnalla on vaikutusta lopputulokseen. Yleensä mitä ohuempi materiaali on, sitä pienemmällä säteellä voidaan särmätä. Sama pätee myös särmätessä materiaalia poikittain sen valssaussuuntaan nähden. Yleisohjeena minkä tahansa materiaalin särmäyksellä mainittakoon, että ennen särmäystä materiaali tulee puhdistaa epäpuhtauksista ja siistiä. Lisäksi työn suorittajan on turvallisuustekijöiden vuoksi syytä huomioida, että koviin ja lujien terästen särmäyksessä tarvittavat voimat ovat niin suuria, että kappaaleesta mahdollisesti murtuvat kappaleet voivat lennähtää kauas. /28/

3.1 SUOSITELLUT SÄRMÄYSPARAMETRIT

Särmätessä Hardox- ja Weldox-teräksiä tulee kiinnittää huomiota yläpainimen säteen (R), jonka lujilla teräksillä suositellaan olevan hieman suurempi tai yhtä suuri halutun taivutussäteen kanssa. Toinen oleellinen parametri on vastimen leveys (W), mitä leveämpi väli, sitä vähemmän voimaa tarvitaan taivuttamiseen, mutta samalla takaisinjoustoakin on enemmän. Takaisinjouston vaikutuksia voidaan kompensoida myös taivutuskulmalla, jolloin kappaletta ylitaivutetaan arvioidun takaisinjouston verran (taulukot 8 ja 9). Taulukoissa 8 ja 9 on myös esitetty kappaaleen paksuudesta riippuvaisia suositusarvoja Hardox- ja Weldox-terästen särmäyksessä käytettävälle yläpainimen säteelle sekä vastimen leveydelle. /28/

Taulukko 8. Hardox-terästen särmäysparametreja särmättäessä kappaletta 90° kulmaan /19/

	Thickness [mm]	At right angles R/t	Along R/t	At right angles W/t	Along W/t	Springback [°]
S 255 acc. to EN 10025		2.5	3.0	7.5	8.5	3-5
Hardox 400	1-8	2.5	3.0	8.5	10.0	9-13
	8 > 1-20	3.0	4.0	10.0	10.0	
	1 > 20	4.5	5.0	12.0	12.0	
Hardox 450	1-8	3.5	4.0	10.0	10.0	11-18
	8 > 1-20	4.0	5.0	10.0	12.0	
	1 > 20	5.0	6.0	12.0	14.0	
Hardox 500	1-8	4.0	5.0	10.0	12.0	12-20
	8 > 1-20	5.0	6.0	12.0	14.0	
	1 > 20	7.0	8.0	16.0	18.0	

Taulukko 9. Weldox-terästen särmäysparametreja särmättäessä kappaletta 90° kulmaan /28/

	Thickness [mm]	At right angles Rn	Along Rn	At right angles Wn	Along Wn	Springback [°]
S 355 acc to EN 10025		2,5	3,0	7,5	8,5	3-5
WELDOX 700	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	1,5 2,0 3,0	2,0 3,0 4,0	7,0 7,0 8,5	8,5 8,5 10,0	6-10
WELDOX 900/960	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	2,5 3,0 4,0	3,0 4,0 5,0	8,5 8,5 10,0	10,0 10,0 12,0	8-12
WELDOX 1030	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	2,0 3,5 4,5	3,5 4,5 5,5	9,0 9,0 11,0	10,0 11,0 13,0	10-32
WELDOX 1100	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	3,5 4,0 5,0	4,0 5,0 6,0	10,0 10,0 12,0	10,0 12,0 14,0	11-18
WELDOX 1300	t < 6 6 ≤ t < 10	3,5 4,0	4,0 5,0	10,0 12,0	12,0 14,0	12-45

Särmäykseen tarvittava voima voidaan laskea tonneissa kuvassa 8 esitetyn kaavan avulla, jossa b = taivutuspituus, t = levyn paksuus, R_m = materiaalin murtolujuus ja W = vastimen leveys. Materiaalin paksuudella on enemmän merkitystä tarvittavaan särmäysvoimaan kuin materiaalin lujuudella. Taulukossa 10 on puolestaan esitetty ne levynpaksuudet eri materiaaleilla, jotka voidaan särmätä samaa voimaa ja vastimen leveyttä käyttäen. /28/

$$P = \frac{1,6 \times b \times t^2 \times R_m}{10000 \times W}$$

Kuva 8. Taivutusvoiman laskukaava /28/

Taulukko 10. Eri materiaalien levynpaksuudet, jotka voidaan särmätä samoilla parametreilla /28/

	Plate thicknesses, mm			
S 355 – EN 10025	10	20	30	60
WELDOX 700	8	16	24	48
WELDOX 900 / 960	7	14	21	42
HARDOX 400	6	13	19	38
	↓	↓	↓	↓
Bending force per metre [tonnes]	120	240	330	660
... at a die opening width (W) [mm]	75	150	240	480

4 Hitsaus

Weldox- ja Hardox-teräkset ovat hyvin hitsattavissa millä tahansa tavallisimmalla hitsausmenetelmällä, mikäli annettuja ohjeita noudatetaan. Yleisinä ohjeina hitsausprosessissa tulee huomioida tiettyjä asioita, kuten hitsattavan alueen puhdistaminen vedestä ja öljystä ennen työskentelyä sekä alueen puhtaana pitäminen työskentelyn aikana. Lisäksi muita huomioonotettavia tekijöitä ovat esilämmitys, lämmötuonti ja työskentelykappaleen lämpeneminen hitsauksen aikana, käytettävien hitsauslisäaineiden ja suojavaasun soveltuvuus sekä hitsausjärjestys ja railon koko. /20/

4.1 ESILÄMMITYKSEN TARVE

Esilämmityksellä ja materiaalin hitsauksen aikaisella lämpenemisellä on suuri merkitys vetyhalkeilun esiintymiseen hitsattavassa teräksessä. Esilämmityslämpötilaa voidaan määrittää materiaalin hiiliiekvivalentin (CEV/CET) avulla, joka lasketaan materiaalin kemiallisen koostumuksen perusteella kuvassa 9 esitettyjen kaavojen avulla. Mitä korkeampi materiaalin hiiliiekvivalentti arvo on, sitä korkeampia lämpötiloja voidaan käyttää. Useimmiten arvot on valmiiksi ilmoitettu materiaalin perustiedoissa. /20/

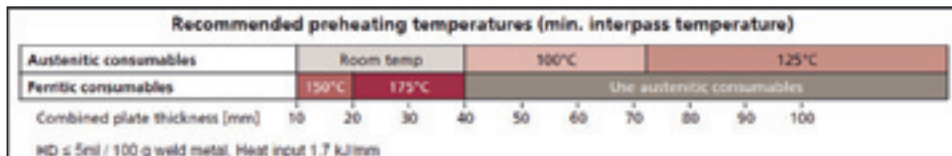
Hardox- ja Weldox- terästen hiiliiekvivalenttiarvot ovat pieniä, jolloin niiden taipumus vetyhalkeiluun on muutenkin vähäinen. Kuitenkin, hitsatessa on syytä muistaa että vedyn määrä hitsaussaumassa ja sen välittömässä läheisyydessä tulee minimoida. Lisäksi saumaan kohdistuvien jännitysten vähentämisellä on merkitystä vetyhalkeilun ehkäisyssä. /20/

Perinteisesti tarvittavan esilämpötilan määrittämiseen on käytetty yhdistettyä levynpaksuutta, jossa lasketaan yhteen hitsiliitokseen osallistuvien levyjen paksuus ja sen perusteella määritetään sopiva esilämpötila. SSAB suosittelee nykyään, että varsinkin ultralujien hitsauksessa, oikean lämpötilan määrittämiseen käytettäisiin ns. yhden levynpaksuuden menetelmää. Nimensä mukaisesti ko. menetelmässä oikea lämpö-

Kuva 9. Hiiliiekvivalentin laskemiseen tarvittavat kaavat /20/

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} [\%]$$
$$CET = C + \frac{(Mn+Mo)}{10} + \frac{(Cr+Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} [\%]$$

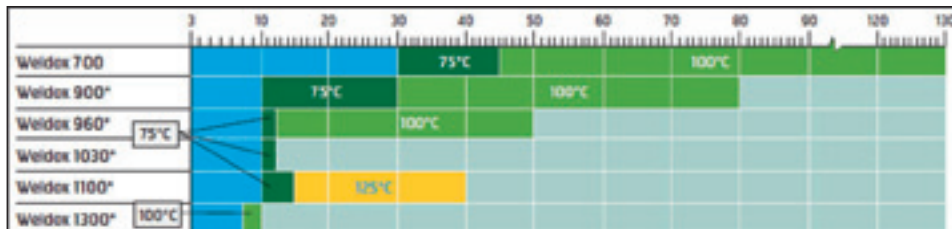
Taulukko 11. Hardox 600, suositellut hitsauksen esilämpötilat yhdistetyn levynpaksuuden menetelmällä /10/



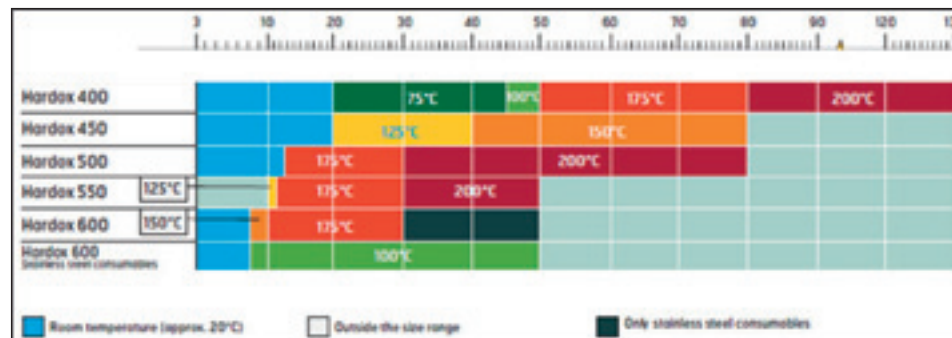
tila määritetään yksittäisen korkeimman esilämpötilan vaativan levyn mukaisesti, riippumatta siitä ovatko levyt eri paksuisia tai laatuja. Menetelmällä saavutettavat edut yhdistettyyn levynpaksuuteen verrattuna ovat mm. entistä alhaisempi ja tarkempi työskentelylämpötila. Esimerkiksi yhdistettäessä 40mm paksuisia Hardox 600-levyjä, yhdistetyn levynpaksuuden perusteella esilämpötilaksi tarvittaisiin 125°C (taulukko 11). Yksittäisen levynpaksuuden menetelmällä lämpötilaksi tarvittaisiin puolestaan vain 100°C (taulukko 13). /18, 20/

Taulukossa 12 on esitelty valmistajan suosittelemat alhaisimmat esilämmityslämpötilat Weldox-teräksille, hitsatessa lämmöntuonnilla 1,7kJ/mm. Vastaavat arvot Hardox-teräksille löytyvät taulukosta 13. Lämpötilat pätevät niin silloituksessa kuin pohjapalkoja ja varsinaista hitsisaumaa hitsatessa. Huomion arvoista on, että Hardox-teräkset vaativat lähes kaksinkertaisen esilämpötilan Weldox-teräksiin verrattuna. On kuitenkin muistettava, että työskentelyä yli 200 °C ei pääsääntöisesti suositella materiaalin pehmenemiseen liittyvien riskien vuoksi. /20/

Taulukko 12. Weldox-teräksille suositellut hitsauksen esilämpötilat yksittäisen levynpaksuuden menetelmällä /20/



Taulukko 13. Hardox- teräksille suositellut hitsauksen esilämpötilat yksittäisen levynpaksuuden menetelmällä /19/



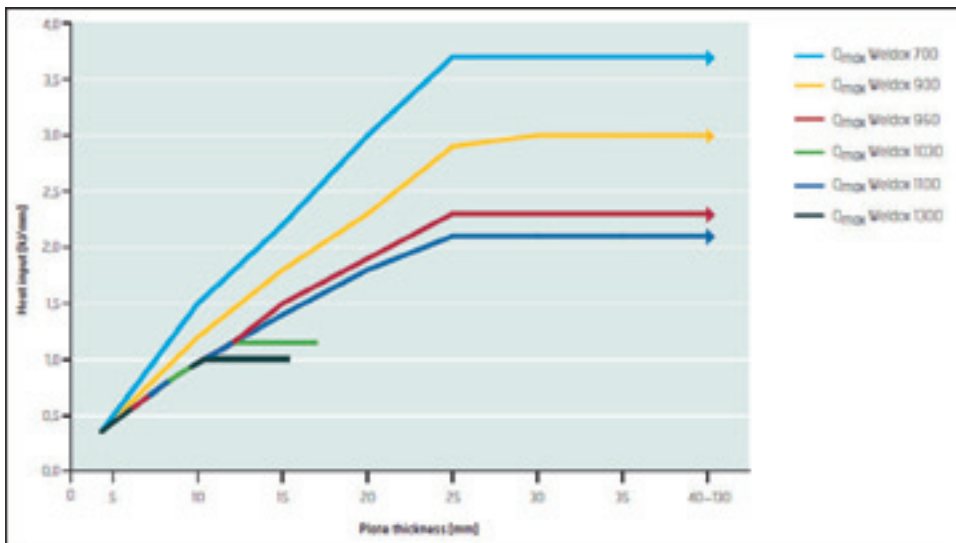
4.2 LÄMMÖNTUONNIN RAJOITTAMINEN

Oikein mitoitetulla hitsauksen lämmöntuonnilla voidaan vaikuttaa HAZ-alueen mekaanisiin ominaisuuksiin ja sen kokoon. Lämmöntuontia alentamalla saadaan pienennettyä HAZ-alueen kokoa ja näin ollen parannettua hitsisauman iskusitkeyttä ja lujuutta sekä vähennettyä muodonmuutoksia ja jäännösjännityksiä. Useimmiten valmistajat ovat laatineet suosituksensa käytettävistä arvoista, mutta tarvittavan lämmöntuonnin voi laskea myös itse käyttämällä kuvassa 10 esitettyä kaavaa. /20/

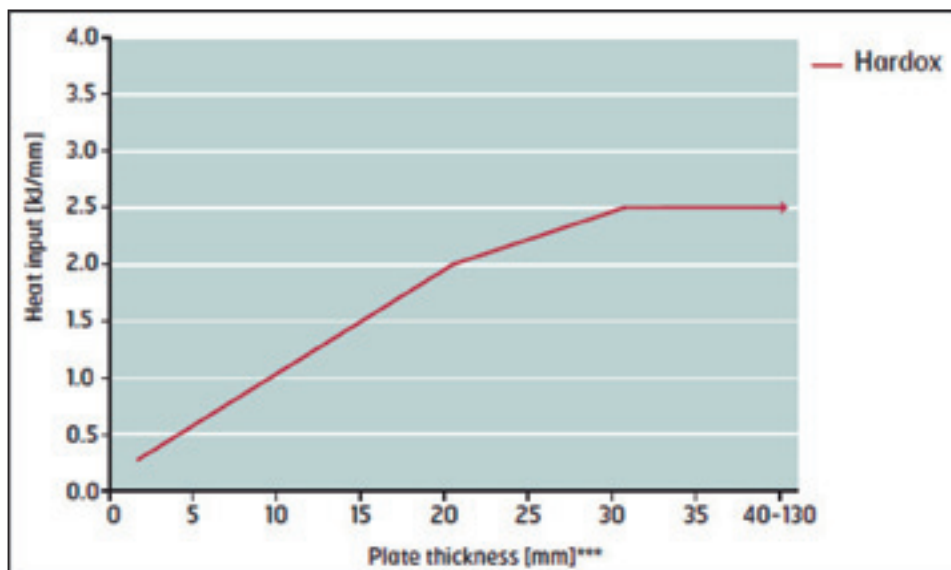
$Q = \frac{k \cdot U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000}$ Q = Heat input [kJ/mm] U = Voltage [V] I = Current [A] v = Welding speed [mm/min] k = Thermal efficiency [dimensionless]	Thermal efficiency k [dimensionless]
	MMA 0.8
	MAG, all types 0.8
	SAW 1.0
	TIG 0.6

Kuva 10. Lämmöntuonnin laskemiseen tarvittava kaava /20/

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty Hardox- ja Weldox-teräksille suositellut lämmöntuonnin enimmäisarvot alimman käytetyn esilämpötilan mukaan. Eri Weldox-laaduille suositellut lämmöntuontiarvot on määritetty käyttämällä perusteena niiden HAZ-alueen iskusitkeyden vähimmäisarvoa 27J (-40°C). Hardox-teräksillä hitsisaumojen iskusitkeyden vähimmäisarvot ovat usein alhaisemmat, jonka vuoksi niille tarkoitettua suositusta täytyy pitää likimääräisenä. Yhdistettäessä kahta eri paksuista levyä, tarvittava lämmöntuonti on laskettava ohuimman levyn perusteella. /20/



Kuva 11. Weldox-laatuojen suositellut lämmöntuonnin enimmäisarvot alimman esilämpötilan mukaan /20/



Kuva 12. Hardox-teräksen suositellut lämmöntuonnin enimmäisarvot alimman esilämpötilan mukaan /19/

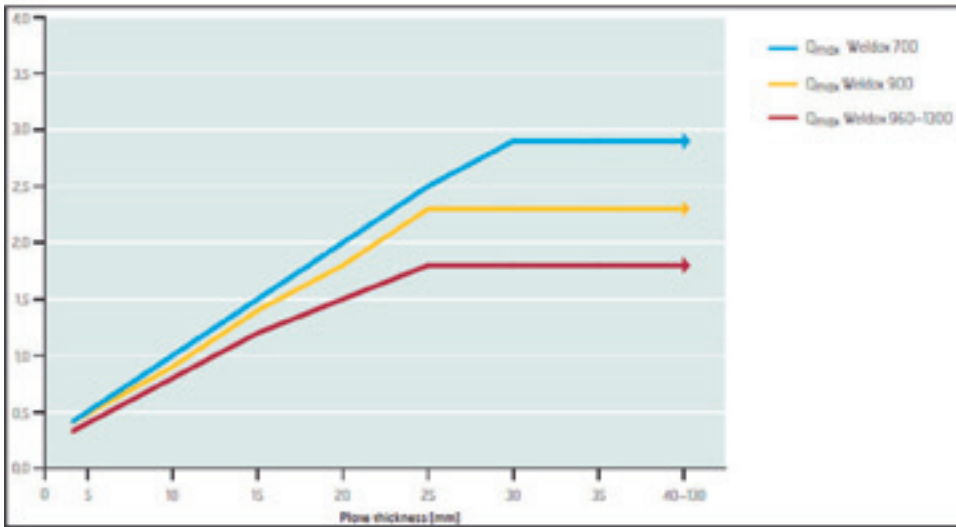
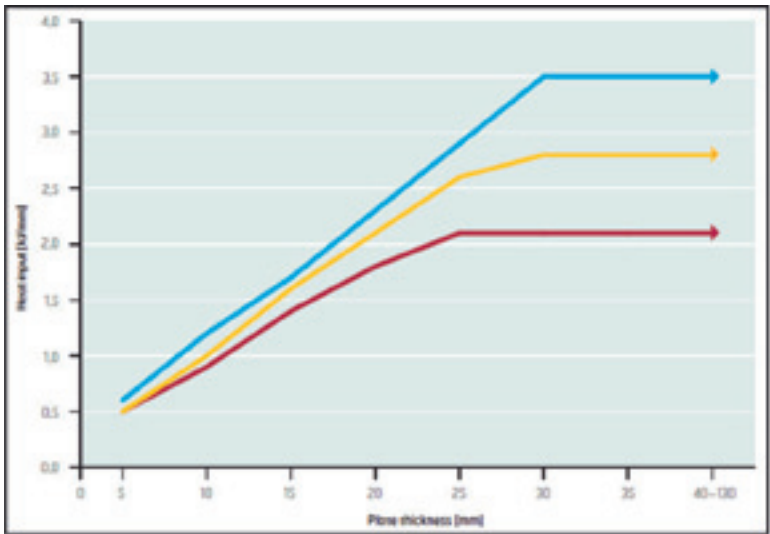
Joissain tapauksissa työ suoritetaan korotetuissa lämpötiloissa yli 125°C:ssa. Tämä vaikuttaa lämmöntuontisuositukseen alentavasti, kuten kuvista 13 ja 14 voidaan huomata. Mikäli hitsaus vaatii yli 175°C työlämpötilan, voidaan tarvittava lämmöntuonti laskea SSAB:n kehittämän ohjelman, WeldCalc:n, avulla. /20/

4.3 HITS AUSLISÄAINEET

Hitsauslisäaineet jaetaan yleensä kahteen pääryhmään: seostamattomat ja vähäseosteiset, joiden lisäksi voidaan vielä käyttää ruostumattomasta austeniittisestä teräksestä valmistettuja lisäaineita. SSAB:n terästen hitsaamiseen suositellaan yleisimmin käytettäväksi vähäseosteisia lisäaineita, mutta myös ruostumattomasta teräksestä valmistetut soveltuvat käytettäväksi tietyin rajoituksin. Sopivinta lisäainetta valitessa tulee huomiota kiinnittää lisäaineen lujuuteen sekä vetypitoisuuteen. /17, 20/

4.3.1 Seostamattomat ja vähäseosteiset lisäaineet

Hitsauslisäaineen valinnassa tulee kiinnittää huomiota sen lujuuden lisäksi myös sen vetypitoisuuteen, joka liiallisissa määrissä voi aiheuttaa ongelmia hitsatessa. Lisäaineen vetypitoisuus riippuu paljon käytettävästä hitsausmenetelmästä, mutta sen tulee olla $\leq 5 \text{ ml H}_2/100\text{g}$. Esimerkiksi kaikki TIG- ja MAG-hitsauksessa käytetyt ympärilankalisäaineet aikaansaavat tarpeeksi alhaisen vetypitoisuuden. Tarkempia lisätietoja tarkoitukseen soveltuvista lisäaineista saa niiden valmistajilta, mutta SSAB on laatinut myös omat lisäainesuosittelutaulukkonsa eri hitsausmenetelmille (ks. esimerkki taulukko 14) /17, 20/



Kuva 13. Lämmöntuonti 125°C:ssa /20/ Kuva 14. Lämmöntuonti 175°C:ssa /20/

4.3.2 Ruostumattomat austeniittiset lisäaineet

Hardox- ja Weldom- laatuojen hitsauksessa voidaan käyttää myös AWS 307-standardin mukaisia austeniittisiä ruostumattomia lisäaineita, joiden tyypillinen koostumus on 18%Cr, 8%Ni, 6% Mn. Ruostumattomien lisäaineiden avulla hitsisaumaan syntyvä austeniittinen rakenne vähentää huomattavasti alttiutta vety- ja kuumahalkeilulle. Lisäksi sen käyttö mahdollistaa Hardox ja Weldom- laatuojen hitsaamisen ilman esilämmitystarvetta sekä niiden yhdistämisen toisiin teräksiin, kuten ruostumattomiin sekä mangaani- ja jousiteräksiin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös AWS 309-standardin mukaisia lisäaineita, jotka tosin ovat jonkin verran alttiimpia kuumahalkeilulle. Taulukossa 15 on esitelty AWS 307:n mukaiset lisäainesuosittukset. /17, 20/

Taulukko 14. SSAB:n lisäainesuosituksukset umpilanka MAG-hitsaukselle /17/

Min. yield strength [MPa]	400	470	540	610	680	745
AWS class	ER 705-X*	ER 805-X*	ER 905-X*	ER 1005-X*	ER 1005-X*	ER 1205-X*
ELGA	Elgamatic 100 Elgamatic 103	Elgamatic 162	Elgamatic 163	Elgamatic 135 Elgamatic 147		Elgamatic 138
ESAB	OK Autrod 12.51 OK Autrod 12.6-4	OK Autrod 13.09		OK Autrod 13.13	OK Autrod 13.29	OK Autrod 13.31
LINCOLN	Supra MIG Supra MIG ultra LNM 27	LNT/LNM Ni LNT/LNM Ni2.5		LNM Moniva LA-100	LA 100	
DERLIKON	Carbott 1 Carbott 1a	Carbott 2.5 Ni	Carbott NiMo1	Carbott NiMoCr		
SAF	Nertalic 705 Nertalic 70A	Nertalic 85		Nertalic 85		
BÖHLER	EMK 7 EMK 8	NiCu-1G	NiMo 1-1G		NiCrMo 2.5-1G X 70-1G	X 90-1G
T-PUT	Union K32 Union K36	Union K5 Ni	Union MoNi	Union NiMoCr	Union X 85	Union X90 Union X96

* Note that X can stand for one or several code characters

Joissain tapauksissa Hardox- terästen hitsauksessa voidaan käyttää austeniittisten lisäaineiden ohella pehmeitä ferriittisiä lisäaineita, joiden myötöraja on ≤ 500 MPa. On kuitenkin huomattava että tämä pätee ainoastaan, kun yhdistetty levynpaksuus alittaa eri teräsladuille asetetut rajat, joka esimerkiksi Hardox 600-laadulle on 40mm (taulukko 11, s.17). Ferriittisiä lisäaineita käytettäessä materiaali tulee esilämmittää, mikä voidaan välttää käyttämällä austeniittisiä lisäaineita. /10, 14/

4.3.3 Tasa- ja aliluja hitsauslisäaine

Lisäaineet voidaan jakaa lujuuden perusteella tasalujiin eli perusmateriaalin kanssa saman murtolujuuden omaaviin, sekä alilujiin eli perusmateriaalia pienemmän murtolujuuden omaaviin. Näistä kahdesta yleisimmin käytetään alilujia lisäaineita, joiden avulla hitsisaumasta saadaan sitkeämpi ja vähemmän alttiimpi vetyhalkeilulle sekä saumassa olevia jännityksiä saadaan alennettua. /20/

Taulukko 15. AWS 307-standardin mukaiset suositellut ruostumattomat lisäaineet /20/

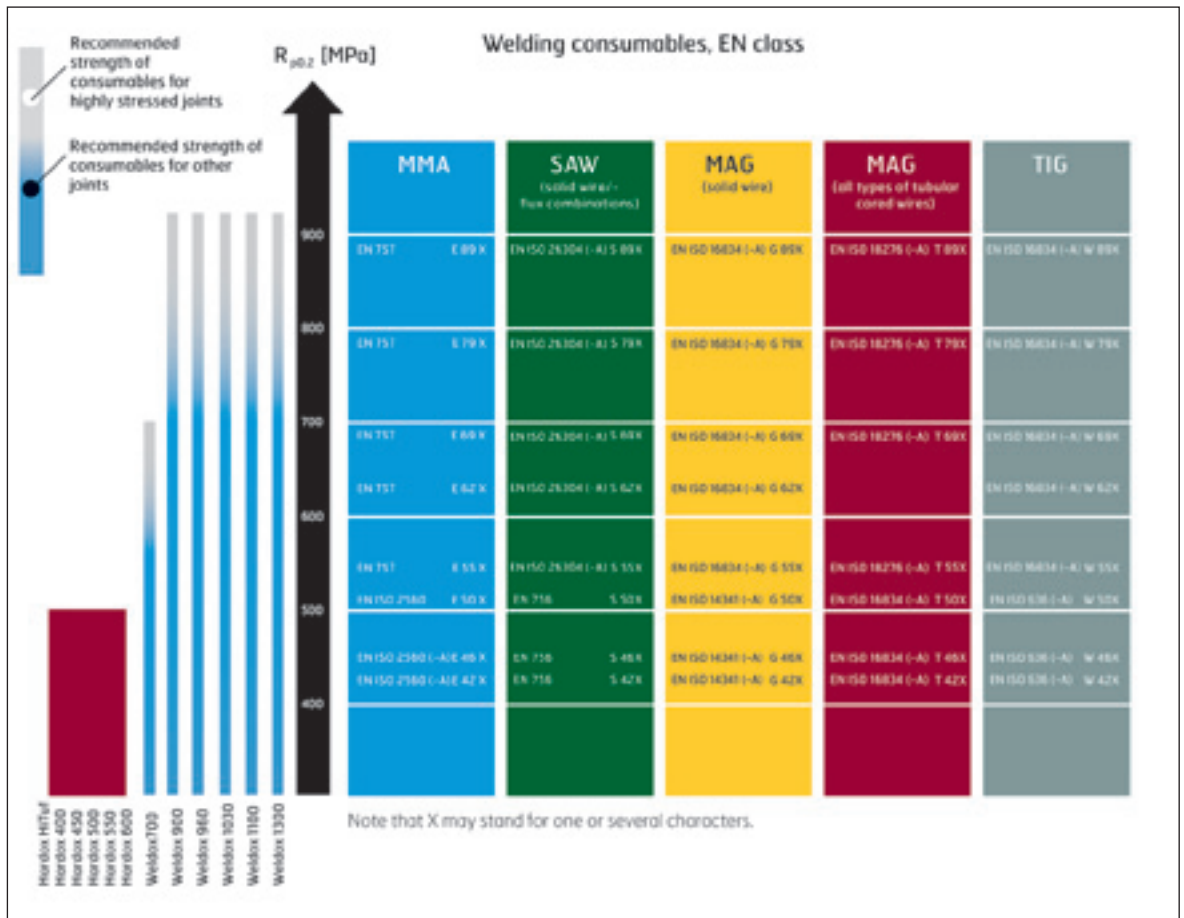
Welding method	MMA	MAG, solid wire	MAG, flux cored tubular wire	MAG, metal cored wire
AWS class	A5.4: E307-X*	A5.9: ER307	A5.22: 307X*	A5.22: E3071-X*
ELGA	Cromag 307B	Cromag 307Si		
ESAB	OK E7.45 OK E7.52	OK Autrod 16.95	OK Tubrod 15.34	OK Tubrod 14.71
LINCOLN	Jungo 307 Arcata 307	LNM 307		
AVESTA WELDING	307	307-Si		
SAF	Safinox R 307	Nertalic 51	Softal 651	
DERLIKON	Citochromax N Citochromax R Citochromax RS	Inert 118 B 6	Fluxinox 307 Fluxinox 307-PF	Fluxinox M 307
SANDVIK	18.8.Mn	Sandvik 18.8.Mn Sandvik 18.8.CMn		
BÖHLER	FOX A 7	A 7-1G	A 7-FD	
T-PUT	Thermonit X Thermonit XAl	Thermonit X	Thermonit 307 PW	Thermonit 307 MC

* Note that X can stand for one or several code characters

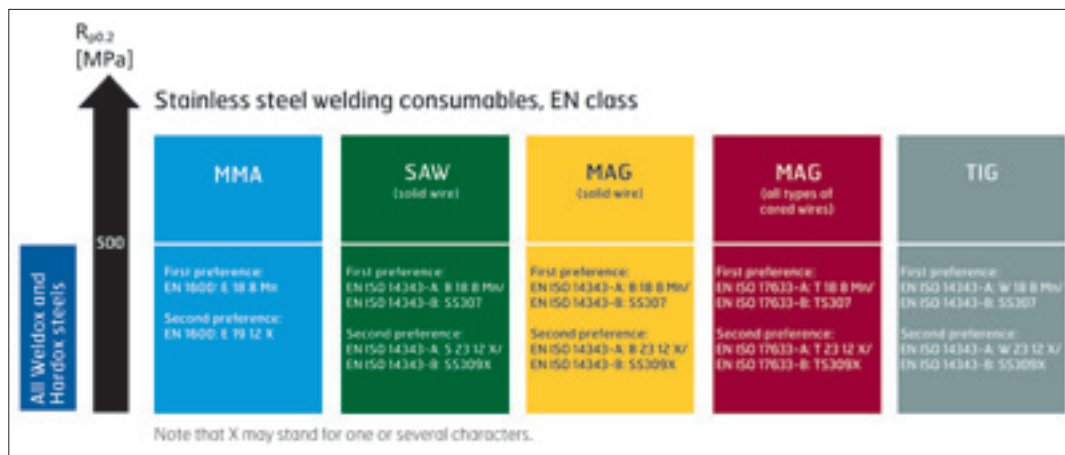
Taulukoista 16-19 käyvät ilmi kullekin Weldom- ja Hardox-laadulle suositellut seostamattomien, niukkaseosteisten ja austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettujen hitsauslisäaineiden lujuusluokat sekä niitä koskevat EN- ja AWS-standardit. Weldom-laatuojen hitsisaumoissa, joihin kohdistuu voimakasta jännitystä, kehoitetaan erityisesti käyttämään markkinoiden lujimpia lisäaineita, joiden murtolujuudet vaihtelevat 750-900MPa:n välillä. Ruostumattomilla lisäaineilla murtolujuudet ovat noin 500 MPa. Weldom 700-1300 -laatuojen monipalkohitsauksessa päästään vielä kestävämpiin ja lujempiin lopputuloksiin kun yhdistetään kahta erilaista lisäainetta siten, että silloitukset ja alimmat palot tehdään matalan lujuuden omaavalla lisäaineella ja loppusaumaan käytetään korkealujuuksista lisäainetta. /20/

Lisäaineilla, joiden murtolujuus on ≤ 700 MPa, omaavat normaalisti liitettäviä perusaineita alemmat hiilikvivalenttiarvot. Tällöin esi- ja hitsauksen aikainen suurin sallittu lämpötila määräytyvät perusaineen perusteella. Yli 700 MPa:n murtolujuuden lisäaineita käytettäessä suurimmalla osalla hiilikvivalentit ovat perusaineita korkeammat. Tällöin lisäaineiden vaikutus on huomioitava laskettaessa tarvittavia lämpötiloja ja valittava sellainen lämpötila, joka sopii niin perus- kuin lisäaineelle. SSAB on laatinut tällaisia tilanteita varten omat suuntaa antavat suosituksensa vähimmäislämpötiloista (taulukko 20). On hyvä huomata, että työskentelyä yli 210 °C ei suositella materiaalien mekaanisten ominaisuuksien muutosten vuoksi. /17, 20/

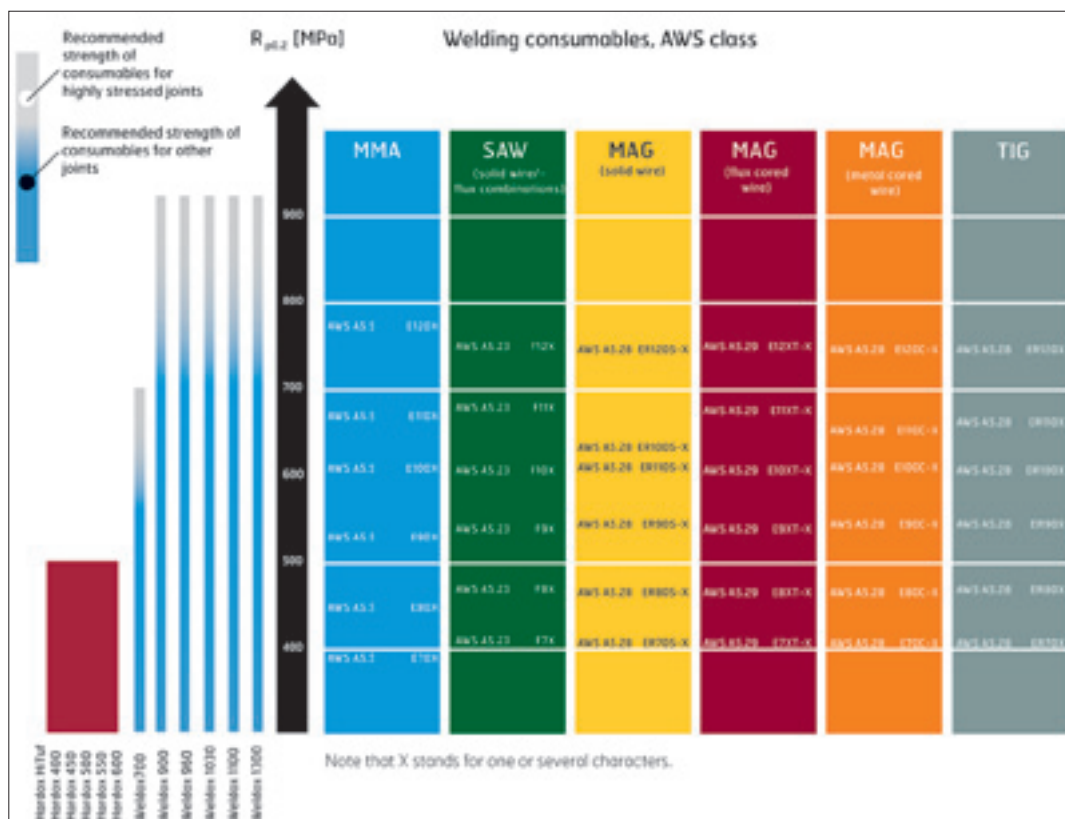
Taulukko 16. Seostamattomien ja niukkaseosteisten lisäaineiden suositellut lujuudet ja EN-standardit /20/



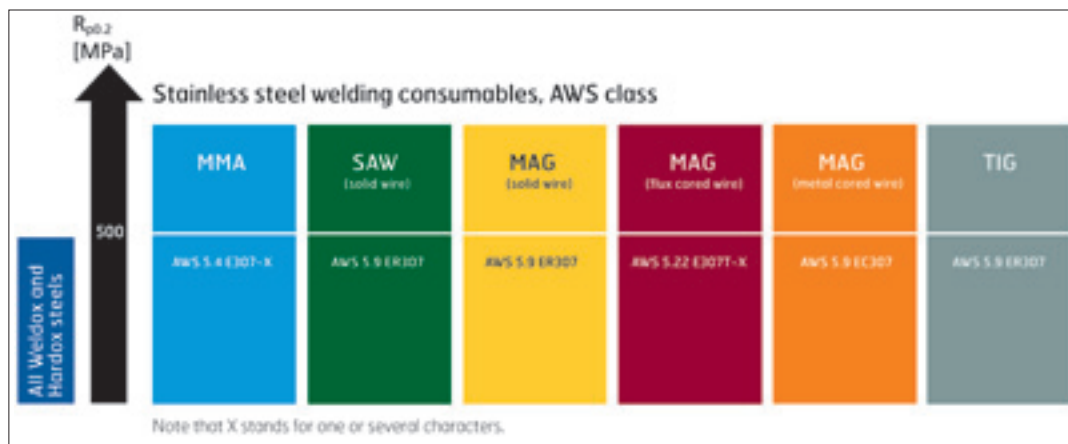
Taulukko 17. Ruostumattomien austeniittisten lisäaineiden suositellut lujuudet ja EN-standardit /20/



Taulukko 18. Seostamattomien ja niukkaseosteisten lisäaineiden suositellut lujuudet ja AWS-standardit /20/



Taulukko 19. Ruostumattomien austeniittisten lisäaineiden suositellut lujuudet ja AWS-standardit /20/

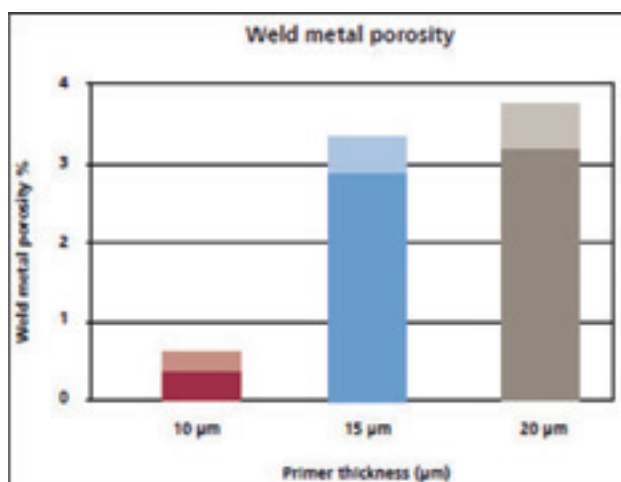


Taulukko 20. Vähimmäislämpötilat niukkaseosteisille lisäaineille, joiden myötöraja on yli 700 MPa /17/

Single plate thickness, welded joint [mm]	Minimum preheat/Interpass temperature* [°C]
≤10.0	125
10.1–20.0	140
20.1–40.0	175
> 40.0	190

4.4 PINNOITUKSEN VAIKUTUS MATERIAALIN HITSAUKSEEN

Korroosionestopinnoitettujen levyjen hitsaus voi aiheuttaa hitsimetalliin eriasteista huokoisuutta. Jotta hitsimetalli saadaan vastaamaan huokoisuudelle asetettuja standardeja, ei kuitenkaan ole tarpeellista poistaa pinnoitusta, vaan huokosten kokoa voidaan minimoida oikeanlaisella pinnoitteella, paksuudella, hitsaustyyppillä ja -parametreilla. Paras yhdistelmä huokoisuuden, hitsiroiskeiden ja hitsauspillin tukkeutumisen ehkäisemiseksi saadaan, kun pinnoitteeksi valitaan matalapitoinen sinkkisilikaattipinnoite. Kuten laserleikkauksessa myös hitsauksessa tehokkuus parantuu, kun pinnoite on mahdollisimman ohut. Lisäksi mitä ohuempi pinnoitekerros materiaalilla on, sitä matalampi sen huokoisuus on (kuva 15). /13/



Kuva 15. Pinnoituksen paksuuden vaikutus hitsimetallin huokoisuuteen /13/

4.5 TYYPILLISIMMÄT HITSAUSVIRHEET JA NIIDEN EHKÄISY

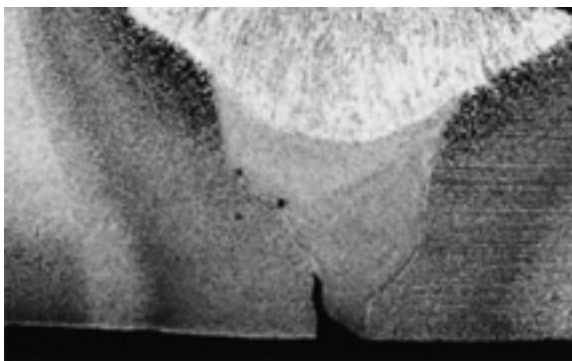
Hitsiliitosten väsymislujuus on alhainen kolmesta syystä: jännityshuipuista, hitsausvirheistä sekä sisäisistä jännityksistä. Käytännössä hitsiliitoksen väsymislujuus määrittää koko rakenteen väsymislujouden. Tämän vuoksi varsinkin erilaisilla hitsauksen aikana syntyneillä virheillä on suuri vaikutus hitsiliitoksen ja näin ollen koko rakenteen kestävyyyteen ja niitä tulee välttää. Hitsatessa onkin syytä kiinnittää huomiota hitsisaumojen laatuun sekä niiden sijoitteluun. /15, 16/

Tyypillisiä hitsausvirheitä ovat: liitosvirheet, halkeamat, sulkeumat, ontelot, roiskeet ja liiallinen huokoisuus. Yleisohjeina virheiden ehkäisemiseksi suositellaan, että hitsausvälineet pidetään puhtaina ja toimivina, hitsirailo puhdistetaan ennen työskentelyn aloittamista epäpuhtauksista, hitsausmenetelmäksi ja -lisäaineiksi valitaan kullekin materiaalille sopivin ja lisäaineet säilytetään oikein eli ne pidetään kuivina. /16/

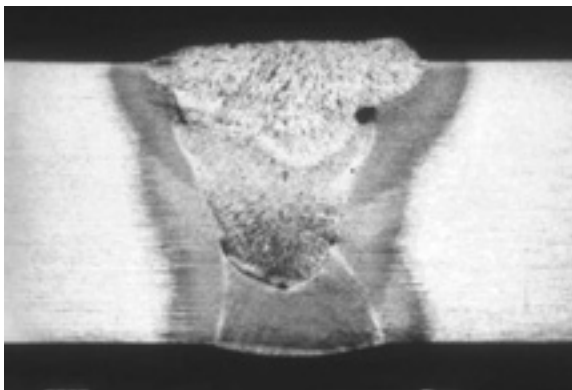
4.5.1 Liitosvirheet

Liitosvirheistä puhuttaessa tarkoitetaan useasti tilanteita, joissa hitsi ei ole tunkeutunut tarpeeksi syvälle railoon (kuva 16) tai aineiden liittyminen toisiinsa on ollut epätäydellistä (kuva 17). Tunkeutumissyvyysvirheitä voidaan ehkäistä kiinnittämällä huomiota hitsausrailon kokoon, mitoittamalla se hitsauspillille sopivaksi, jotta päästään työskentelemään railon pohjalla asti. Puikkohitsauksessa tulee valita lisäainepuikko, jonka halkaisija on tulevaan saamaan verrattuna sopivan kokoinen. Palot tulee sijoittaa ja mitoittaa toisiinsa nähden sopiviksi ja liitos ei saa olla liian kapea. /16/

Myös hitsausparametreja muuttamalla voidaan vaikuttaa liitosvirheiden syntyyn. Hitsausnopeutta alentamalla saadaan yksittäiset palot tunkeutumaan leveämmälle ja syvemmälle alueelle hitsiliitokseen, mutta toisaalta liian hidas nopeus aiheuttaa sulan hitsimetallin kerääntymistä valokaaren eteen. Tämä haitallinen ilmiö edesauttaa liitosvirheiden syntyä. Käytettyä hitsausvirtaa nostamalla puolestaan saadaan palko tunkeutumaan syvemmälle, mutta samanaikaisesti sen leveys voi kaventua. Pillin asennon



Kuva 16. Virhe tunkeutumis-
syvyudessa /16/

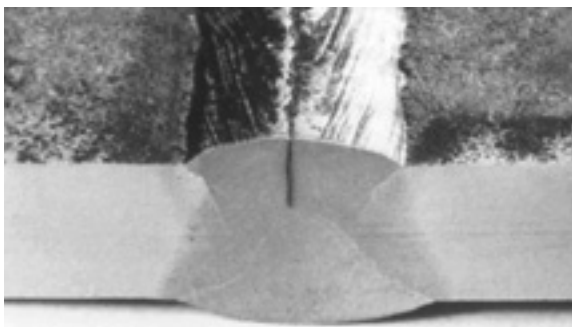


Kuva 17. Sulautumisvirhe /16

ja kulman muuttaminen työkappaleen suhteen saattaa parantaa hitsimetallin tunkeutumista perusaineeseen. /16/

4.5.2 Kuumahalkeamat

Jähmettymisen aikana hitsisulaan muodostuvat kuumahalkeamat esiintyvät tyypillisesti keskellä saamaa ja ne kasvavat pituussuunnassa siihen nähden (kuva 18). Halkeamia voi olla hitsimetallin pinnan lisäksi myös hitsisauman sisäpuolella. Niiden synty riippuu pitkälti hitsimetallin kemiallisesta koostumuksesta ja hitsauksen suoritustavasta, sillä erilaiset epäpuhtaudet ja seosaineet, kuten fosfori ja rikki, vaikuttavat halkeamien syntyyn voimakkaasti. Fosforin ja rikkin haitallisia vaikutuksia voidaan ehkäistä seostamalla teräkseen mangaania, joka sitoo erityisesti rikkiä. Weldox-



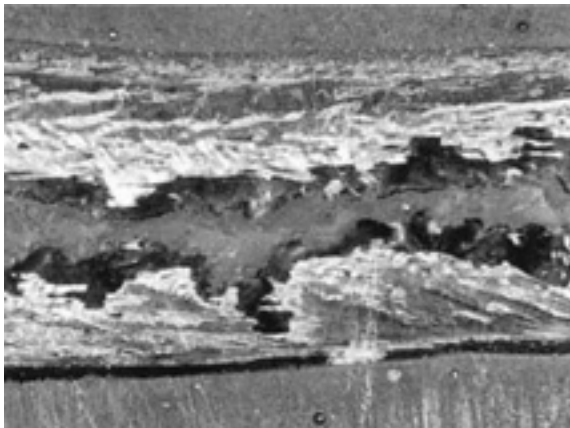
Kuva 18. Kuumahalkeama /16/

ja Hardox-laaduissa rikki- ja fosforipitoisuudet ovat hyvin alhaiset ja ko. teräkset sisältävät suhteellisen paljon mangaania, joten niiden halkeilualttius on hyvin pieni. Myös hitsisaumaan käytetyn lisäaineen määrällä on merkitystä, sillä hitsimetalli kutistuu jähmettyessään, jolloin liian vähäinen määrä lisäainetta saumassa saattaa aiheuttaa halkeilua. /16/

Halkeamien syntyä voidaan ehkäistä tehokkaasti huolehtimalla hitsausalueen puhtaudesta ja estämällä em. haitallisten seosaineiden liukenemisen hitsisulaan. Lisäksi on huolehdittava, että lisäainetta käytetään saumaan riittävä määrä, siten että syntyvän palon muoto on koveran sijaan kupera. Kasvattamalla lisäaineen syöttönopeutta voidaan ehkäistä tätä ongelmaa. Kiinnittämällä huomiota hitsattavan palon leveys-syvyys-suhteeseen saadaan jähmettymisen aikana syntyvää jännitystä pienennettyä, joka vaikuttaa osaltaan halkeamien syntyyn. Palon muotoa voidaan säädellä leveys-syvyys-suunnassa erityisesti joko vähentämällä hitsausnopeutta tai alentamalla virtaa hitsauksen aikana. /16/

4.5.3 Sulkeumat

Erilaiset hitsiliitokseen syntyvät sulkeumat johtuvat useimmiten kuonasta, jota muodostuu aina hitsauksen sivutuotteena. Tyypillisesti hitsimetallin pinnalle nouseva kuona sisältää erityyppisiä ja -kokoisia oksideja sekä sulfideja (kuva 19). Syntyvän kuonan määrä riippuu käytetystä hitsausmenetelmästä. Hitsauksen aikana syntyvä kuona poistetaan saumasta joko harjaamalla tai hiomalla. Poistaminen on tärkeää sillä myöhemmin kuona voi irrota ja samalla vahingoittaa esim. sauman päälle laitettua pinnoitetta tai aiheuttaa hitsisauman sisällä vahinkoa. /16/



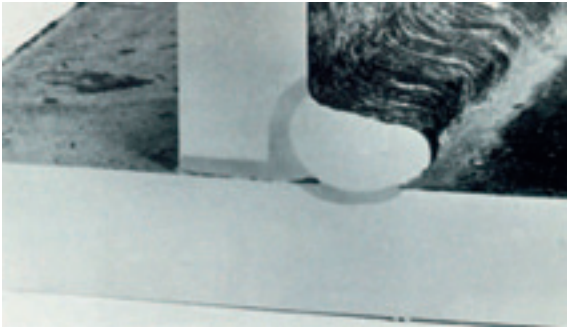
Kuva 19. Kuonaa hitsimetallin pinnalla /16/

Hitsisaumaan syntyvän kuonan muodostusta voidaan hillitä kontrolloimalla valokaaren pituutta. Epävakaa valokaari synnyttää kuonaa ja aiheuttaa hitsimetalliin epätasaisen pinnan, joka vaikeuttaa kuonan poistamista. Paitsi päällimmäinen palko, myös palkojen välit tulee puhdistaa kuonasta hitsauksen aikana. Hitsauksen alitus-

ja lopetuskohtiin kerääntyy yleensä enemmän kuonaa, joten niihin tulee kiinnittää huomiota ja tarvittaessa hioa ko. kohdat ennen seuraavan palon aloittamista. /16/

4.5.4 Reunahaavat

Reunahaavaksi kutsutaan pituussuuntaista lovea, joka sijaitsee hitsisaumassa lähellä hitsimetallin ja perusaineen sulautumisrajaa (kuva 20). Reunahaavojen syntyyn vaikuttaa metallin jähmettymisenäikainen liian korkea jäähtymisnopeus sekä koko hitsausprosessissa käytetyt parametrit. Hitsausnopeuden alentaminen sekä jännitteen nostaminen ovat tehokkaita tapoja ehkäistä haavojen syntyä. On kuitenkin muistettava, että toisaalta liian korkea jännite voi aiheuttaa niin leveän palon, joka jähmettyy päistään sisusta nopeammin ja on näin alttiimpi reunahaavojen synnylle. /16/

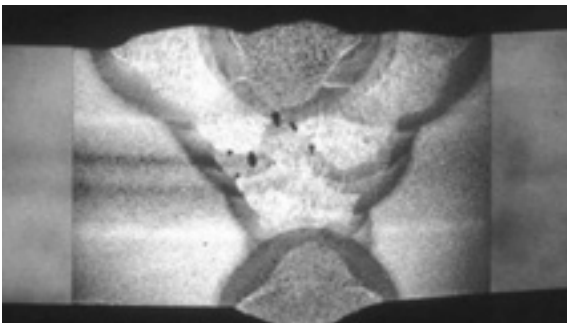


Kuva 20. Reunahaava /16/

4.5.5 Huukokset ja ontelot

Onteloita muodostuu yleensä hitsin lopetuskohtiin, sillä hitsisula kutistuu jähmettymisen aikana. Ontelot altistavat hitsimetallin myös halkeamille, jotka Hardox - Weldox-laaduilla ovat kuitenkin melko epätodennäköisiä. Niiden syntyä voidaan ehkäistä lisäämällä käytetyn lisäaineen määrää sekä kiinnittämällä huomiota hitsin lopetuskohtiin. Joissain tapauksissa on havaittu, että hitsin lopetuskohdassa lyhyt hitsaaminen vastakkaiseen suuntaan vähentää onteloiden määrää. MAG- hitsauksessa hitsausvirran ja -jännitteen asteittainen alentaminen hitsin loppupäässä vaikuttaa asiaan myös. Ontelot voidaan hioa pois ennen seuraavan palon aloittamista. /16/

Kuten ontelot, myös huukokset syntyvät hitsimetallin jähmettymisessä. Huukokset voivat esiintyä hitsimetallin eri osissa, eli toisin kuin ontelot, ne eivät välttämättä



Kuva 21. Hitsimetallin sisällä olevia huukosia /16/

ulotu hitsisauman pinnalle asti (kuva 21). Huokoisuus on yleensä seurausta hitsisaumaan hitsauksen aikana liuenneiden kaasujen, kuten typen, hapen ja vedyn, vaikutuksesta. Tämän vuoksi onkin tärkeää pitää sekä sauma että lisäainepuikot puhtaina ja kuivina ja ehkäistä näin ollen haitallisten aineiden pääsyä. Myös alentamalla hitsausnopeutta sekä säätämällä suojakaasun määrää voidaan vaikuttaa huokoisuuden syntymiseen. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että sopiva määrä suojakaasua l/min on suurin piirtein yhtä suuri hitsipillin sisähalkaisijan kanssa. /16/

4.5.6 Roiskeet

Roiskeet ovat pieniä metallipisaroita, jotka muodostuvat valokaareissa hitsauksen aikana ja leviävät hyvin helposti ympäriinsä hitsisauman lähetyvillä. Roiskeet ovat tyypillisiä MAG- ja puikkohitsauksessa syntyviä hitsivirheitä. Roiskeiden syntymiseen vaikuttavat erilaiset hitsimetallissa olevat epäpuhtaudet, jonka vuoksi tulee kiinnittää huomiota lisäaineen valintaan sekä niiden puhtaana ja kuivana pitämiseen. Myös kaarenpituudella on merkitystä, sillä liian pitkä valokaari aiheuttaa helpommin roiskeiden syntymistä. MAG-hitsauksessa suojakaasuseoksen CO₂-pitoisuuden alentaminen vähentää roiskeiden määrää. /16/

5 Lastuaminen

Ultralujat rakenne- ja kulutusteräket soveltuvat kovuus- ja lujuusominaisuuksistaan huolimatta koneistettaviksi tavallisissa konepajaolosuhteissa. Kovuuden vuoksi työkalujen suositellaan olevan valmistettu joko pikateräksestä tai kovametallista, jotta materiaaleja saataisiin lastuttua ilman työkalujen merkittävää kulumista. Kaikenlaisessa työstössä, jossa materiaalista irrotetaan lastuja, on syytä käyttää siihen soveltuva lastuamismestettä. Esimerkiksi poraamisessa lastuamismesteen tarvittava määrä voidaan arvioida nyrkkisäännöllä virtausnopeus (l/min) = poranterän halkaisija (mm). /29/

5.1 PORAAMINEN

Huolimatta siitä käytetäänkö poraamiseen pylväs- vai säteiskonetta, on sen tärinä minimoitava. Näin päästään parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen sekä saadaan pidennettyä koneen ja terien käyttöikä. Tavallisimmissa koneissa Weldox 700-960 laaduille voidaan käyttää sekä tavallista että mikro- tai kobolttiseostettua pikateräs-poranterää. Lujimmille Weldox-laaduille sekä Hardox 400-500 -laaduille suositellaan käytettäväksi pienellä kierteenousulla varustettua kobolttiseostettua pikateräs-poranterää, jonka vankka rakenne kestää koviakin vääntömomenteja. Taulukossa 21 on esitetty ko. terille suositeltuja työstöparametreja /29/

Taulukko 21. Suositeltuja työstöparametreja pikateräksestä valmistetuille terille /29/

	WELDOX 700	WELDOX 900/960	WELDOX 1010	WELDOX 1100		HARDOX 400	HARDOX 450	HARDOX 500
v_c [m/min]	-12	-7.5	-9	-7		-9	-7	-5
D [mm]	Feed rate, f [mm/rev] / Speed, n [rpm]							
5	0,10/1150	0,10/950	0,05/570	0,05/445		0,05/570	0,05/445	0,05/320
10	0,10/575	0,10/475	0,10/290	0,09/220		0,10/290	0,09/220	0,08/130
15	0,16/400	0,16/325	0,16/190	0,15/150		0,16/190	0,15/150	0,13/85
20	0,23/300	0,23/235	0,23/150	0,20/110		0,23/150	0,20/110	0,18/65
25	0,30/240	0,30/195	0,30/110	0,25/90		0,30/110	0,25/90	0,22/50
30	0,35/200	0,35/165	0,35/90	0,30/75		0,35/90	0,30/75	0,25/45

Uudemmissa ja vakaammissa koneissa voidaan hyödyntää kovametalliteriä, jotka voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: kiinteisiin, kovajuotettuihin ja kääntöteriin. Se, mikä terä valitaan, riippuu käytettävän koneen vakaudesta, työkappaleen kiinnitystavasta, porattavan reiän säteestä sekä vaadittavista toleransseista. On kuitenkin hyvä käyttää lyhintä mahdollista terää, joka edesauttaa työstön vakautta. Taulukossa 22 on esitetty suositeltuja työstöparametreja Weldox 700-1100 sekä Hardox 400-500-laaduille. Vastaavat parametrit Hardox 600 -laadulle ovat $v=20-40$ m/min ja $f=0.05-0.12$ mm/rev, riippuen mitä kovametalliterää käytetään. /10, 29/

Taulukko 22. Suositeltuja työstöparametreja kovametalliterille /29/

	WELDOX 700	WELDOX 900/960	WELDOX 1010	WELDOX 1100	HARDOX 400	HARDOX 430	HARDOX 500
Cutting speed, v_c [m/min] and Feed rate, f [mm/rev]							
Solid cemented carbide	v_c	50-70	40-50	25-45	30-40	35-45	30-40
	f	0,10-0,18	0,10-0,18	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15	0,08-0,12
Brazed cemented carbide	v_c	40-60	40-50	25-45	30-40	35-45	30-40
	f	0,12-0,18	0,12-0,18	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15	0,08-0,12
Indexable inserts	v_c	100-120	70-90	60-80	50-70	60-80	50-70
	f	0,10-0,18	0,10-0,18	0,06-0,14	0,06-0,14	0,06-0,14	0,06-0,12

Mikäli käytettävän terän halkaisija on pieni, kannattaa syöttönopeudeksi valita sallitulla alueella pysyttelevä pienin parametri. Halutessaan tarvittavat työstöparametrit voi laskea itsekin käyttämällä kuvassa 22 esitettyjä kaavoja. /29/

$v_c = \frac{\varnothing \times D \times n}{1000}$	$v_c =$ cutting speed [m/min]
$n = \frac{v_c \times 1000}{\varnothing \times D}$	$D =$ drill diameter [mm]
$v_f = f \times n$	$n =$ speed [rpm]
	$\varnothing = 3.14$
	$v_f =$ feed rate [mm/min]
	$f =$ feed rate [mm/rev]

Kuva 22. Poraamisparametrien laskentakaavoja /29/

5.1.1 Upotusporaus

Upotteiden poraamiseen suositellaan käytettäväksi siihen tarkoitettuja teriä, joissa on vaihdettavat kovametalliosat. Nyrkkisääntönä on, että tarvittavat parametrit ovat noin 30% alhaisemmat kuin tavallisessa poraamisessa. Lisäksi jos työstön aikana ilmenee lastun murtumista, on syöttö syytä tehdä 2mm jaksoissa kerrallaan. Mikäli työstöön käytettävän koneen tehot ovat alhaiset, työstönopeus kannattaa valita sallitun nopeusalueen hitaammasta päästä. Taulukossa 23 on esitetty kovametalliterille tarkoitettuja työstöparametreja. Kovimmalle Hardox 600-laadulle vastaavat parametrit ovat $v=30-50$ m/min, $f=0.1-0.2$ mm/min. /10, 29/

Weldox 700-960 -laatuja voidaan työstää myös tavallisilla pikateräksestä valmistetuilla terillä, joissa on kolme leikkaavaa reunaa, taulukon 24 mukaisilla työstöparametreilla. /29/

Taulukko 23. Kovametalliterille tarkoitetut työstöparametrit /29/

	WELDOX 700	WELDOX 900/960	WELDOX 1030	WELDOX 1100		HARDOX 400	HARDOX 450	HARDOX 500
v_c [m/min]	70-100 ²	40-80 ²	25-70 ²	20-60 ²		25-70 ²	20-60 ²	17-50 ²
Feed rate, f [mm/rev]	0,10-0,20	0,10-0,20	0,10-0,20	0,10-0,20		0,10-0,20	0,10-0,20	0,10-0,20
D [mm]	Speed, n [rpm]							
19	1175-1675	670-1340	420-1175	335-840		420-1175	335-840	285-840
24	930-1325	530-1060	330-830	265-665		330-830	265-665	225-665
34	655-935	375-750	235-615	185-470		235-615	185-470	160-470
42	530-760	300-600	190-530	150-380		190-530	150-380	130-380
57	390-560	225-440	140-390	110-280		140-390	110-280	95-280

Taulukko 24. Pikateräksestä valmistetuille terille tarkoitetut työstöparametrit /29/

		WELDOX 700	WELDOX 900/960
v_c [m/min]		~5	~7
D [mm]	Feed rate, f [mm/rev]	Speed, n [rpm]	
15	0,05-0,20	170	150
19	0,05-0,20	130	120
24	0,07-0,30	100	90
34	0,07-0,30	70	70
42	0,07-0,30	60	50
57	0,07-0,30	40	40

5.1.2 Kierteitys

Oikeanlaisia kierretappeja käyttämällä kaikki Weldom- ja Hardox-laadut voidaan kierteittää. Lujien ja kovien terästen kierteityksessä suositellaan käytettäväksi nelikulmatappeja, jotka kestävät korkeita vääntömomenteja. Voiteluaineena tulee käyttää tarkoitukseen soveltuvaa öljyä tai pastaa, joka vähentää kitkaa. Tyypillinen käyttöön soveltuva kierretappi on TiN-pinnoitettu kovametallitappi, mutta myös TiCN-pinnoitettuja voidaan käyttää. Taulukossa 25 on esitetty kummallekin tappityypille soveltuvat työstöparametrit. Mikäli käytetään pinnoittamattomia tappeja, on parametreja syytä alentaa 30%. /29/

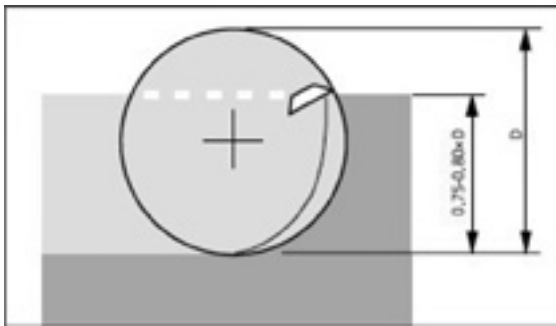
Taulukko 25. Kovametallikierretapeille suositellut työstöparametrit /29/

	WDS-Co (WDS-E) TiN or TiCN coated				WDS-Co (WDS-E) TiCN coated		
	WELDOX 700	WELDOX 900/960	WELDOX 1030	WELDOX 1100	HARDOX 400	HARDOX 450	HARDOX 500
v_c [m/min]	10	8	5	3	5	3	2,5
Size	Speed, n [rpm]						
M10	320	255	160	95	160	95	80
M12	265	210	130	80	130	80	65
M16	200	160	100	60	100	60	50
M20	160	125	80	45	80	45	40
M24	130	105	65	40	65	40	30
M30	105	85	50	32	50	32	25

5.2 JYRSINTÄ

Hardox- ja Weldox-laatuojen jyrinnässä suositellaan käytettäväksi kovametalliteriä. Se, millaista terää kannattaa käyttää, riippuu jyrintätavasta, työstettävästä materiaalista sekä itse jyrimestä. Valittavana on muun muassa erityisesti Hardoxille soveltuvia, pyöristetyillä teräpaloilla varustettuja sekä kobolttipinnoitettuja pikateräksestä valmistettuja jyrinteriä. Mikäli käytettävä jyrin ei ole kovin tehokas, kannattaa työstöön käyttää karkehampaista terää. Itse työstölevyyden suositellaan olevan noin 75-80% terän leveydestä (kuva 23). /29/

Jyrittäessä polttoleikkattua reunaa, olisi lastuamissyvyyden hyvä olla vähintään 2mm, jolloin voidaan välttää leikatun reunan kova pinta (kuva 24). Taulukossa 26 on esitetty Hardox- ja Weldox- laaduille suositellut jyrintäparametrit, jotka voidaan myös tarvittaessa laskea kuvassa 25 esitettyjen kaavojen avulla. /29/



Kuva 23. Suositeltu työstöleveys /29/ Kuva 24. Polttoleikkauksen kovuusprofiili /29/

Taulukko 26. Suositeltuja jyrintäarvoja /29/

	FACE MILLING				END MILLING			
	Coated CC		Cermet	Coated CC	CC			HSS-Co
Grade	F40C3	F25C6	F20C6-C7	K20C2	K10C3-uncoated	K10C3-coated	F10C7-indexable insert	T1C3-coated
Conditions	unstable	average	stable	stable	stable	stable	stable	unstable
Feed rate (fz)	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.02-0.10	0.02-0.20	0.05-0.15	0.03-0.09
Rake grade	Cutting speed, v _c [m/min]							
WELDOX 700	195-150-95	220-180-150	240-200	-	100	180	195-150	40
WELDOX 900/900	95-75-50	200-160-120	220-170	-	90	130	140-120	18
WELDOX 1020	-	150-120-110	150-120	-	90	100	110-90	-
WELDOX 1100	-	150-120-110	150-120	-	90	100	110-90	-
HARDOX 400	-	150-120-110	150-120	-	90	100	110-90	-
HARDOX 430	-	150-120-110	150-120	-	90	100	110-90	-
HARDOX 500	-	120-110	120-100	120-100	90	80	90-70	-

$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$	$v_c =$ cutting speed [m/min]
$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D}$	$D =$ cutter diameter [mm]
$f_z = \frac{v_f}{n \times z}$	$n =$ speed [rpm]
$v_f = f_z \times n \times z$	$\pi = 3.14$
	$v_f =$ feed rate [mm/min]
	$f_z =$ feed rate per tooth [mm/tooth]
	$z =$ number of cutter teeth

Kuva 25. Jyrsintä-parametrien laskentakaavat /29/

5.3 SORVAUS

Weldox- ja Hardox-laatuojen sorvauksessa suositellaan käytettäväksi lujia ja sitkeitä kovametalliteriä, erityisesti kun työstetään levyjä, joissa on polttoleikatut reunat. Taulukossa 27 on esitetty sorvauksen suositellut parametrit, jotka voidaan myös laskea kuvassa 26 esitettyjen kaavojen avulla. Mikäli käytetään taulukossa mainittuja arvoja suurempia syöttönopeuksia, tulee lastuamisnopeutta alentaa. /29/

Taulukko 27. Suositeltuja sorvausarvoja /29/

Carbide grade	P25/C6	P35/C6-C7	K20/C2
Feed rate f_n [mm/rev]	0,1-0,4-0,8	0,1-0,4-0,8	0,1-0,3
	Cutting speed, v_c [m/min]		
WELDOX 700	285-195-145	230-150-100	-
WELDOX 900/960	130-90-70	105-65-45	-
WELDOX 1030	130-90-70	105-65-45	-
WELDOX 1100	130-90-70	105-65-45	-
HARDOX 400	130-90-70	105-65-45	-
HARDOX 450	130-90-70	105-65-45	-
HARDOX 500	-	-	100-80

$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$	$v_c =$ cutting speed [m/min]
$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D}$	$D =$ workpiece dia. [mm]
$v_f = f_n \times n$	$n =$ speed [rpm]
	$\pi = 3.14$
	$v_f =$ feed rate [mm/min]
	$f_n =$ feed rate [mm/rev]

Kuva 26. Sorvaus-parametrien laskentakaavat /29/

6 Lähteet

- /1/ SSAB, General Product Information; Weldox, Hardox, Armox and Toolox, [pdf-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Plate/Brochures/en/041_SSAB_plate_general_product_information_UK.pdf
- /2/ SSAB, Hardox 400- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Datasheets/en/151_HARDOX_400_UK_Data%20Sheet.pdf
- /3/ SSAB, Hardox 450- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Datasheets/en/168_HARDOX_450_UK_Data%20Sheet.pdf
- /4/ SSAB, Hardox 500- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Datasheets/en/152_HARDOX_500_UK_Data%20Sheet.pdf
- /5/ SSAB, Hardox 550- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Datasheets/en/169_HARDOX_550_UK_Data%20Sheet.pdf
- /6/ SSAB, Hardox 600- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Datasheets/en/159_HARDOX_600_UK_Data%20Sheet.pdf
- /7/ SSAB, Hardox in my body - Buckets, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/080_Hardox_in_my_body_buckets_UK.pdf
- /8/ SSAB, Hardox in my body - Container, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/081_Hardox_in_my_body_container_UK.pdf
- /9/ SSAB, Hardox in my body - Truckbodies, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/082_Hardox_in_my_body_truckbodies_UK.pdf
- /10/ SSAB, Hardox TechSupport # 23, Hardox 600 In Workshop, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/023_TS_Hardox_600_workshop_recommendations_UK.pdf
- /11/ SSAB, Hardox TechSupport #16, Cutting of Hardox wear plate, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/016_TS_Hardox_Cutting_of_Hardox_wear_plate_UK.pdf
- /12/ SSAB, Hardox, A part of your success, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/007_Hardox_a_part_of_your_success_UK.pdf

- /13/ SSAB, TechSupport #25, Shop Primers used by SSAB Oxelösund, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Plate/Brochures/en/025_TS_SSAB_plate_shop_primers_used_by_ssab_plate_UK.pdf
- /14/ SSAB, TechSupport #39, Hardox 550, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/039_TS_Hardox_550_UK.pdf
- /15/ SSAB, TechSupport #42, Outline of fatigue of welded joints or six ways of counteracting fatigue, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/042_TS_SSAB_plate_outline_of_fatigue_of_welded_joints_or_six_ways_of_counteracting_fatigue_UK.pdf
- /16/ SSAB, TechSupport #47, Avoidance of discontinuities in the joint, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/047_TS_SSAB_plate_weld_discontinuities_UK.pdf
- /17/ SSAB, TechSupport #60, Consumables for the welding of Weldox and Hardox steels, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/060_TS_SSAB_plate_Consumables_for_the_welding_of_Weldox_and_Hardox_steels_UK.pdf
- /18/ SSAB, TechSupport #61, Benefits of the term - single plate thickness - compared to the parameter - combined plate thickness - in joints, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/061_TS_SSAB_plate_benefits_of_the_term_single_plate_thickness_compared_to_the_parameter_combined_plate_thickness_in_joints_UK.pdf
- /19/ SSAB, TechSupport #63, Hardox wear plate, Properties and processing, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/063_TS_Hardox_properties_and_processing_UK.pdf
- /20/ SSAB, Welding Hardox and Weldox, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Hardox/Brochures/en/011_SSAB_plate_welding_UK.pdf
- /21/ SSAB, Weldox 700 -datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Datasheets/en/107_WELDOX_700_UK_Data%20Sheet.pdf
- /22/ SSAB, Weldox 900- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Datasheets/en/108_WELDOX_900_UK_Data%20Sheet.pdf
- /23/ SSAB, Weldox 960- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Datasheets/en/109_WELDOX_960_UK_Data%20Sheet.pdf
- /24/ SSAB, Weldox 1030- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.oxycoupage.com/FichiersPDF/English/Datablad_WELDOX_1030_uk.pdf
- /25/ SSAB, Weldox 1100- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Datasheets/en/129_WELDOX_1100_UK_Data%20Sheet.pdf
- /26/ SSAB, Weldox 1300- datasheet, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Datasheets/en/144_WELDOX_1300_UK_Special%20Data%20Sheet.pdf
- /27/ SSAB, Weldox structural steel plate - The Art of Engineering, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Brochures/en/006_Weldox_the_art_of_engineering_UK.pdf

- /28/ SSAB, Weldox structural steel plate and Hardox wear plate, Bending/shearing, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Brochures/en/012_SSAB_plate_bending_UK.pdf
- /29/ SSAB, Weldox structural steel plate and Hardox wear plate, Machining, [PDF-dokumentti], http://www.ssab.com/Global/Weldox/Brochures/en/010_SSAB_plate_machining_UK.pdf

Raportissa tarkastellaan ruotsalaisen teräsvalmistajan Svenskt Stål AB:n (SSAB) kuumavalssattujen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen ominaisuuksia ja soveltuvuutta tyypillisimpiin konepajaprosesseihin. Tarkastelun kohteeksi valikoituivat tuotenimellä Weldox markkinoitavat lujat rakenneteräkset sekä Hardox-kulutusteräkset.

Raportti on jatkoa Ruukin vastaavista materiaaleista tehdylle konepajaprosessitarkastelulle (KuURaK-raportti nro 7).