

Vedyn jakelu ja varastointi

Kone- ja tuotantotekniikan näkökulmasta

(Turvatekniikan keskuksen (TUKES) vetyturvallisuusohjeet huomioitu aineistossa kone- ja tuotantotekniikan näkökulmasta)



OSAO

Vedyn varastointi kaasuna ja nesteinä

- *Rakennemateriaalit
- *Eristeet
- *Jäähdytys
- *Energian kulutus

Vedyn putkikuljetus

- *Rakennemateriaalit
- *Hitsaukset
- *Muut liitokset
- *Vetyhaurastuminen

Vetykaasun paineistus ja muut laitteet

Vedyn maakuljetukset

- * Säiliöt
- *Boil-off –ilmiö



Euroopan unionin
osarahoittama

Muutamia keskeisiä termejä -terminologiaa

- **Harmaa vety**
 - – Valmistetaan fossiilisista polttoaineista (yleensä maakaasusta), jolloin syntyy paljon CO₂-päästöjä.
- **Sininen vety**
 - - Sama kuin harmaa vety, mutta hiilidioksidi pyritään ottamaan talteen ja varastoimaan (CCS).
- **Vihreä vety**
 - – Valmistetaan täysin ilman fossiilisia polttoaineita ja ilman päästöjä. Ajoitetaan valmistus kun päästötöntä energiaa saatavissa yli kulutustason.



Vesi → Vety → Energia

- **Paljonko litrasta (1 kg) saadaan vetyä?**
 - Veden kemiallinen kaava H_2O – Molekyyllissä on **kaksi vetyatomia ja yksi happiatomi.**
 - Veden moolimassa 18 g/mol, josta **2 g vetyä** ja 16 g vettä.
 - Vedyn osuus massasta on $2/18 = 11,1 \%$, eli **1 kg vettä on 111 g vetyä.**
 - Kun vety (H_2) erotetaan kaasuna, niin moolimassa on 2 g/mol, joten 111 g/2g/mol
 - **= 55,5 mol vetyä.**
 - "Normaaliolosuhteissa" (0 °C, 1 bar) 1 mooli kaasua vie tilaa noin 22,4 litraa.
→ $55,5 \text{ mol} \times 22,4 \text{ l/mol} = \mathbf{1240 \text{ litraa vetykaasua}}$
 - **.....eli 1 litrasta vettä saa noin 1,2 kuutiometriä (m^3) vetyä.**
- Jatketaan →→



Vesi → Vety → Energia

- Meillä on siis vetyä 111 g, eli 55,5 mol H₂, joka saadaan 1 litrasta vettä.
- Vedyn palamisreaktio
- **H₂ + 1/2O₂ → H₂O**
Reaktiosta vapautuu energiaa (alempiarvoinen lämpöarvo, LHV) noin **241,8 kJ per mooli H₂.**
- Energia 1 litran vedyn sisältämästä vedyistä
- 55,5 mol × 241,8 kJ/mol = 13 400 kJ
- Muutetaan megajouleiksi: 13 400 kJ = 13,4 MJ
- **Muutetaan kilowattitunneiksi: 13,4 MJ ÷ 3,6 MJ/kWh ≈ 3,7 kWh**

• Jatketaan →→



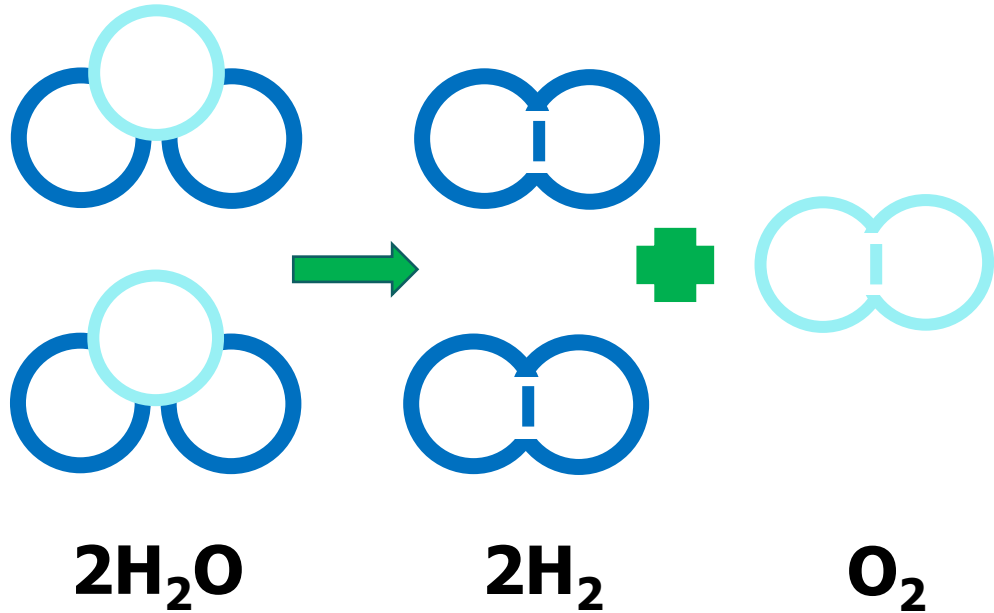
Vesi → Vety → Energia

- **Vedyn valmistuksen teoreettinen kulutus (energian säilyvyys)**
- Yhdestä litrasta vettä saadaan: 55,5 mol H_2 .
- Veden hajoaminen ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$) vaatii noin **237 kJ/mol** sähköenergiaa.
- $55,5 \text{ mol} \times 237 \text{ kJ/mol} \approx \mathbf{13\ 200\ kJ = 3,67\ kWh}$.
- **Tämä on siis teoreettinen minimi** – sama määrä kuin saadaan takaisin palamisessa (3,7 kWh).
- Elektrolyysilaitteiden käytännön hyötysuhde on yleensä **65–75 %**.
- Jos oletetaan 70 %, niin tarvittava sähkö = $3,67 \text{ kWh} \div 0,70 \approx \mathbf{5,2\ kWh}$.
- **.....mitä järkeä on käyttää 5,2 kWh energiaa, jotta saadaan 3,7 kWh energiaa?**

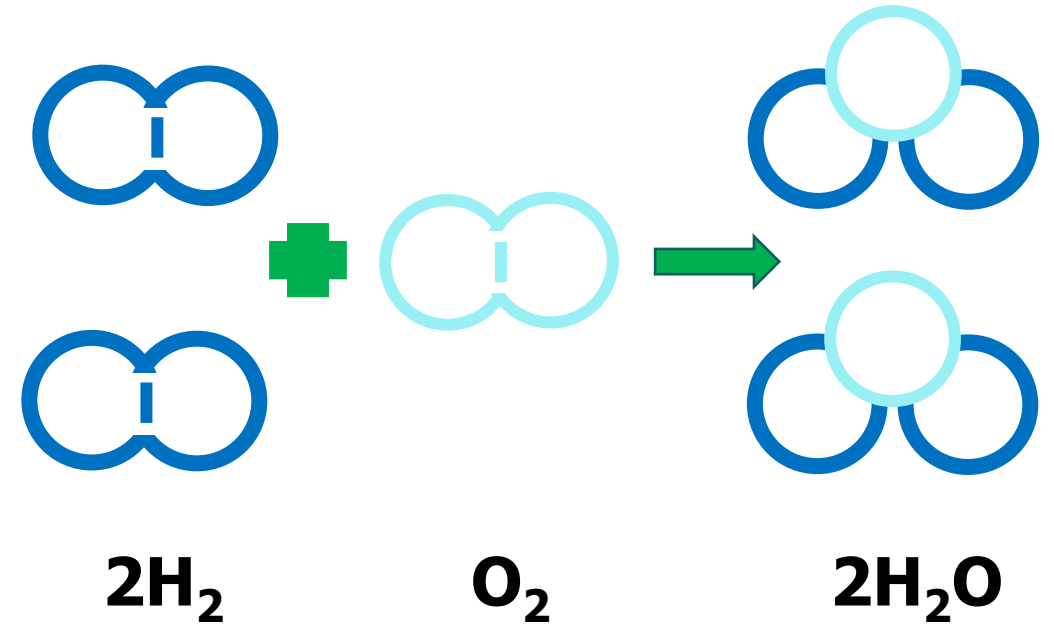


Elektrolyysi - Polttokenno

• Elektrolyysi



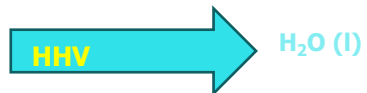
Polttokenno



Vety – ominaisuuksista lyhyesti

Polttoarvo	MJ/kg	MJ/Nm ³
Alempi polttoarvo (LHV)	119,97	10,79
Ylempi polttoarvo (HHV)	141,80	12,75

Tapahtuva reaktio
 $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$



Hajuton,
Väritön,
Mauton

Erittäin reaktiivinen

Pienin molekyyli->
läpäisee materiaaleja

->
Haasteita säilöntään
ja siirtoon

Heikentää ja
haurastuttaa
materiaaleja

Laimenee ja
hajaantuu nopeasti
ulkoillassa

Kaasu

20 °C

0,084
kg/m³

Kaasu

252,7 °C, kiehumispiste

1,3 kg/m³

Neste

71 kg/m³

Kiinteä

259,1 °C, sulamispiste

88 kg/m³



Euroopan unionin
osarahoittama

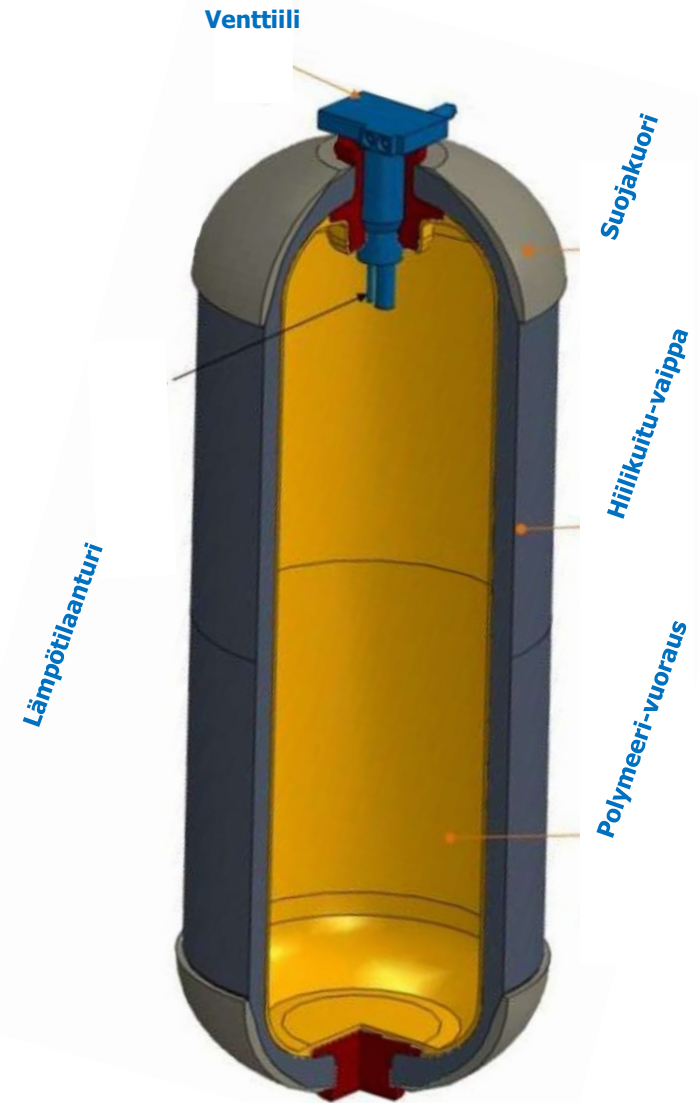
Alempi ja ylempi polttoarvo

- **1. Ylempi polttoarvo (HHV, Higher Heating Value)**
 - - Palamistuotteissa oleva vesihöyry **tiivistyy vedeksi**.
 - - Tällöin hyödynnetään myös **lauhtumislämpö**, eli vesihöyryn tiivistyminen vapauttaa lisäenergiaa.
 - - Vedylle tämä on noin **285,8 kJ/mol H₂**.
 - - Massayksiköissä: **141,9 MJ/kg**.
- **2. Alempi polttoarvo (LHV, Lower Heating Value)**
 - - Palamistuotteissa oleva vesi jää **höyryksi** eikä lauhtumislämpöä oteta talteen.
 - - Tämä on käytännössä tavallista moottoreissa ja polttokennoissa.
 - - Vedylle tämä on noin **241,8 kJ/mol H₂**.
 - - Massayksiköissä: **120,0 MJ/kg**.
- **Ero**
 - Vedyn HHV on noin **18 % suurempi** kuin LHV.
 - Kun näet jossain luvun vedyn energiatiheydestä, pitää aina tarkistaa puhutaanko HHV:stä vai LHV:stä.



Vedyn varastointi – Yleistä

- Yleisin vedyn H_2 varastointitapa on paineistaa se kaasumaisessa muodossa kompressorilla säiliöön. Alhaisesta tiheydestä johtuen varastointipaineet ovat alhaiset, eli noin 10...70 MPa,. **Säiliöt voidaan sijoittaa maan päälle**, jolloin ne ovat alttiina säälle ja mekaanisille vaurioille. Lisäksi ne voidaan **sijoittaa maan alle**, jolloin ne ovat alttiina korroosiolle ja ne on vaikeampi tarkastaa. Maaperällä on kuitenkin eristävä ja suojaava vaikutus.
- Säiliöiden rakennusmateriaalina olevat metallit haurastuvat ajan kuluessa, kun ne ovat vedylle alttiina. Haurastumisen välttämiseksi ne tulee vuorata esimerkiksi polymeerillä, joka vahvistetaan hiilikuituvaipalla. Haurastumisen aiheuttaa vedyn adsorptoituminen metalliin, josta jatkossa lisää.



Vedyn varastointi – Säiliöt

- Vetysäiliöt voidaan karkeasti jakaa neljään ryhmään

1. Täysin metalliset säiliöt
2. Metalliset säiliöt lasikuituisella täyskääreellä
3. Komposiittiset säiliöt metallisella sisäsäiliöllä
4. Täysin komposiittiset säiliöt

- Tässä aineistossa keskitytään vedyn jakeluun ja varastointiin kone- ja tuotantotekniikan näkökulmasta, joten **painotus on metallisissa materiaaleissa.**



Kuva: Vedyn nesteytyslaitos

Kuvalähde: [Hydrogen Liquefaction | A Linde Company](#)



Vedyn varastointi – Säiliöt

- Vedyn varastointi on haasteellista sen ominaisuuksien vuoksi. Normaalioloissa vety on kaasumainen ja sen energiatiheys on ainoastaan 3 Wh/l. **Normaalissa ilmanpaineessa ja lämpötilassa 1 kg vetykaasua vaatii 11 m³:n varastointitilavuuden.** Tästä syystä vedyn varastointi suuressa mittakaavassa vaatii suuren varastointitiheyden ollakseen kannattavaa. Vedyn varastointimuodot voidaan jakaa fysikaalisiin ja kemiallisiin varastoihin.

Energiatiheyttä mitataan yksiköissä Wh/kg ja Wh/l eli kuinka monta wattituntia energiaa saadaan varastoitua kilogramman painoa ja litran tilavuutta kohden. Ominaistehon yksikkö on W/kg eli kuinka paljon tehoa kilon painosta saadaan käyttöön.



Vedyn varastointi – Säiliöt

- Fysikaalisia varastointimuotoja ovat puristettu kaasu, nesteytetty vety, paineistettu nestemäinen vety ja vetysohjo. **Vetysohjo on sekoitus nestemäistä ja kiinteää vetyä** vedyn kolmoispisteessä (lämpötila $-259,35^{\circ}\text{C}$ ja paine $0,0704\text{ bar}$). Vetysohjoa käytetään lähinnä avaruusalusten polttoaineen varastoinnissa, joten sitä ei käsitellä tässä materiaalissa.
- Alhainen varastointilämpötila tehostaa vedyn varastointia, koska sen tiheys kasvaa lämpötilan laskiessa. Jäähdyttäminen on kuitenkin ”monimutkainen” ja kallis prosessi.



Vedyn varastointi – Säiliöt

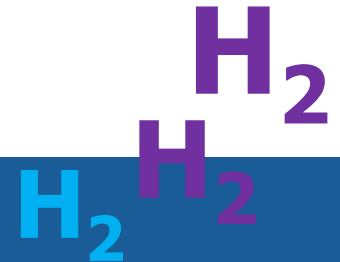
- Vedyn kemiallisia varastointimuotoja ovat erilaiset hydridit (metalli-, kompleksi-, kemiallinen ja siirtymämetallikompleksit), adsorptio, nestemäiset orgaaniset kantajat (esim. bentseeni/sykloheksaani, sykloheptatrieeni/sykloheptaani), reformoidut orgaaniset polttoaineet (esim. metaani, ammoniakki). Sopivin varastointimuoto riippuu siitä, mihin vetyä aiotaan käyttää eli millaisia vaatimuksia on vedyn kuljetukselle, puhtaudelle, varastointikapasiteetille, varastointiajalle, ja sille kuinka nopeasti vety halutaan saada käyttöön.



Kaasumaisen vedyn varastointi

Paineistettu vety kaasu (CGH₂) – Compressed Gaseous

- *Halvin ja yksinkertaisin, siksi yleisin varastointimenetelmä
- *Haasteita tuo korkea paine, matala varastointiheys, lämmönhallinta säiliöitä täytettäessä, turvallisuus
- *Tyypilliset varastointipaineet 350 bar ja 750 bar.
- *"Maailmalla tavoitellaan" = kehitetään kustannustehokasta säiliötä



Kaasumaisen vedyn varastointi

Vetyä varastoidaan useimmiten paineistettuna kaasuna. Tyypillinen varastointipaine on 200-700 baaria. Kaasumaisen vedyn säiliöt ovat painelaitteita ja niitä koskee painelaitelainsäädäntö.

Paineistetun vedyn säiliö koostuu yleensä kolmesta kerroksesta. Sisin kerros on vetytiivis ja se voi olla valmistettu metallista, tiivistä kestopuovista tai pinnoitetusta komposiittimateriaalista. Sisäkerroksen ulkopuolella on paineen kestävä kerros, joka toimii usein myös lämpöä eristävänä kerroksena. Ulkokuori voi olla tehty metallista tai hiilikuidusta.



Nesteytetyn vedyn varastointi



Kuva: Vedyn krygoonisia säiliöitä
Kuvalähde: Hydrogen Liquefaction | A Linde Company

- Vetysäiliöitä valmistetaan teräksestä ja alumiinista

Nesteytetty vety (NH_2) varastoidaan lämpöeristetyssä säiliössä, koska se sen lämpötila on -253 C° . Materiaaleina käytetään ruostumatonta terästä tai alumiiniseoksia. Kylmässä haurastuvat metallit, kuten hiiliteräkset eivät sovellu.

*Tyhjiöeristetyissä säiliöissä ulkovaippa voi olla hiiliterästä, varsinaisen säiliöosan ollessa kylmää kestävää materiaalia.

***Säiliön mitoituksessa** huomioitava myös suurten lämpötilaerojen aiheuttama kuormitus.

***Säiliö suojattava** mm. laitoksen liikenteen osalta mm. törmäyksiltä. Lisäksi tehokas maadoitus.

*Säiliössä (NH_2) on kiehumispisteessä, joten säiliön yläosaan muodostuu boil-off -kaasua



- **Nestemäinen vety** on säiliössä kiehumispisteessä, johtuen lämpövuodosta rakenteiden läpi. Tällöin säiliön yläosa täyttyy ns. Boil-Off –kaasusta (Boil-Off Gas = BOG).
- Jos muodostuvaa BOG:ia ei poisteta, säiliön paine kasvaa vähitellen niin suureksi, että se vaurioittaa rakenteita ja purkautuu tavalla tai toisella ulos säiliöstä.
- **BOG:in pitoaikaa** voidaan lisätä vahvistamalla säiliön rakenteita sekä mitoittamalla ja valmistamalla säiliö paineastiaksi (Huomioitava mm. hitsauksissa PED-vaatimukset).
- **Boil-Off –kaasun muodostumisen nopeuteen** (Boil-Off Rate, BOR) ja tarkoittaa sitä määrää vetyä, joka kaasuuntuu yhden vuorokauden aikana, suhteessa alkuperäisen nestemäisen vedyn määrään.
- BOR on alueella 0,03 – 3,0 %/vrk, tyypillisesti kuitenkin noin 0,1 – 0,2 %



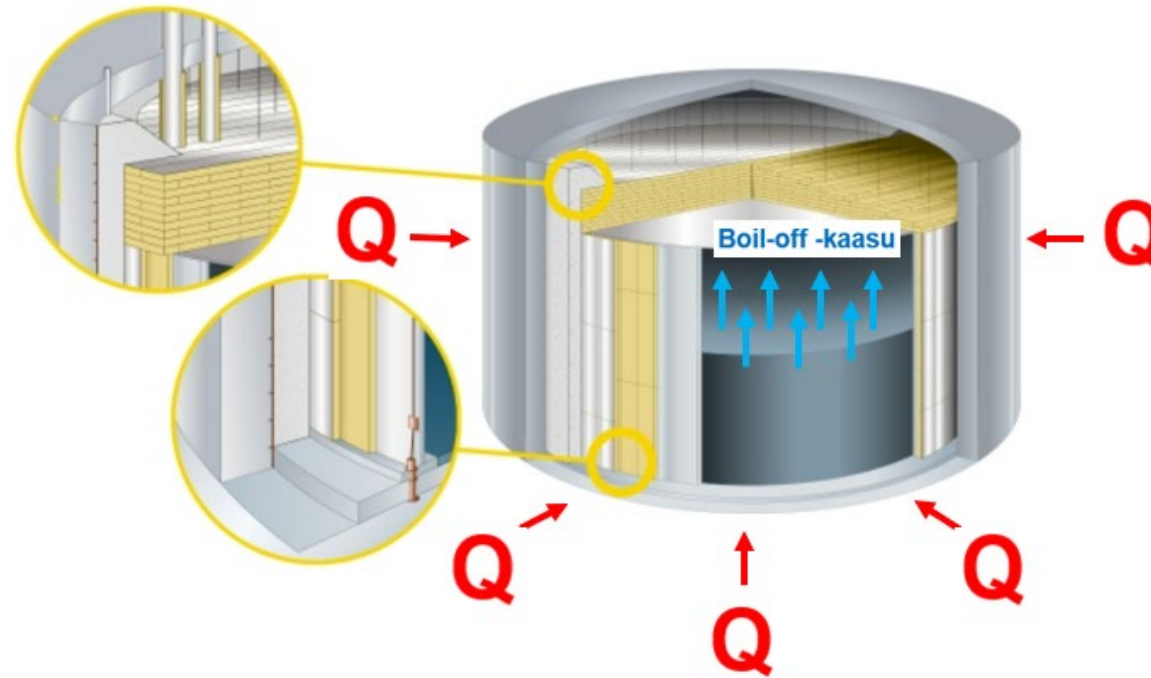
Vetysäiliön eristys

- Nestemäisen vedyn matala lämpötila edellyttää säiliön hyvää eristämistä.
- Eristäminen voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen eristämiseen
- **Aktiivisessa eristämisessä** käytetään jäähdytyskonetta nesteyttämään BOG. Nestytyksen jälkeen vety johdetaan takaisin säiliöön.
- **Passiivisessa eristämisessä** käytetään tehokasta, alhaisen lämmönjohtavuuden omaavaa eristemateriaalia tai kerrosrakenteita ja tyhjiötä. Eristyksestä huolimatta Boil-off –kaasua muodostuu ”jonkin verran.” Se voidaan ottaa kaasumaisena käyttöön tai käyttää aktiivisen eristämisen uudelleen nesteytystä.
- Passiivisen eristämisen **eristemateriaalit voidaan** karkeasti **jakaa** kiinteisiin täyteaineisiin (bulk fill), vaahtoihin (foam) ja kerrosmateriaaleihin (layered).



Boil-Off –kaasun muodostuminen

(Kryogeenisessä säiliössä)



- Kuva: Säiliön eristyksistä huolimatta tapahtuu lämpövuotoa, jonka seurauksena nestemäinen vety (NH_2) kaasuuntuu (vedyn kiehumispisteessä n. -253 C°) ja se on johdettava säiliöstä pois.

Kuvalähde: Isover (referoituna)



Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn varastoinnin energiankulutus

- **Kaasumaisen vedyn varastoinnissa** energiankulutus on pääosin kompressorin tekemää "puristustyötä," joka tarvitaan kaasumaisen vedyn paineen nostamiseksi varastointipaineeseen.
- **Nestemäisen vedyn varastoinnissa** suurin energia tarvitaan kaasun jäähdyttämiseen varastointilämpötilaan sekä Boil-off –kaasun uudelleen jäähdyttämiseen.

Huom!
Vetyvarastoja varmasti tarvitaan, mutta
sinällään pitkä putkisto on sinällään jo
merkittävän suuri varasto, joka tasaa
kulutushuippuja.



Vedyn kuljetus - putkistot

- Vedyn kuljetus tuotantopaikasta käyttöpaikkaan voidaan toteuttaa putkistoja pitkin tai kulkuneuvoilla. Silloin kun putkisto kulkee tuotantolaitoksen ulkopuolella, puhutaan siirtoputkistosta. Siirtoputkistolle on haettava TUKES:lta lupa. Laitosalueen ulkopuolella sijaitseva putkisto luokitellaan siirtoputkistoksi ja silloin se ei kuulu painelaitedirektiivin (PED) soveltamisalueeseen.
- Putkistoja käytetään, kun kuljettavat määrät ovat suuria ja käyttöpaikassa tarvitaan vetyä pitkäaikaisesti. Vetyputkiston rakentaminen on suuri ja kustannuksiltaan kallis hanke. Siirtoputkisto voi kulkea esim. maalla, meren pohjassa, putkisillan kannattamana ilmassa tai maahan upotettuna.
- **Kansalliset ohjeet** vedyn laajamittaiselle siirrolle putkistossa ovat **kehitysvaiheessa**. Esitetään, että vetyasetustasolla ei asetettaisi tarkkoja määritteitä koskien putkiston ja komponenttien suunnittelua, **materiaalivalintoja, valmistusta, hitsausta**, testausta ja tarkastusta sekä operointia (TEM julkaisu 37/2024)



Vedyn kuljetus - siirtotarve - putkistot

Uusiutuvan sähköntuotanto + vedyn tuotanto (elektrolyysi) + vedyn käyttö ja jatkojalostus



Uusiutuvan sähköntuotanto + vedyn tuotanto (elektrolyysi) + **vedyn siirto** + vedyn käyttö ja jatkojalostus



Uusiutuvan sähköntuotanto + sähkön siirto + vedyn tuotanto (elektrolyysi) + vedyn käyttö ja jatkojalostus



Uusiutuvan sähköntuotanto + sähkön siirto + vedyn tuotanto (elektrolyysi) + **vedyn siirto** + vedyn käyttö ja jatkojalostus



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvalähde (muokattu): Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energijärjestelmän mahdollistajina Fingridin ja Gasgrid Finlandin yhteishankkeen loppuraportti (2023)

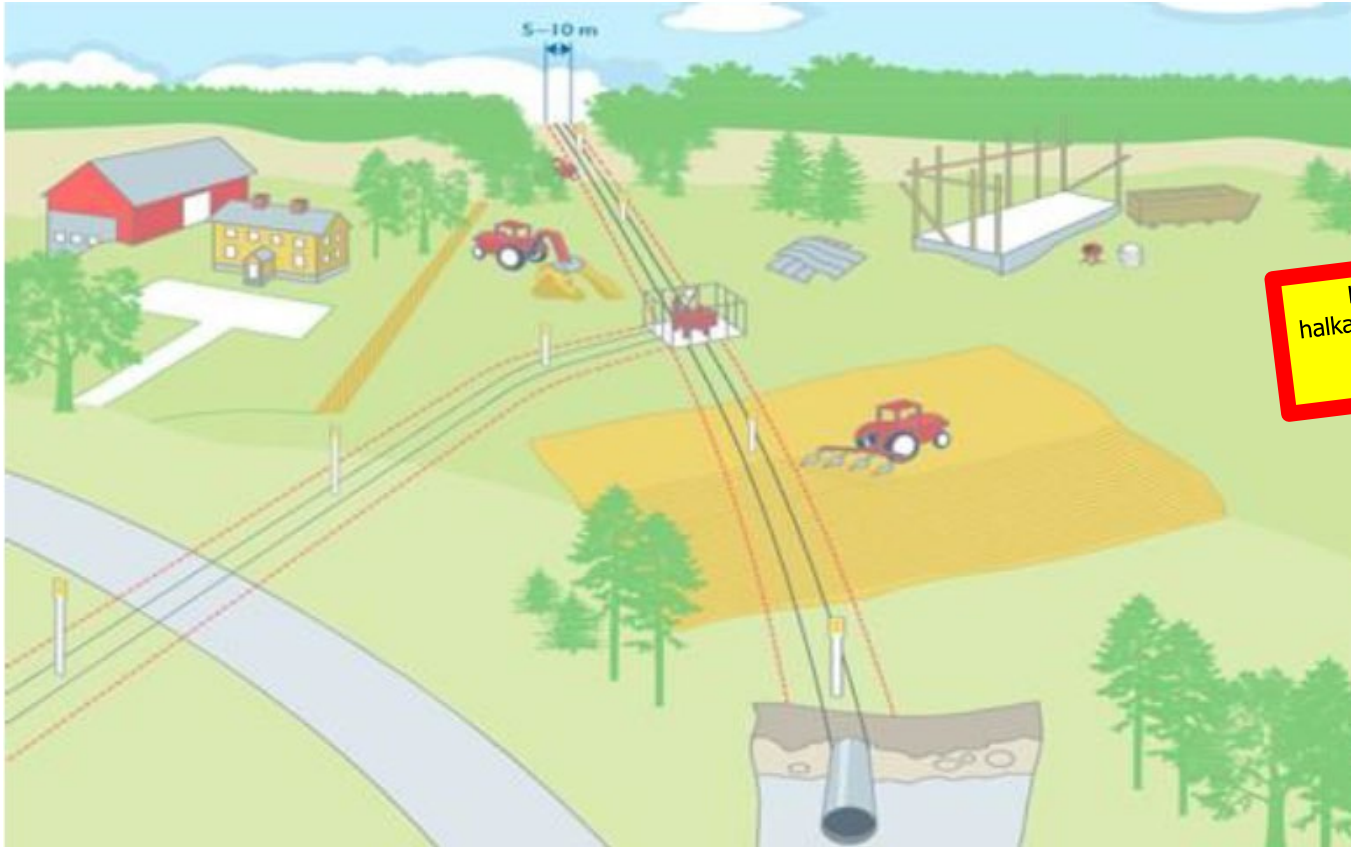
Vedyn kuljetus - putkistot

- Lähtökohtaisesti **vetyhaurastumisen riski on sitä suurempi mitä lujemmasta teräksestä on kyse**. Suurlujuusteräket sekä titaani- ja alumiiniseokset ovat alttiita vetyhaurastumiselle.
- Suomessa **metaaniputkissa käytetään** tyypillisesti materiaaleja **X42, X52, X60 ja X70**. **Vetyputkissa** tullaan käyttämään samantyyppisiä materiaaleja, mutta **mahdollisesti suositaan matalampia lujuuksia** vetyhaurastumisriskin minimoimiseksi. Matalampi lujuus yhdessä korkean painetason ja paineen vaihteluiden kanssa johtaa todennäköisesti vetyputkien **suurempaan paksuuteen metaaniputkiin verrattuna**.
- Suuren kokoluokan vetyjärjestelmistä ja korkeista paineista ei kuitenkaan ole vielä saatavilla pitkän aikavälin kokemuksia ja dataa ja siksi ensimmäisissä järjestelmissä varaudutaan suurempiin varmuuskertoimiin kuin mahdollisesti myöhemmin rakennettavissa putkistoissa.

Huom!
X70 lujuus = 70000 psi (paunaa/neliötuuma), eli
70000 psi = **483 N/mm²**



Vedyn kuljetus - putkistot



Huomioitava, että **vetyputkistossa** kulkeva **energiamäärä** on niin **suuri**, että halkaisijaltaan yhden metrin putki **korvaa jopa 15 kantaverkkotason sähkölinjaa**⁽¹⁾ ja sitä varten maastoon tehtäviä puuttomia vyöhykkeitä.
(¹ Fingrid)

- Metsäalueilla ja taajamissa on havaittavissa 5–10 metriä leveä puuton vyöhyke, jonka keskellä sijaitsee maanalainen vetyputkisto (Kuva: muokattu lähteestä Gasum100).



Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn kuljetus - putkistot

- Kuljetuksessa voidaan kuitenkin hyödyntää **olemassa olevaa maakaasuputkistoa**. Maakaasuputket ovat kuitenkin ajan kuluessa kuluneet ja niihin on kertynyt epäpuhtauksia, joten vedyn kuljettamiseksi ne on ainakin osittain uudistettava. Ongelman vanhoissa ja teräksisissä maakaasuputkissa on hitsausliitosten haurastuminen vedylle. Vaihtoehtoja ovat mm.
 1. Verkostoa voidaan tehdä **kuituvahvistetusta polymeeristä**. Pidempinä elementteinä saumojen määrä pienenee.
 2. **Vetyvirtaan voidaan sekoittaa inhibiittoria**, joka estää vedyn absorption teräsputken seinämään. Inhibiittorit ovat hiilimonoksiedeja tai rikkidioksiedeja, jotka puolestaan ovat myrkyllisiä ja ne on käyttöpaikassa eroteltava pois vedystä.
 3. Vetyputki voidaan myös **päällystää sisäpuolelta**, mutta silloin vanha maakaasuputki on kaivettava esille
 4. **Uusi putki voidaan rakentaa myös vanhan maakaasuputken sisälle**, jolloin vanhasta putkesta muodostuu suoja uudelle putkelle mekaanisia vaurioita vastaan. Tässäkin tapauksessa putki on kaivettava esiin.



Vedyn kuljetus - putkistot

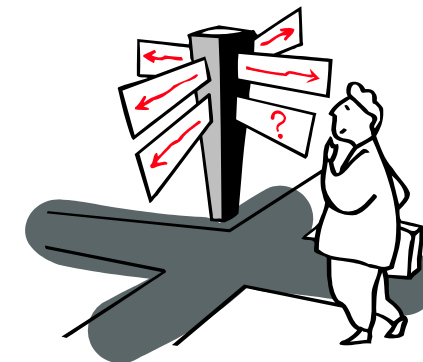
- Vedyn putkikuljetusta pidetään yleisesti **ympäristöystävällisenä ja turvallisena** kuljetusmuotona, varsinkin silloin, kun putki kulkee maan alla.
- **Putkikuljetus on kustannustehokkain** silloin, kun siirrettävät kaasumäärät ovat suuria.
- **Vedyn siirtoputkisto voi sijaita** maan päällä, maan alla, meren pohjassa ja ilmassa, putkisiltojen varassa.
- **Siirtoputkiston paine** voi olla muutamasta Bar:ista kymmeniin Bar:eihin.
- Vedyn kuljettamiseen voidaan hyödyntää olemassa olevia maakaasuputkia, jolloin vetyä sekoitetaan maakaasun sekaan 5 – 15 %. Tämän määrän ei tiedetä aiheuttavan ongelmia tai muutostarpeita käyttäjien laitteisiin.
- **Valmista maakaasuverkostoa** on Suomessa 1200 km. Yhteys Imatran kautta Venäjälle.
- Lisäksi **Baltic Connector** DN500 (508,0 mm) Viron Baldinskista Inkooseen, jota voidaan operoida molempiin suuntiin.



Vedyn kuljetus - putkistot

- **Haminassa ja Inkoossa LNG-terminaalit** (Liquefied Natural Gas). Lisäksi Exemplar niminen **terminaalilaiva Inkoossa**.
- **Biokaasua** viideltä suomalaiselta biokaasulaitokselta.
- **Maakaasuputket täräsputkia** DN100 - DN1000 ulkohalkaisijat (114,3 mm – 1016,0 mm). Osa putkista pinnoitettu polyeteenimuovilla ja niissä on katodinen suojausjärjestelmä.
- **Maakaasun paine** vaihtelee 30 – 54 Bar.
- **Vetyputkistot maailmalla** n. 4500 km, josta yli puolet USA:ssa. Kiina suunnittelee rakentavansa vuoteen 2050 mennessä 6000 km (nyt alle 100 km).

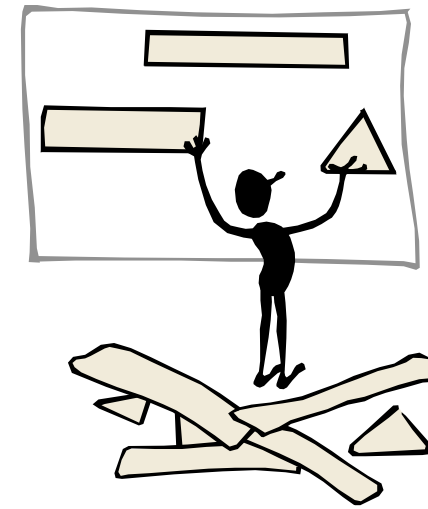




- Kuva: Suomen maakaasuverkosto (Kuvälähde: <http://yle.fi/a/3-12641995>, Huttunen 2022)



Euroopan unionin
osarahoittama



- **Kuva: Gasgridin suunnitelma vetyverkoston reitiksi (Kuvalähde: Gasgrid)**



Euroopan unionin
osarahoittama

- **Kuva: Suunnitelma vedyn siirtoverkoston yhteyksistä Ruotsiin ja Keski-Eurooppaan (kuvalähde: Fingrid).**



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyhankkeista

Saksalainen yhtiö suunnittelee jopa 500 MW:n vetylaitosta Ouluun – tähtää myös Puolustusvoimien vetytankkausasemaksi

Myöhemmissä vaiheissa investointi nousee satoihin miljooniin euroihin.



Investointipäätös edessäpäin. Energiequelle suunnittelee isoa vetykompleksia Ouluun. Havainnekuva. KUVA: ENERGIEQUELLE

EU vauhdittaa vetytalouden kasvua tuotantotuella – Lahden vetyhanke pääsi yhtenä harvoista pottiin kiinni

Euroopan vetypankki on myöntänyt 45 miljoonaa euroa tukea Nordic Ren-Gas Oy:n Lahteen kaavaillemalle, uusiutuvia polttoaineita valmistavalle tuotantolaitokselle.



Ren-Gasin vetylaitos on tarkoitus rakentaa Lahti Energian voimalaitosten kupeeseen. Havainnekuva toukokuulta 2023. Kuva: Ren-Gas oy

Kunnianhimoinen vetyhanke Ruotsissa – 600 MW laitos, tuotantoa 240 tonnia päivässä

Vetylaitosta suunnitellaan Ruotsin Söderhamniin.



Tuulee. Kuvassa on Wäkingen merituulipuisto Itämerellä. KUVA: HANNUBAL HANSCHKE

Helen investoi Helsingin ensimmäiseen vihreän vedyn tuotantolaitokseen

Helen rakentaa Helsingin Vuosaaren vihreän vedyn tuotantolaitoksen. Kysessä on Helsingin ensimmäinen vetyhanke, jonka avulla yhtiö luo tarvittavaa osaamista laajamittaisen vedyn tuotannon tarpeisiin ja lisää koko energiajärjestelmän joustavuutta. Se on samalla ensimmäinen Helsingin rakennettava vihreän vedyn tuotantolaitos.

Puolen miljardin euron vetytehdashanke kymmenine työntekijöineen Nivalaan? Kurunpuhdon teollisuusalue saamassa Nivalan kaikkien aikojen suurimman investoinnin



Alueellinen kehitysyhtiö NIHAK on laatinut Kurunpuhdon vetyhankkeesta alustavan havainnekuvaluonnoksen. Kuvassa näkyvät vetytuotantolaitoksen lisäksi Kurunpuhdon alueelle suunniteltu biokaasulaitos ja aurinkovoimapuisto. Kuva: NIHAK

Utajärven vetyhanke nytkähti eteenpäin – kuntaan tulossa miljardiluokan laitos

Kuntaan vihreän vedyn jalostamohanketta suunnitteleva Vetyalfa kaavaillee rakentavansa alueelle maksimissaan 150 000 tonnia vuodessa vetyä sekä erilaisia synteettisiä polttoaineita valmistavan jalostamon.



Euroopan unionin osarahoittama

Vetyhankkeista – paljon hankkeita, niin joku toteutuu! Realismia, että kaikki ei toteudu

Isoja vihreän vedyn hankkeita perutaan Euroopassa nyt urakalla

Norjalainen Yara sekä saksalainen Uniper ovat peruneet massiivisia vihreän vedyn hankkeita. Vastikään myös Neste Suomessa päätyi samaan ratkaisuun.



Fossiilinen tuotanto jatkuu. Norjalainen lannoitevalmistaja Yara olisi sijoittanut 600 MW vetyelektrolyysin Herøyan-tehtaalle (kuvasa) Porsgrunnin Skagerrakin rannikolle. Nyt hankkeet peruuntuvat. Herøyan-tehdas valmistaa vedystä ammoniakkia. KUVA: WIKIMEDIA COMMONS / "BITJUNGLE" (CC BY-SA)

Neste peruu investoinnin Suomessa

Vetäytymisen syynä ovat yhtiön mukaan haastavat markkinaolosuhteet ja taloudellinen tilanne, jotka edellyttävät uusien investointien kriittistä harkintaa.



Investointi peruttu. Neste vetäytyi heikon markkinan vuoksi vetäytymään.

Teollisuus hautaa isoja vihreän vedyn hankkeita Euroopassa jatkuvaa syöttöä – Ensinnäkin Neste, ja nyt peruuntui 90 000 t/v, 600 MW mammuttitehdas ja 8 000 M€ aikeet: ”Vähäarvoista”

Norjalainen Yara sekä saksalainen Uniper ovat peruneet massiivisia vihreän vedyn hankkeita. Vastikään myös Neste Suomessa päätyi samaan ratkaisuun.

Kokkolaan suunnitellun vetytehtaan aihio etsii ostajaa

Ahvenanmaalainen Flexens hakeutui konkurssiin kesäkuun alussa. Yhtiö suunnitteli Kokkolaan 700 miljoonan euron tehdasta.

Aura Läspä

Konkurssipesä etsii ostajaa

Kokkolaan kaavaillun vetytehtaan osakkeille. Asiasta kertoo Yle.



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyhankkeista

Kokkolaan suunnitellun vetytehtaan aihio etsii ostajaa

Ahvenanmaalainen Flexens hakeutui konkurssiin kesäkuun alussa. Yhtiö suunnitteli Kokkolaan 700 miljoonan euron tehdasta.

Laura Läspä

Konkurssipesä etsii ostajaa

Kokkolaan kaavaillun vetytehtaan osakkeille. Asiasta kertoo Yle.

Meyerin kilpailijalta "maailman ensimmäinen vetykäyttöinen risteilylaiva" – 239 m pitkä ja 6 MW polttokennot

Laivatyyppinä risteilylaivat kuluttavat paljon energiaa, koska sitä kuluu propulsioon lisäksi hotelliin. Nyt vesille lasketussa aluksessa käytetään vetypolttokennojen tukena dieselgeneraattoreita.



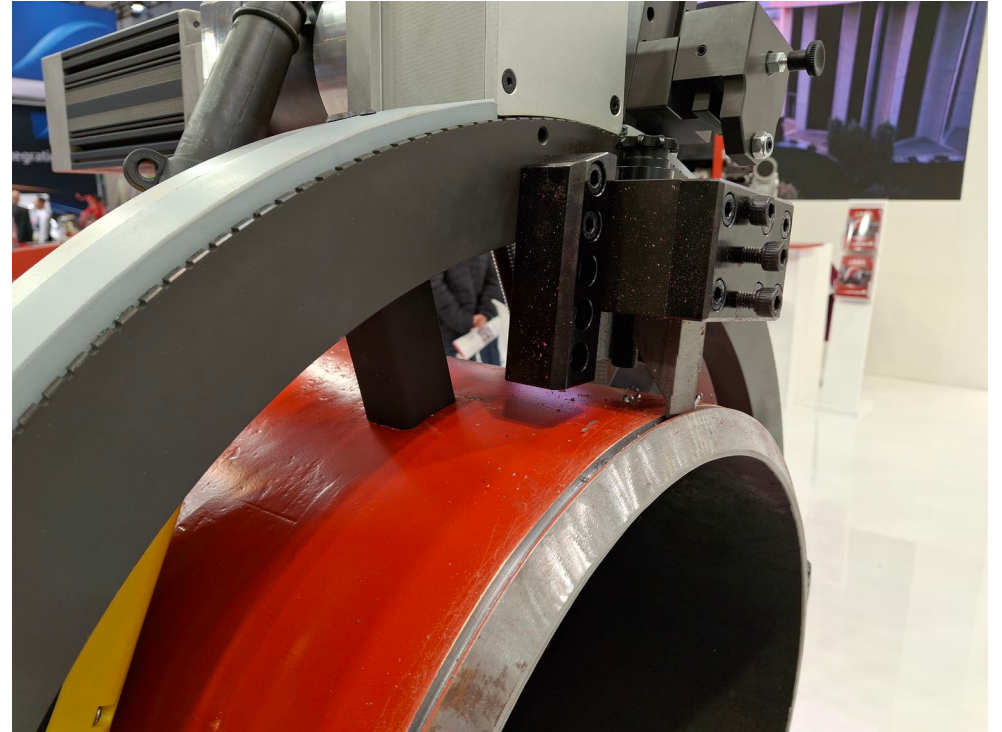
Hybridikäyttöinen. Viking Libra laskettiin vesille Anconan telakalla Italiassa. KUVA: FINCANTIERI



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetytaloudella valtava potentiaali

- **Suomi on** Euroopan kilpailukykyisimpiä alueita puhtaan sähkön tuotantoon ja sen määrästä ei ole niukkuutta.
- Tämä **luo olosuhteet** sähköistämisen lisäksi uusille **sähkönjalostustoimialoille** – esimerkkinä vetytalous.
- **Vetytaloustoimialan kasvu** Suomessa on suuruusluokkaa +2-6 Mrd€ (Vastaa koko metsäteollisuustoimialaa).



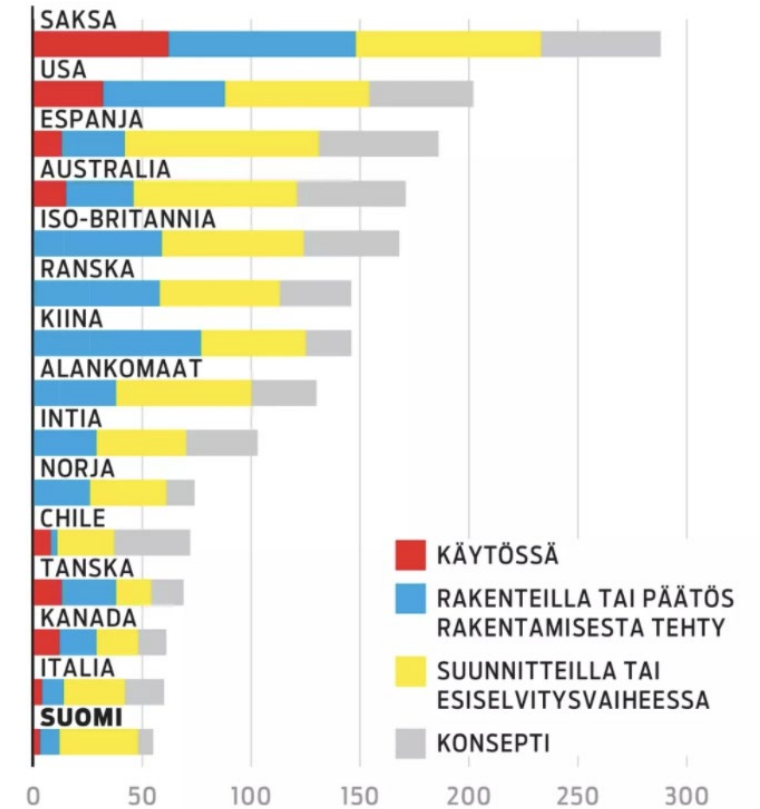
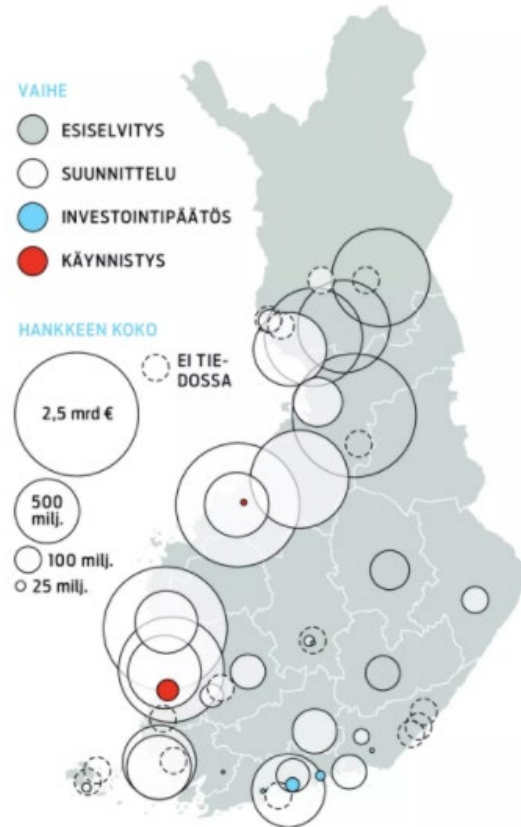
• Lähde: Gasgrid



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyhankkeet Suomessa ja maailmalla

Kaikki eri asteille edenneet suunnitelmat eivät varmasti toteudu, mutta kun on paljon hankkeita ja suunnitelmia, niin jotkut jalostuvat toteutukseen.



Euroopan unionin
osarahoittama

Kuvalähde: APU

Vedyn kuljetus - putkistot

- Määritelmänä **laitosalueen ulkopuoliset** vetyputkistot ovat siirtoputkistoja.
- Vedyn siirtoputkistolle on haettava **rakentamislupa Tukesilta**.
- Vedyn siirtoputkisto **ei kuulu** painelaitedirektiivin (PED) soveltamisalaan.
- **Vedyn siirtoputkiston tarkastaa** ennen käyttöönottoa ja viiden vuoden määrävälein Tukesin hyväksymä kansallinen tarkastuslaitos.



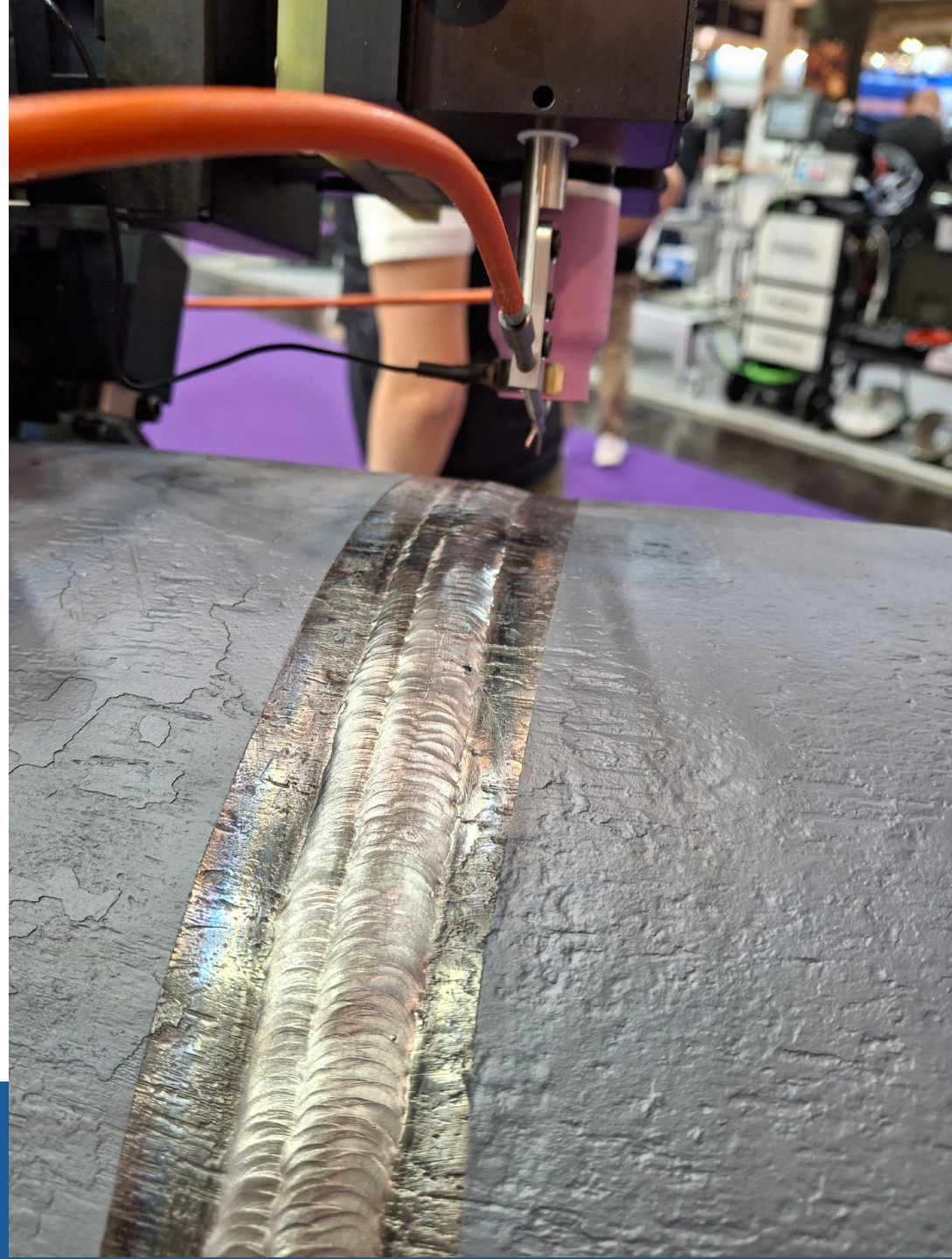
Kuvalähde: Väylävirasto



Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn kuljetus - putkistot

- **Vetyputkistoissa pyritään minimoimaan saumojen määrä**, koska saumat ovat tyypillisimpiä vuotokohtia. Yksittäiset putket valmistetaan ensisijaisesti saumattomina. Joissain tilanteissa saumoja on kuitenkin käytettävä ja yksittäiset putket liitetään toisiinsa hitsaamalla. Vedyn siirtoputkistoissa liitosten tulee olla ensisijaisesti hitsattuja (kierre- ja laippaliitosten sijaan) mahdollisten vuotokohtien minimoimiseksi. Maanalaisissa putkistoissa liitosten tulee olla hitsattuja. Sekä putkiston valmistuksessa että asennuksessa tehdyistä hitsaussaumoista tarkastetaan volumetrisesti (RT/UT) 100 %.



Vedyn kuljetus - Säiliössä

- **Kaasumaista ja nestemäistä vetyä voidaan kuljettaa rekoilla, junilla ja laivoilla.** Kaasumaista vetyä voidaan siirtää ja varastoida kaasumaisena kaasupullokonteissa (MEK-kontti) tai putkiperävaunuissa. **Säiliöiden paine on tyypillisesti 180-640 bar.** Rekkakuljetuksissa perävaunuun lastattavan vedyn määrä riippuu käytettävästä säiliötyypistä. Esimerkiksi kaasupulloja käytettäessä vedyn määrä voi olla 380-900 kg ja putkiperävaunun tyypillinen vedyn kuljetusmäärä on 400 kg. Suuremmat määrät vaativat kevyemmät komposiittisäiliöt. Nestemäisen vedyn kuljetus vaatii kryogeenisen säiliön. Nestemäistä vetyä voidaan siirtää säiliössä kerrallaan 300-4000 kg.

Laiva-, juna- tai maantiekuljetus antaa mahdollisuuksia kuljettaa vetyä sijainnista riippuen vapaammin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuva: Vedyn maantiekuljetuskalustoa
Kuvalähde: Hydrogen Liquefaction | A Linde
Company

Vedyn käyttökohteita

- Energian tuotannossa, jolloin polttokennoissa vedyn kemiallinen energia muutetaan sähköksi ja pieneksi määräksi lämpöä
- Polttoaineena
- Kemiallisissa prosesseissa esimerkiksi ammoniakin ja lannoitteiden valmistuksessa
- Bensiinin ja dieselin valmistuksessa
- Hitsauskaasuna
- Nostekaasuna
- Metallien erottamisprosessissa malmista
- Jäähdytysaineena esimerkiksi subrajohteille



**Tässä vaiheessa muutama sana teräksen
vetyhaurastumisesta!**

- **Vetyhaurastuminen johtuu** metalliseoksen altistumisesta vedylle ja vedyn pääsystä materiaaliin. Vetyhaurastuminen voidaan jakaa sisäiseen vetyhaurastumiseen ja ympäristön aiheuttamaan vetyhaurastumiseen. Sisäinen vetyhaurastuminen tapahtuu, kun vety on jo materiaalin sisällä, kun taas ympäristön aiheuttamassa vetyhaurastumisessa vety on peräisin ympäristöstä.

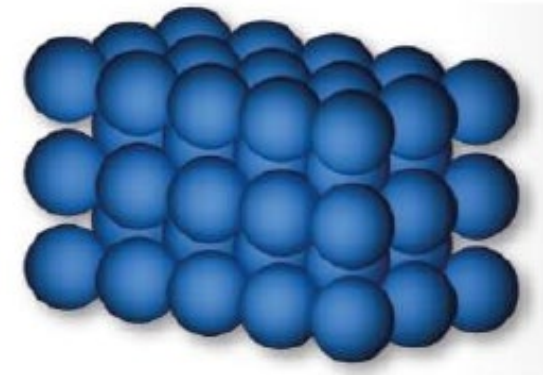


Muutamia peruskäsitteitä

- **Molekyyli** koostuu vähintään kahdesta atomista, jotka ovat kemiallisesti sitoutuneen toisiinsa.
- **Vetyatomi (H)** on yksi protoni ja yksi elektroni. Tämä on *atomaarinen vety*. Ei siis molekyyli.
- **Vetymolekyyli (H₂)** on kaksi vetyatomia sitoutuneen yhteen. Tämä on tavallinen vedyn esiintymismuoto luonnossa. Voidaan käyttää myös termiä *kaksiatominen vetymolekyyli* tai yksikertaisesti *molekyylinen vety*.
- ...eli atomaarinen vety on yksittäinen vetyatomi, ei yksimolekyylinen.



- **Diffuusio eli aineen siirtyminen**
- **Diffuusio on ilmiö**, jossa kemiallinen ympäristö tasaa koostumuksia, esim. kaasut ja nesteet sekoittuvat homogeenisiksi. **Metallurgiassa diffuusiolla tarkoitetaan kiinteän aineen sisällä tapahtuvaa atomien liikkumista.**
- Kiinteässä aineessa tapahtuva diffuusio on mahdollinen atomien lämpöliikkeen vuoksi, varsinkin pienet välisija atomit pystyvät liikkumaan metallin hilassa sitä paremmin mitä korkeampi on lämpötila.
- Diffuusion suuntaan vaikuttaa moni tekijä, esim. vety diffundoituu teräksen sisään ja myös ulos, olosuhteista riippuen – Käytännössä vety menee materiaalista läpi.



- Vety H_2 absorboituu metallin pinnalla, eli pieni
- määrä putkessa kulkevaa vetyä hajoantuu
- atomaariseksi vetyatomeiksi (H). Tällä atomilla
- on pieni koko ja se tunkeutuu metallin sisään



- Dissosioituminen $H_2 \rightarrow 2H$ " = H ja H "



- Metallin sisällä atomaarinen vetyatomi (H) "kohtaa"
- toisen atomaarisen vetyatomin, jolloin ne diffuusioituvat
- uudelleen vetymolekyyliksi (H_2). Diffuusion seurauksena
- sen tilavuus "monisatakertaistuu" ja metallin sisäinen
- paine ylittää myötörajan, aiheuttaen halkeaman.

Absorboituminen on fysiikassa ja kemiassa käytettävä termi, joka viittaa prosessiin, jossa aine tai energia imeytyy toiseen aineeseen.

Dissosiaatio on molekyylin hajoaminen kahdeksi tai useammaksi molekyyliksi tai atomiksi.

Diffuusio metallurgiassa tarkoittaa, että metalliseosten faasimuutoksiin liittyy seosatomien liikettä faasirajan yli ympäröivästä matriisista syntyvään faasiin diffuusion avulla.

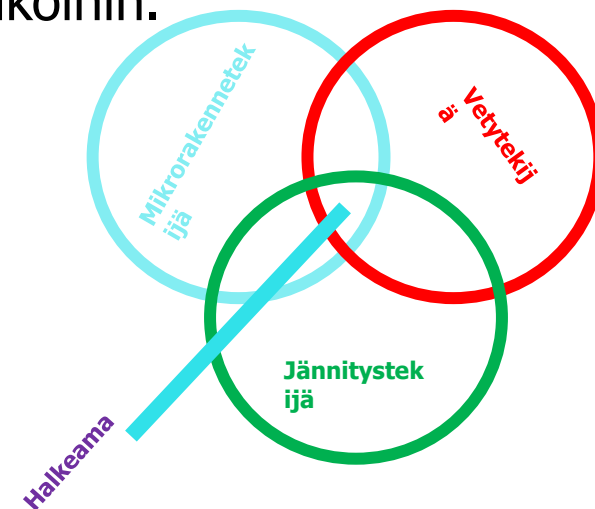


Atomaarinen vetyatomi (H) tunkeutuu teräksen **kiderakenteeseen**, pienen atomisäteen vuoksi. Vety heikentää teräksen mekaanisia ominaisuuksia, eli lujuutta. Tunkeutumista edistää suuri paine.

Erityisesti diffundoitumista tapahtuu metallin sisäisiin vikoihin, hilavikoihin.

Vetyhaurasmurtuma **vaatii toteutuakseen** kolme samanaikaista tekijää:

1. **Vetojännitystilä** putken seinämässä tai paineastian kuoressa.
2. **Vetyä sisältävä ympäristö**
3. **Vedylle altis materiaali** (mm. suurilujuuksiset teräkset)



Teräksen kiderakenteeseen tunkeutuneen vedyn pitoisuuden vaikutusta teräsmateriaalin vetyhaurauteen ei täysin tunneta ja sitä tutkitaan jatkuvasti lisää



Vetyloukuista

Vety saattaa jäädä "loukkuun" materiaalin epäjatkuvuuskohtiin, kuten dislokaatioihin, raerajoille, hilan epäsäännöllisyyksiin, huokosiin ja erkaumiin. Nämä vetykerääntymät edesauttavat vedyn aiheuttamien vaurioiden, kuten vetyhaurauden ja vetyrakkuloiden syntymistä.



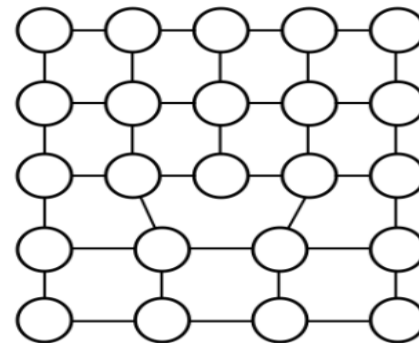
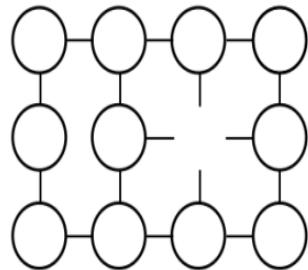
Kuvassa vedyn mahdollisia sitoutumiskohtia teräksessä



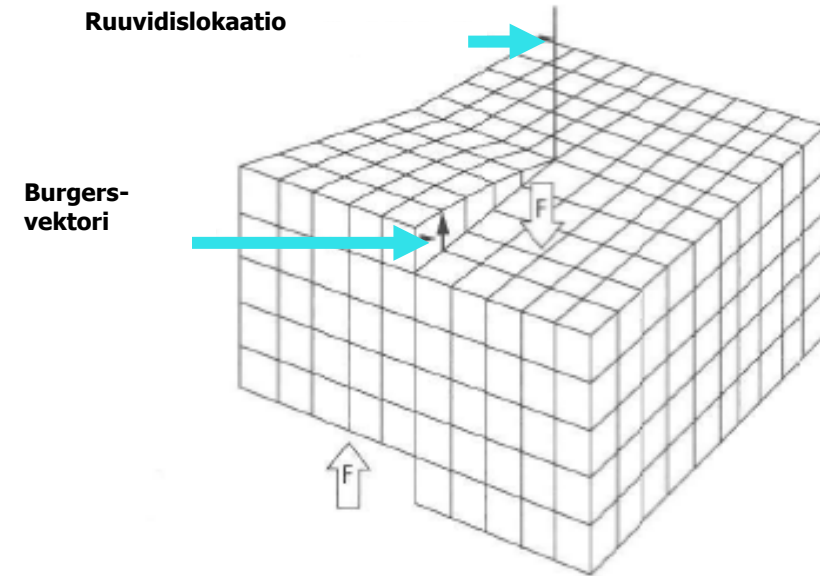
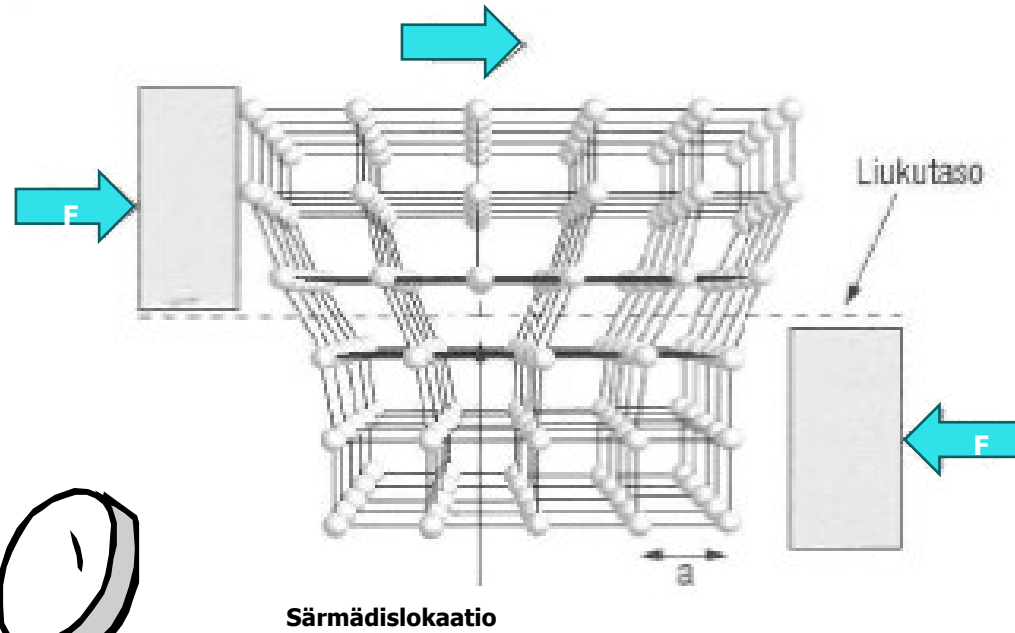
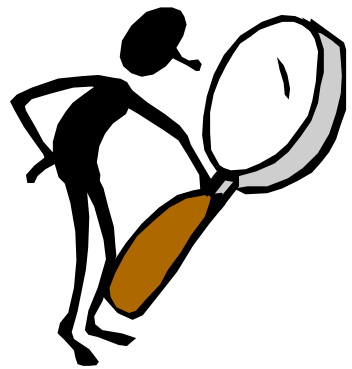
**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvalähde (referoitu): Djukic, M., Bakic, G., Sijacki, Z., Sedmak, A. & Rajicic, B. 2019. The synergistic action and interplay of hydrogen embrittlement mechanisms in steels and iron: Localized plasticity and decohesion. Engineering fracture mechanics. Vol. 216. s. 1-33- ISSN: 0013-7944.

- **Teräksen** tai yleensä metallin muodostavat **atomit ovat järjestäytyneet kolmiulotteisesti**. Eri tavalla muodostuneita atomeja kutsutaan hilarakenteiksi. Hilarakenteella on keskeinen merkitys metallin mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten myötö- ja murtolujuuteen, murtovenymään sekä iskusitkeyteen.
- Metalli käyttäytyy kuten hilarakenne olisi kolmiulotteinen ja säännöllinen. Hilarakenteesta löytyy kuitenkin säännöllisestä rakenteesta poikkeavia kohtia, eli hilavikoja.
- Hilavikoja ovat mm. **vakanssit**, eli tyhjät tilat, jolloin säännöllisestä rakenteesta puuttuu atomi (kuvassa vasemmalla) tai **dislokaatiot**, jolloin säännöllisestä rakenteesta puuttuu kokonainen atomitaso (kuvassa oikealla).

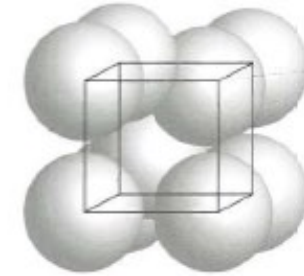
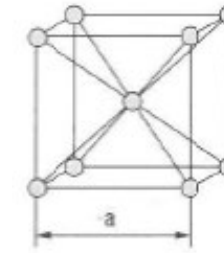


- Dislokaatioista

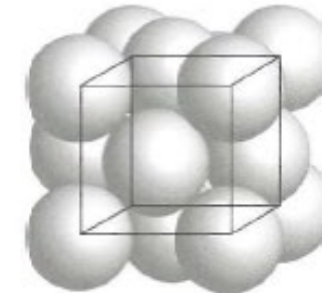
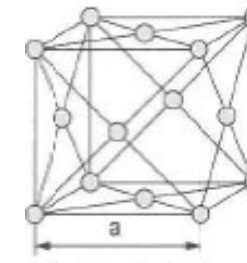


- **Hilarakenteista**
- **Atomien järjestystä** kiteen sisällä kuvataan ns. kidehilan avulla.
- **Hila on** ikään kuin kolmiulotteinen **geometrinen kuvaus** siitä, miten atomit sijoittuvat. Atomien järjestäytymiseen rakenteeseen määritellään hila ns. yksikkökopin avulla. Samanlaisia yksikkökoppeja pinoamalla saadaan aikaan kokonainen rae.
- **Teoreettisia yksikkökoppeja** on 14 erilaista, mutta kaupalliset metallit ovat yleensä "tkk", "pkk" tai "htp."

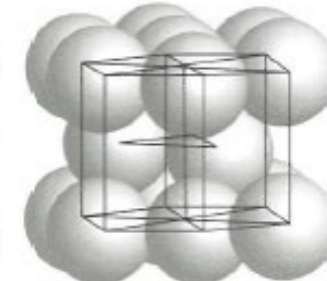
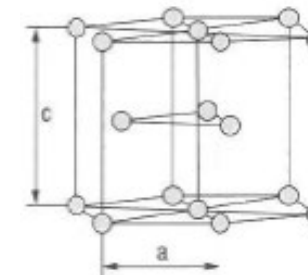
tkk: Tilakeskinen kuutiohilarakenne



pkk: Pintakeskinen kuutiohilarakenne

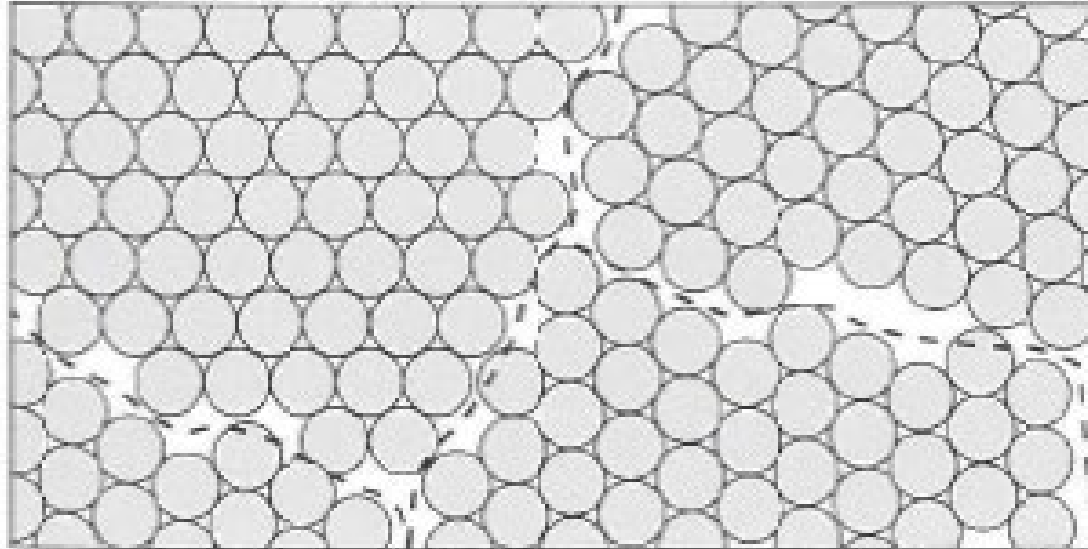


htp: Heksagooninen tiivispakkaushila



- Vakanssit edesauttavat atomien diffuusiota metallissa. Vety pystyy diffuusioitumaan teräkseen vakanssien, dislokaatioiden ja teräksen hilarakenteen ansiosta.
- **Metallin tiedetään olevan kiteinen materiaali** jähmeässä muodossa. Käytetään myös nimitystä "jähmeä liuos," mikä kuvaa ehkä paremmin materiaalin sisällä tapahtuvia hitaita kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia. Metallin kiteitä voidaan kutsua myös rakeiksi. Rakeiden välissä on rakeita yhdistäviä raerajoja. Raekokoa muokkaamalla, esimerkiksi termomekaanisin menetelmin, voidaan vaikuttaa metallin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen sitkeyteen ja kovuuteen (vrt. esimerkiksi hienoraeteräs).
- Hilaviat siis vaikuttavat voimakkaasti vetyhaurastumiseen, joten voidaan olettaa myös raekoon ja raerajojen vaikuttavan ominaisuuksiin.
- **Vety vaikuttaa teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin**, mutta ihan yhtenäistä "mielipidettä vedyn tarkasta vaikutusmekanismista teräksen haurastumiseen ei ole. Vedyn diffuusioitumiseen teräkseen vaikuttaa useat tekijät, kuten olosuhteet yms.

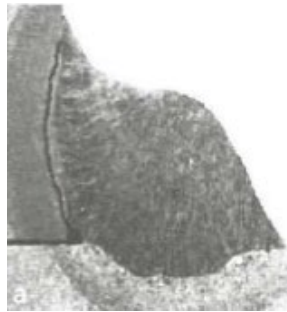




- Raerajoilla hilojen pinoamisjärjestys muuttuu. (kuvalähde: Leinonen 2008)



- **Viivästynyt murtumailmiö** johtuu osan sisällä olevasta vedystä diffuusiosta kerättyihin jännityskeskittymäosiin, metallivirheiden jännityskeskittymisosiin (vakansseihin, dislokaatioihin ja muihin hilavikoihin). Kun vety diffundoituu näihin virheisiin, **vetyatomit muuttuvat vetymolekyyleiksi**, jolloin syntyy valtava paine. Tämä paine yhdessä materiaalin sisällä olevan jäännösjännityksen ja materiaaliin kohdistuvan jännityksen kanssa muodostaa yhteisvoiman, joka ylittäessä materiaalin myötörajan aiheuttaa murtumisen. Koska vetyhaurastuminen liittyy vetyatomien diffuusioon, diffuusio vie aikaa ja diffuusionopeus liittyy pitoisuusgradienttiin, lämpötilaan ja materiaalityyppiin. Siksi vetyhaurastuminen ilmenee yleensä viivästyneenä murtumana.



Vetyhalkeama hitsausliitoksen
muutosvyöhykkeellä



Vetyhalkeama hitsausliitoksessa





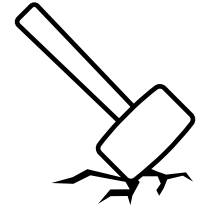
- **Kuva: Murtuma etenee raerajoja pitkin**

(Kuvalähde: <https://fi.lksteelpipe.com/news/metal-hydrogen-embrittlement-causes-and-soluti-67880899.html>)



Euroopan unionin
osarahoittama

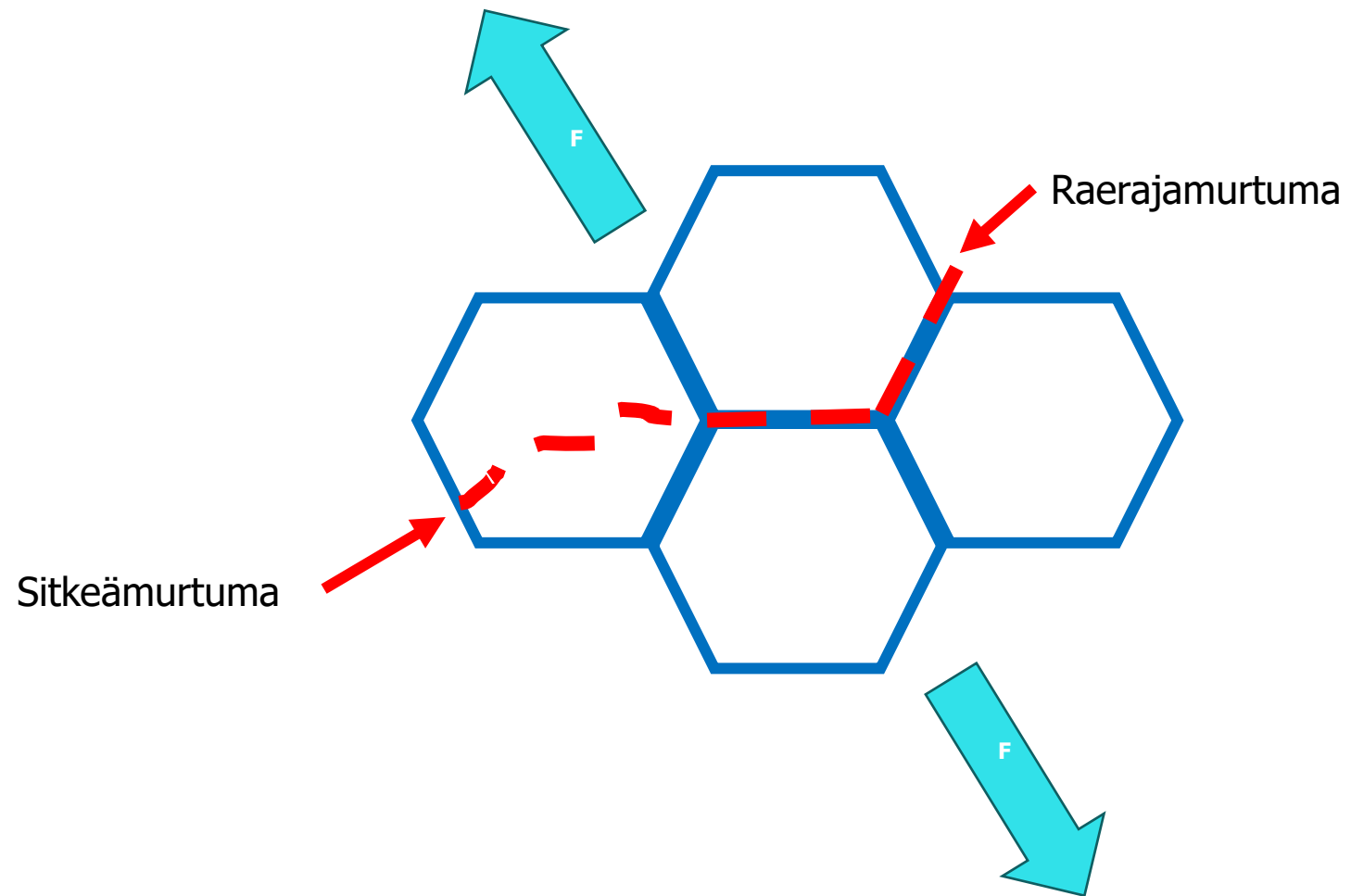
Muutama sana murtumismekanismista!

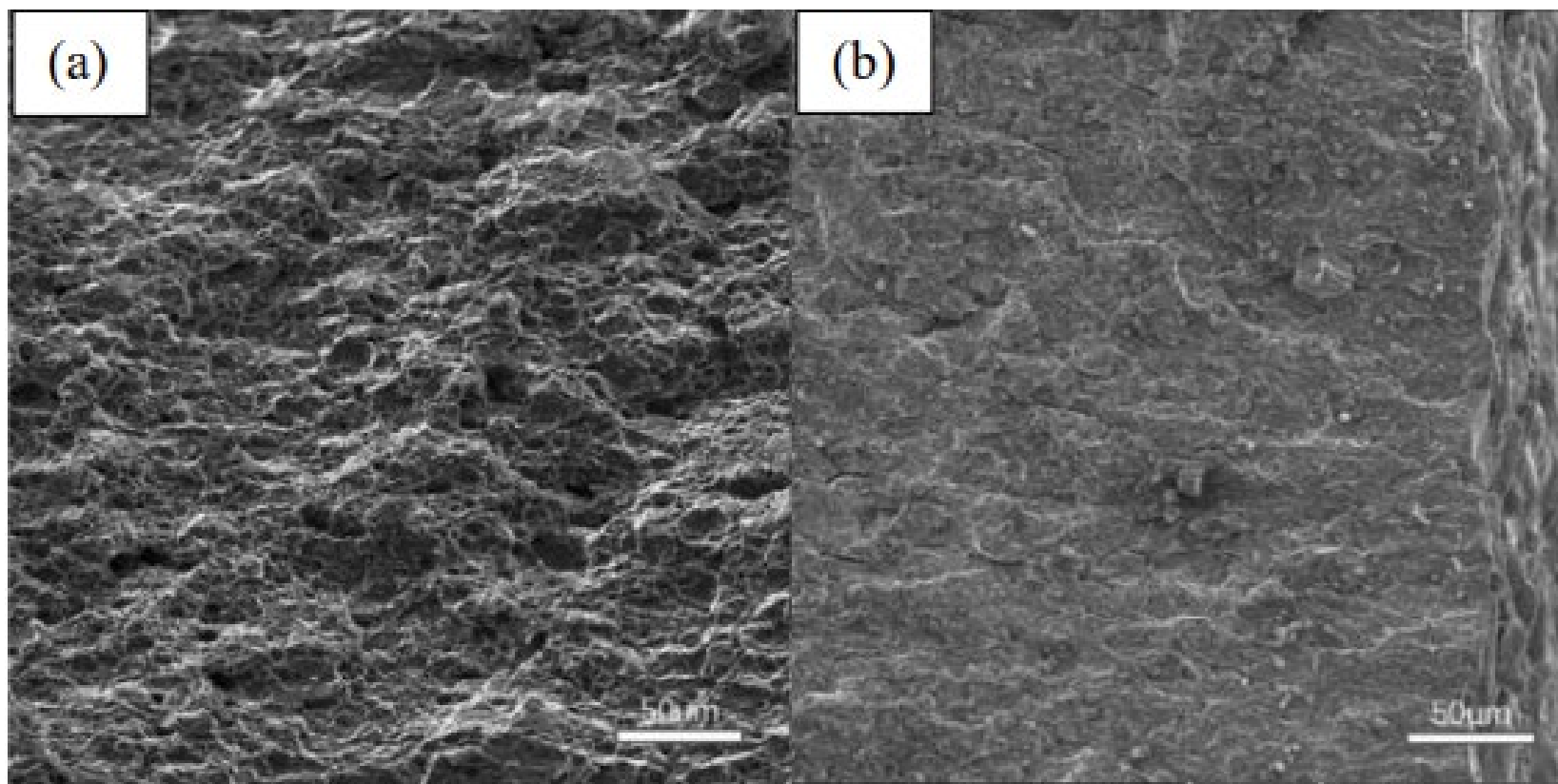


Hitsauksen yhteydessä lisää

- Metallien ja metalliseosten **murtuminen on** olosuhteista riippuen tyypiltään joko **sitkeä** tai **hauras**. Metallin murtumiskäyttäytymistä kuvaa sen iskusitkeys, joka määritetään lovetulle koesauvalle iskukokeessa.
- Haurasmurtuma on usein **lohkomurtumaksi** kutsuttua tyyppiä, kun murtuma etenee tiettyjä hilatasoja pitkin kiteiden lävitse. Haurasmurtuma voi edetä myös raerajoilla, jos näillä esiintyy haurastavia faaseja. Lohkomurtuma etenee hauraassa metallissa jopa äänennopeudella.
- Ferriittisillä [ruostumattomilla teräksillä](#) korkea kromipitoisuus lisää lohkomurtumataipumusta. Transitiolämpötila voi nousta huoneenlämpötilaan asti, kun kromipitoisuus ylittää 20%.



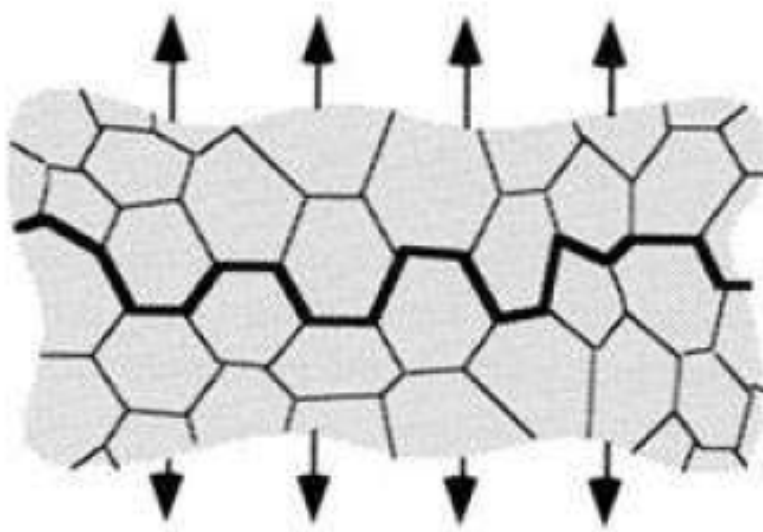




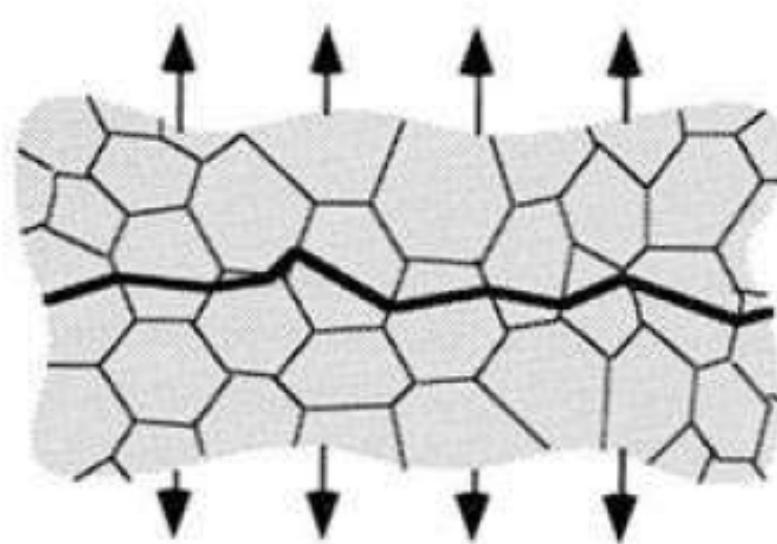
- **Kuva: Erään teräksen (X80) murtopinta (kuvalähde: Zhou C. ym 2019)**
 - a. ilman vetyä**
 - b. sisäisen ja ulkoisen vedyn kanssa**



Murtumismekanismista



Raerajamurtuma (Intergraniular)



Lohkomurtuma (Transgranular)



Yhteenvetona - Vetyfaktaa

- - Ei-myrkyllinen, hajuton ja väritön, ilmaa kevyempi kaasu
- - Vety on **14 kertaa ilmaa kevyempi**, 6 kertaa kevyempi kuin maakaasu
- - Vedyn **molekyylikoko on pieni**, joten tunkeutuu muiden materiaalien sisään
- - Vedyllä **palamisnopeus** on suurilla pitoisuuksilla suurempi maakaasuun verrattuna; huomioitava vuototilanteissa ja turvaetäisyyksissä
- - Vedyn siirto, tuotanto ja käyttö **isossa mittakaavassa on uutta**, ja myös käytettävät uudet vedyn teknologiat ovat uusia
- - **Vedyn siirtoinfrastruktuuri** vaatii korkeapaineista maanalaista putkistoa, jolla siirretään vetyä pitkiä matkoja
- - **Matalapaineisempaa vedyn jakeluverkkoa** alueellisesti tai paikallisesti esimerkiksi teollisuuden läheisyyteen



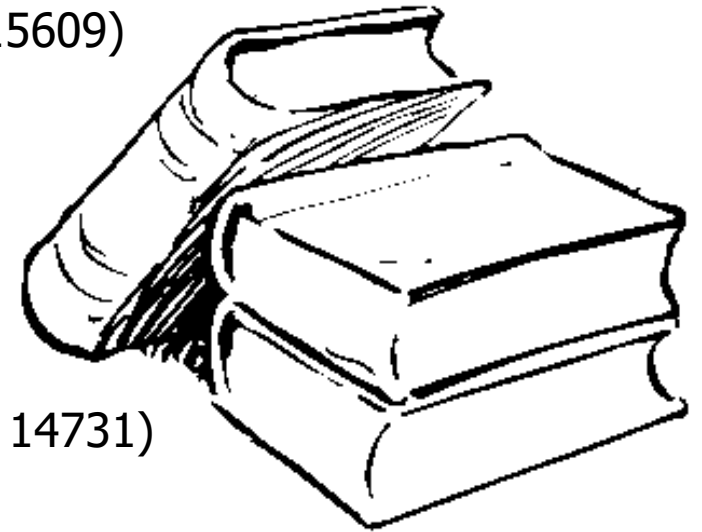
Euroopan unionin
osarahoittama

Vetysäiliöissä ja -putkissa vaadittava Hitsauksen laatu koostuu monesta tekijästä

Lähtökohtaisesti hitsi tehdään hitsaamalla, ei tarkastamalla, eikä standardeilla, mutta

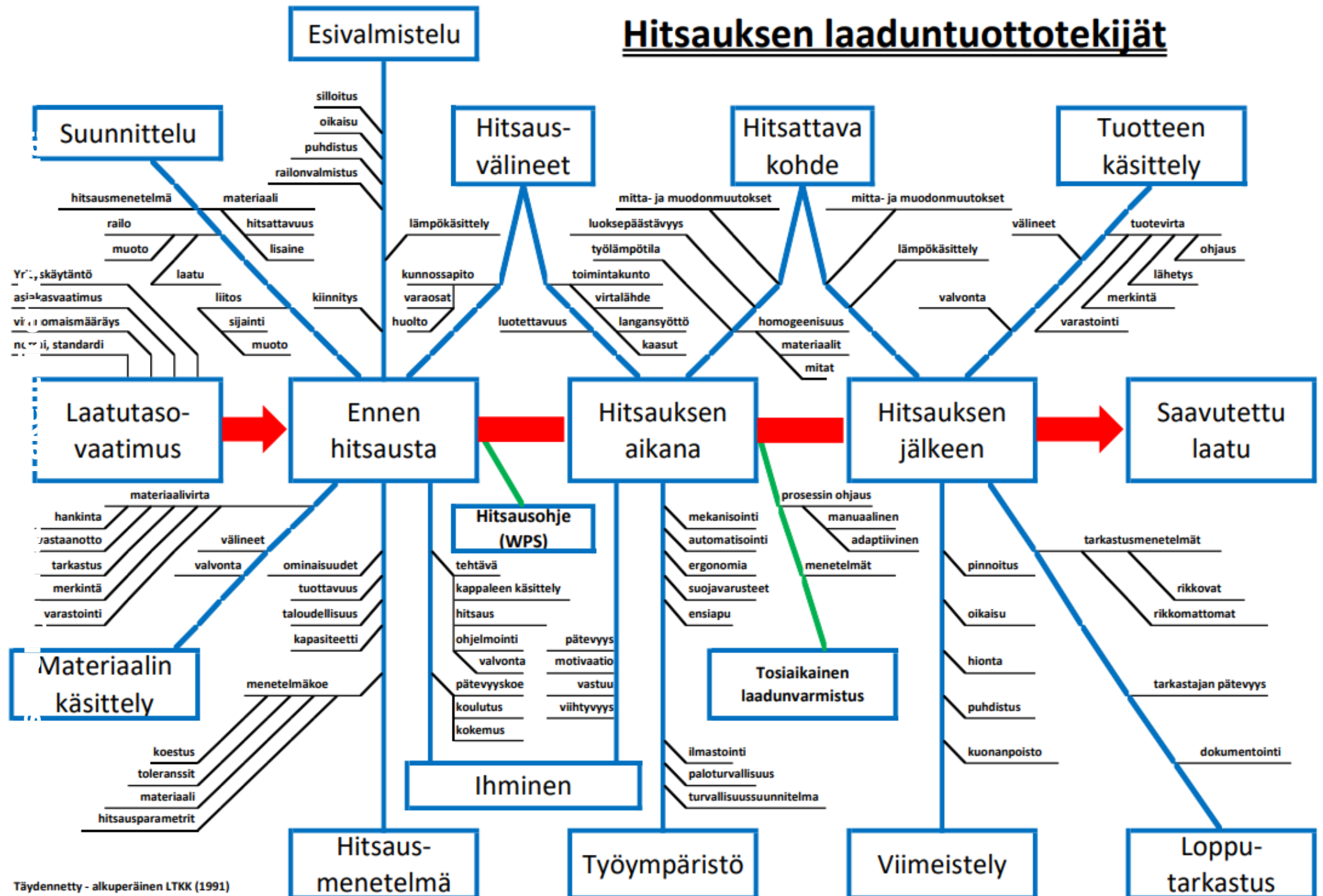
kuitenkin....käyttämällä päteviä ja standardin mukaan **pätevöitettyjä hitsaajia** (SFS-EN ISO 9606)

- käyttämällä standardin mukaan **hyväksytyjä hitsausohjeita** (SFS-EN ISO 15609)
- tekemällä työkokeita
- **täyttämällä** standardin mukaiset **laatuvaatimukset** (SFS-EN ISO 3834)
- **nimeämällä** riittävän osaamisen omaavia **hitsauskoordinoijia** (SFS-EN ISO 14731)



Yleiset hitsauksen laaduntuottotekijät ja niistä tulevat vaatimukset koskevat myös vetysäiliöiden,

Hitsauksen laaduntuottotekijät

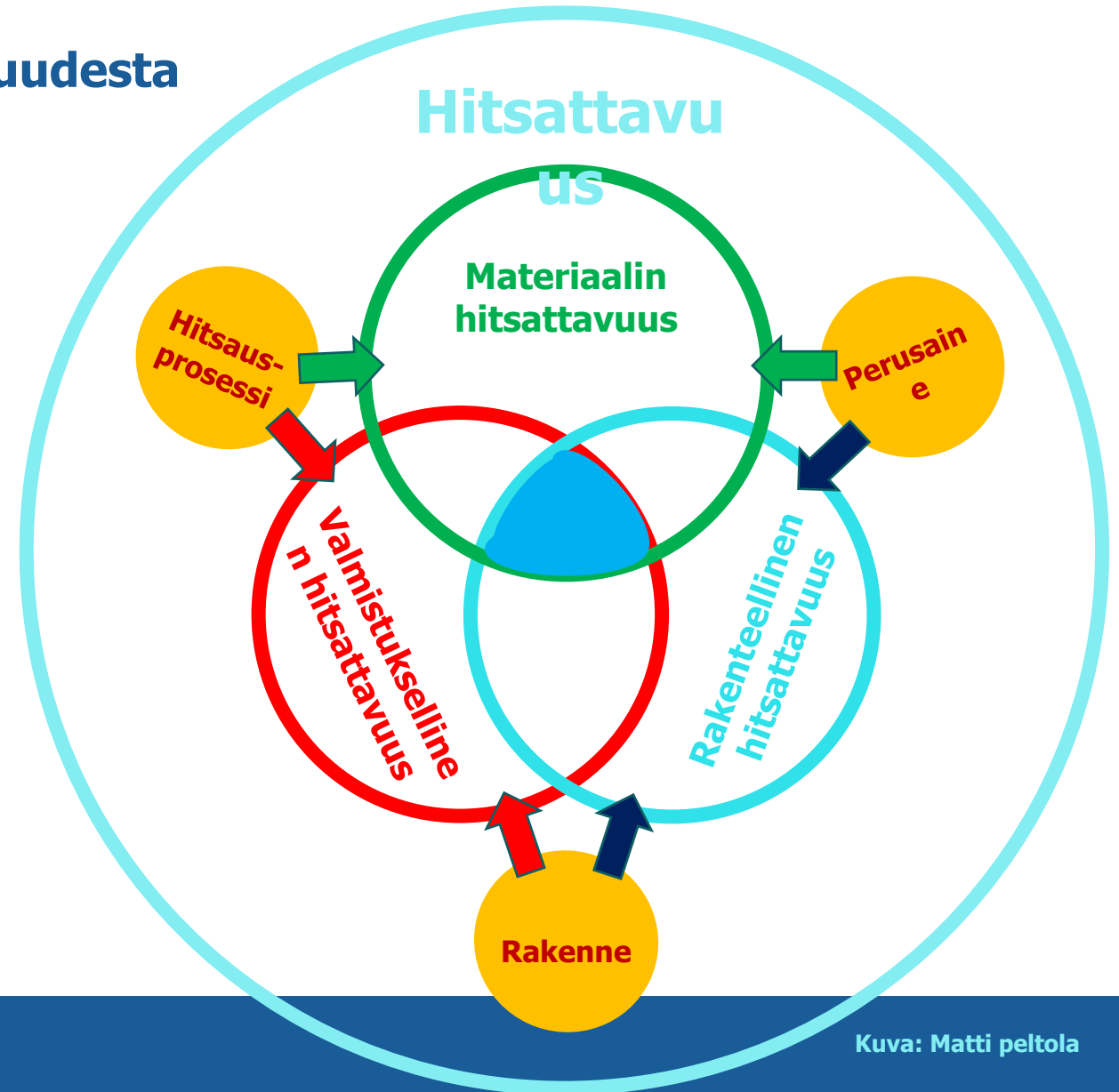


Vetyputket ja säiliöt – Yleistä hitsattavuudesta

Hitsattavuus voidaan kuvata kolmella osa-alueella, joiden kaikkien on toteuduttava, jotta saadaan aikaan vaatimusten mukainen hitsausliitos.

- **Materiaalin** hitsattavuus
- **Valmistuksellinen** hitsattavuus
- **Rakenteellinen** hitsattavuus

Nämä kolme vaatimusta voivat edelleen jakaantua pienempiin osiin, joista hitsattavuuden osa-alueen kokonaisuus muodostuu. Osittain nämä pienemmät osa-alueet voivat vaikuttaa useampaan hitsattavuuden pääalueeseen.



Vetyputket ja säiliöt – Yleistä hitsattavuudesta

Hitsattavuus on kokonaisuus rakenteelle asetetuista vaatimuksista, perusaineen ominaisuudet ja valmistuksen asettamat vaatimukset ja rajoitukset.

Hitsattavuuden voidaan sanoa olevan sitä parempi, mitä vapaammin voidaan valita käytettävä hitsausmenetelmä, mitä vähemmän joudutaan esivalmistelemaan tai tekemään erilaisia jälkikäsittelytoimenpiteitä.

Rakenteelliseen hitsattavuuteen

vaikuttaa rakenteen muodot, ”luoksepäästävyys,” rakenteelle käytössä tulevat erilaiset kuormitustapaukset, hitsausliitosten sijainti ja aineenvahvuudet.

Perusaineen hitsattavuuteen

vaikuttaa hitsattavan perusaineen kemiallinen koostumus, metallurgiset ja fysikaaliset ominaisuudet.

Valmistukselliseen hitsattavuuteen

vaikuttaa hitsauksen esivalmistelu, hitsausmenetelmä ja hitsauksen jälkikäsittelytoimenpiteet.



Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu

Laatuvaatimusten valinta laatuvaatimusten

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS STANDARDI **SFS-EN ISO 3834-1**
Teknologia- ja Metalliteollisuus ry, Standardisointi
Technology Industries of Finland, Standardisation
Vahvistettu 2006-02-13 1 (1 + 17)
COPYRIGHT © SFS. OSAITÄNENKIN JULKAISEMINEN TAI KOPIOINTISALLITTU VAIN SFS:N LUVALLA. TÄTÄ JULKAISUA MYÖ SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS ICS 25.180.01

Korvaa standardin SFS-EN 729-1:1995 Replaces the standard SFS-EN 729-1:1995
Ristiriitatapauksissa pätee englanninkielinen teksti In case of interpretation disputes the English text applies

METALLIEN SULAHITSAUKSEN LAATUVAATIMUKSET.
OSA 1: LAATUVAATIMUSTASON VALINTAPERUSTEET
Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 3834-1:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements (ISO 3834-1:2005)" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.

Eurooppalainen standardi EN ISO 3834-1:2005 on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 3834-1:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements (ISO 3834-1:2005)".

The standard also contains a Finnish translation of the English text.

The European Standard EN ISO 3834-1:2005 has the status of a Finnish national standard.

SFS SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO
P.O. Box 116, 00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Puh. (09) 149 9331, Faksi (09) 146 4914
Sähköposti: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION
P.O. Box 116, FI-00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Tel. +358 9 149 9331, Fax +358 9 146 4914
E-mail: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

Laatuvaatimukset

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS STANDARDI **SFS-EN ISO 3834-2**
Teknologia- ja Metalliteollisuus ry, Standardisointi
Technology Industries of Finland, Standardisation
Vahvistettu 2006-02-13 1 (1 + 23)
COPYRIGHT © SFS. OSAITÄNENKIN JULKAISEMINEN TAI KOPIOINTISALLITTU VAIN SFS:N LUVALLA. TÄTÄ JULKAISUA MYÖ SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS ICS 25.180.01

Korvaa standardin SFS-EN 729-2:1995 Replaces the standard SFS-EN 729-2:1995
Ristiriitatapauksissa pätee englanninkielinen teksti In case of interpretation disputes the English text applies

METALLIEN SULAHITSAUKSEN LAATUVAATIMUKSET.
OSA 2: KATTAVAT LAATUVAATIMUKSET
Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 2: Comprehensive quality requirements

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 3834-2:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 2: Comprehensive quality requirements (ISO 3834-2:2005)" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.

Eurooppalainen standardi EN ISO 3834-2:2005 on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 3834-2:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 2: Comprehensive quality requirements (ISO 3834-2:2005)".

The standard also contains a Finnish translation of the English text.

The European Standard EN ISO 3834-2:2005 has the status of a Finnish national standard.

SFS SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO
P.O. Box 116, 00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Puh. (09) 149 9331, Faksi (09) 146 4914
Sähköposti: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION
P.O. Box 116, FI-00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Tel. +358 9 149 9331, Fax +358 9 146 4914
E-mail: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

Asiakirjat

osoittamiseksi

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS STANDARDI **SFS-EN ISO 3834-3**
Metalliteollisuuden Standardisoitustyöryhmä
Mechanical Engineering and Metals Industry Standardisation in Finland
Vahvistettu 2006-02-13 1 (1 + 19)
COPYRIGHT © SFS. OSAITÄNENKIN JULKAISEMINEN TAI KOPIOINTISALLITTU VAIN SFS:N LUVALLA. TÄTÄ JULKAISUA MYÖ SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS ICS 25.180.01

Korjattu 2006-06-13
Ristiriitatapauksissa pätee englanninkielinen teksti In case of interpretation disputes the English text applies

METALLIEN SULAHITSAUKSEN LAATUVAATIMUKSET.
OSA 3: TÄRVIKKEET ASIAKIRJAT STANDARDIEN ISO 3834-2, ISO 3834-3 JA ISO 3834-4 MUKAISTEN VAATIMUSTEN OSAITÄMISEKSI
Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 3: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 3834-3:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 3: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4" ja sen teknisen korjauksen 1 (2007-08-01) englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.

Eurooppalainen standardi EN ISO 3834-3:2005 on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 3834-3:2005 "Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 3: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4" and its Technical corrigendum 1 (2007-08-01).

The standard also contains a Finnish translation of the English text.

The European Standard EN ISO 3834-3:2005 has the status of a Finnish national standard.

SFS SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO
P.O. Box 116, 00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Puh. (09) 149 9331, Faksi (09) 146 4914
Sähköposti: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION
P.O. Box 116, FI-00241 HELSINKI (MAASTAINTOPORTTI 2)
Tel. +358 9 149 9331, Fax +358 9 146 4914
E-mail: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyputket ja säiliöt – laatuvaatimusten valinta

Nro	Kohde	ISO 3834-2 (kattavat)	ISO 3834-3 (vakio)	ISO 3834-4 (perus)
1	Vaatimusten katselmus	Katselmus vaaditaan		
		Pöytäkirja vaaditaan	Pöytäkirja saatetaan vaatia	Pöytäkirjaa ei vaadita
2	Tekninen katselmus	Katselmus vaaditaan		
		Pöytäkirja vaaditaan	Pöytäkirja saatetaan vaatia	Pöytäkirjaa ei vaadita
3	Alihankinta	Käsitellään kuten valmistaja tietyille alihankitulle tuotteelle, palvelulle ja/tai toiminnalle. Lopullinen vastuu jää kuitenkin valmistajalle.		
4	Hitsaajat ja hitsausoperaattorit	Pätevöintiä vaaditaan		
5	Hitsauskoordinoija	Vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
6	Tarkastushenkilöstö	Pätevöintiä vaaditaan		
7	Tuotanto- ja testauskalusto	Sopivaa ja käytettävissä vaatimusten mukaisesti esivalmistukselle, prosessin tuoteuttamiselle, testaukselle, kuljetukselle ja nostotehtäville yhdessä turvalaitteiden ja suojavaatetuksen kanssa.		
8	Laitteiden huolto	Vaaditaan tuotteen vaatimuksenmukaisuuden saavuttamiseksi ja ylläpitoon		Ei erityisiä vaatimuksia
		Dokumentoidut suunnitelmat ja raportteja vaaditaan	Raportteja suositellaan	
9	Laitteiden kuvaus	Luettelo vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
10	Tuotantosuunnitelma	Vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
		Dokumentoidut suunnitelmat ja raportteja vaaditaan	Dokumentoidut suunnitelmat ja raportteja suositellaan	
11	Hitsausohjeet	Vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
12	Hitsausohjeiden hyväksyntä	Vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
13	Hitsausaineiden eräkohtainen testaus	Jos vaaditaan	Ei erityisiä vaatimuksia	
14	Hitsausaineiden varastointi ja käsittely	Vaaditaan lisäainetoimittajan suosituksen mukaiset menettelyt		Lisäainetoimittajan suositusten mukaisesti
15	Perusaineiden varastointi	Vaaditaan suojausta ympäristön vaikutukselta ja tunnistettavuuden tulee säilyä.		Ei erityisiä vaatimuksia
16	Hitsauksen jälkilämpökäsittely	Varmistetaan, että tuotestandardin tai spesifikaation vaatimukset on täytetty		Ei erityisiä vaatimuksia
		Vaaditaan ohje ja pöytäkirja sekä pöytäkirjan jäljitettävyyden tuotteeseen	Vaaditaan ohje ja pöytäkirja	
17	Tarkastus ja testaus ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen	Vaaditaan		Jos vaaditaan
18	Poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet	Ohjaustoimenpiteitä sovelletaan		Ohjaustoimenpiteitä sovelletaan
		Vaaditaan menettelyohjetta korjaamiseen ja/tai oikaisemiseen		
19	Ympäristö- ja testauslaitteiden kalibrointi ja kelpuus	Vaaditaan	Jos vaaditaan	Ei erityisiä vaatimuksia
20	Tuotannon ja testauksen jäljitettävyys	Jos vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
21	Jäljitettävyys	Jos vaaditaan		Ei erityisiä vaatimuksia
22	Laatuasiakirjat	Jos vaaditaan		

Vetyputket ja säiliöt – ISO 3834 Laadunhallintajärjestelmäksi

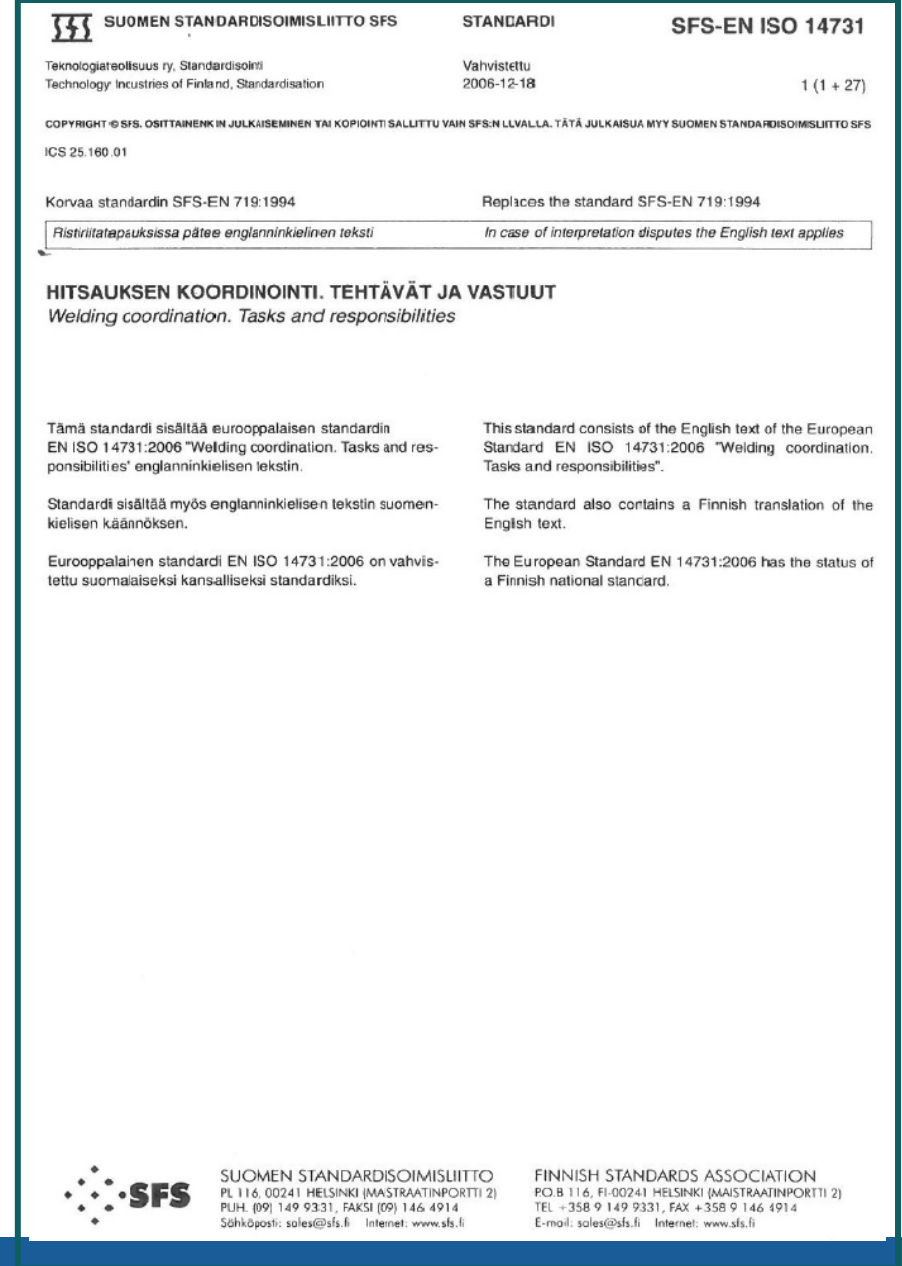
Huomioitavaa, jos halutaan ISO 3834 laadunhallintajärjestelmäksi (viittauksia standardista ISO 9001)

- a. Asiakirjojen ja tallenteiden ohjaus
 - b. Johdon vastuu
 - c. Resurssien varaaminen
 - d. Henkilöiden pätevyys, tietoisuus ja koulutus
 - e. Tuotteen toimittamisen suunnittelu
 - f. Tuotteeseen liittyvien vaatimusten määrittäminen
 - g. Tuotteeseen liittyvien vaatimusten katselmuks
 - h. Ostotoiminta
 - i. Tuotannon toteuttamisen kelpoisuus
 - j. Asiakkaan omaisuus
 - k. Sisäinen auditointi
 - l. Tuotteen seuranta ja mittaus
- Standardi ISO 9004 antaa ohjeet laadunhallintajärjestelmän kehittämiseksi ja käyttöön otolle.



Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen koordinointi

- **ISO 3834-2 määrittää hitsauksen koordinoitihenkilöstöstä,** että valmistajalla tulee olla käytettävissä riittävä hitsauksen koordinoitihenkilöstö. Henkilöillä, joilla on vastuu laatutoiminnoista, pitää olla riittävät valtuudet, jotta kaikki tarpeelliset toimenpiteet voidaan suorittaa. Tällaisten henkilöiden tehtävät ja vastuurajat pitää määrittää selvästi.
- **Hitsauksen koordinoinnin tehtävät ja vastuut on määriteltä SFS-EN ISO 14731 –standardissa:** *”Hitsaus on erityisprosessi, joka vaatii hitsaustoimintojen koordinoitua, jotta hitsaustuotanto olisi luotettavaa ja käyttö turvallista. Henkilöille, jotka toimivat hitsaukseen liittyvissä tehtävissä. Pitäisi selkeästi määritellä tehtävät ja vastuut (SFS-EN ISO 14731).”*

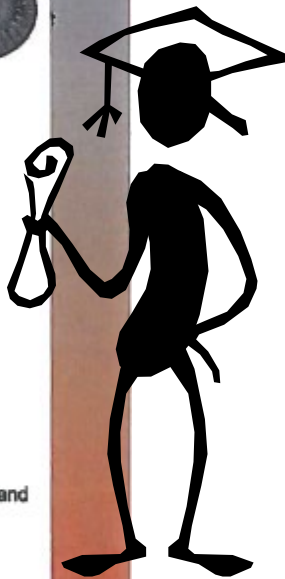


Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen koordinointi

- **SFS-EN ISO 14731** määrittää suositukset hitsauskoordinoijan koulutuksen ja osaamisen vähimmäisvaatimukset.
 - Kansainvälinen hitsausinsinööri (**IWE**)
 - Kansainvälinen hitsausteknikko (**IWT**)
 - Kansainvälinen hitsausneuvoja (**IWS**)



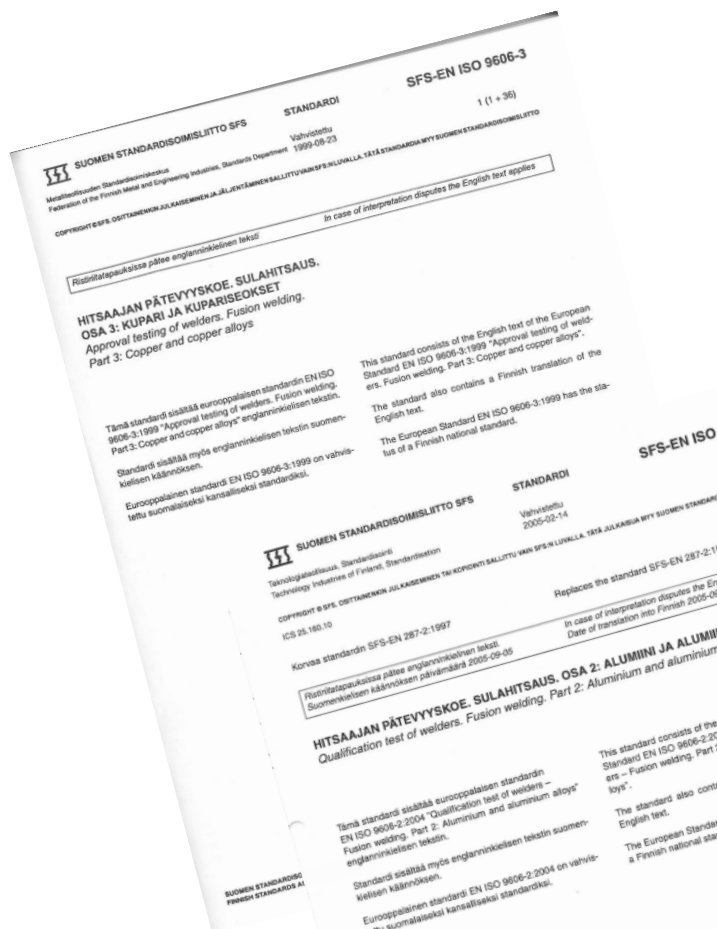
”Hyvä hitsi ei ole ilmaista, mutta huono voi olla katastrofi.”



Vetyputket ja säiliöt – hitsaajien pätevöinti

- **-Laitosalueen hitsaukset edellyttävät painelaitedirektiivin (PED) mukaisia hitsaajan pätevyyksiä.**
- **-Siirtoputkistot eivät edellytä PED:n mukaisia pätevyyksiä**
- **-Hitsaajan pätevyyskokeet SFS-EN ISO 9606-1 mukaan (teräkset) ja SFS-EN ISO 9606-2 mukaan (alumiinit ja alumiiniseokset)**
- **-Sama koe, samat vaatimukset, mutta valvoja ja valvontaorganisaatio voi olla eri**





STANDARDI

SFS-EN ISO 9606-1:2017

Metalliteollisuuden Standardisointiyhtiö ry
Mechanical Engineering and Metals Industry Standardisation in Finland

Vahvistettu
2017-09-01

SFS/ICS 35.140.00

Korvaa standardit SFS-EN ISO 9606-1:2013, SFS-EN ISO 9606-1/AC:2014, SFS-EN ISO 9606-1/AC2:2014, SFS-EN ISO 9606-1/AC3:2015, SFS-EN ISO 9606-1:2013/AC4:2017 ja SFS-EN ISO 9606-1:2013.
Sisältää korjauksen SFS-EN ISO 9606-1:2017/Korjaus:2017

Replaces the standards SFS-EN ISO 9606-1:2013, SFS-EN ISO 9606-1/AC:2014, SFS-EN ISO 9606-1/AC2:2014, SFS-EN ISO 9606-1/AC3:2015, SFS-EN ISO 9606-1:2013/AC4:2017 and SFS-EN ISO 9606-1:2013

Järjestyksessä tulee englanninkielinen teksti.
Suomenkielinen käännös on julkaistu 2017-09-01

In case of interpretation disputes the English text applies.
Date of translation into Finnish 2017-09-01

Hitsaajan pätevyyskoe, Sulahitsaus, Osa 1: Teräkset

Qualification testing of welders. Fusion welding. Part 1: Steels (ISO 9606-1:2012 including Cor 1:2012 and Cor 2:2013)

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 9606-1:2012 "Qualification testing of welders. Fusion welding. Part 1: Steels (ISO 9606-1:2012 including Cor 1:2012 and Cor 2:2013)" englanninkielisen tekstin.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 9606-1:2012 "Qualification testing of welders. Fusion welding. Part 1: Steels (ISO 9606-1:2012 including Cor 1:2012 and Cor 2:2013)".

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.

The Standard also contains a Finnish translation of the English text.

Eurooppalainen standardi EN ISO 9606-1:2017 on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

The European Standard EN ISO 9606-1:2017 has the status of a Finnish national standard.

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
Standardi
Vahvistettu
2005-02-14

SFS-EN ISO

Replaces the standard SFS-EN 287-2:1997
In case of interpretation disputes the English text applies
Date of translation into Finnish 2005-02-14

Korvaa standardin SFS-EN 287-2:1997
ICS 25.160.10

Riistatapaussissa tulee englanninkielinen teksti.
Suomenkielinen käännös on julkaistu 2005-02-14

HITSAAJAN PÄTEVYYSKOE, SULAHITSAUS, OSA 2: ALUMIINI JA ALUMIINISEOKSET
Qualification test of welders. Fusion welding. Part 2: Aluminium and aluminium alloys

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 9606-2:2004 "Qualification test of welders - Fusion welding. Part 2: Aluminium and aluminium alloys" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.
Eurooppalainen standardi EN ISO 9606-2:2004 on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the European Standard EN ISO 9606-2:2004 "Qualification test of welders - Fusion welding. Part 2: Aluminium and aluminium alloys".
The standard also contains a Finnish translation of the English text.
The European Standard EN ISO 9606-2:2004 has the status of a Finnish national standard.



Euroopan unionin rahoittama



Suomen Standardisointiliitto SFS ry
P.O. Box 130, 00101 Helsinki (Malminkatu 34)
Puh. 09 149 9331, info@sfs.fi, www.sfs.fi

Finnish Standards Association
P.O. Box 130, 00101 Helsinki (Malminkatu 34)
Tel. +358 9 149 9331, info@sfs.fi, www.sfs.fi

Tämä julkaisu on laadittu SFS Online-palvelussa helpo- ja sähköpostilla. Oletko sinäkin käyttänyt SFS Online-palvelua? Käytä sitä nyt! Käytä sitä nyt!



SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
Federation of the Finnish Metal and Engineering Industries, Standards Department

STANDARDI

SFS-EN ISO 9606-5

Vahvistettu
2009-05-22

Riistatapaussissa tulee englanninkielinen teksti.
In case of interpretation disputes the English text applies

HITSAAJAN PÄTEVYYSKOE, SULAHITSAUS, OSA 5: TITANIINI JA TITANIINISEOKSET, ZIRKONIUMI JA ZIRKONIUMISEOKSET
Approval testing of welders. Fusion welding. Part 5: Titanium and titanium alloys, zirconium and zirconium alloys

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 9606-5:2000 "Approval testing of welders - Fusion welding - Part 5: Titanium and titanium alloys, zirconium and zirconium alloys" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.
Eurooppalainen standardi EN ISO 9606-5:2000 on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 9606-5:2000 "Approval testing of welders - Fusion welding - Part 5: Titanium and titanium alloys, zirconium and zirconium alloys".
The standard also contains a Finnish translation of the English text.
The European Standard EN ISO 9606-5:2000 has the status of a Finnish national standard.

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
Standardi
Vahvistettu
1999-08-23

SFS-EN ISO 9606-4

ICS 25.160.10
In case of interpretation disputes the English text applies

HITSAAJAN PÄTEVYYSKOE, SULAHITSAUS, OSA 4: NIKKELI JA NIKKELISEOKSET
Approval testing of welders. Fusion welding. Part 4: Nickel and nickel alloys

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 9606-4:1999 "Approval testing of welders - Fusion welding - Part 4: Nickel and nickel alloys" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.
Eurooppalainen standardi EN ISO 9606-4:1999 on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 9606-4:1999 "Approval testing of welders - Fusion welding - Part 4: Nickel and nickel alloys".
The standard also contains a Finnish translation of the English text.
The European Standard EN ISO 9606-4:1999 has the status of a Finnish national standard.

Tarkastusmerkin nä

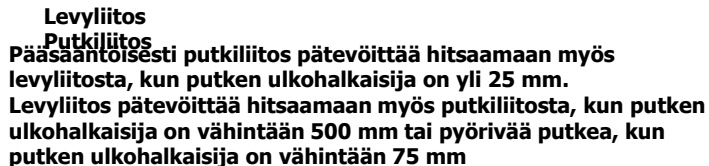
**Pätevyyskokeen (pätevyys-)
merkintä tulee sarakkeen
ensimmäisestä merkinnästä,
huomioiden oleelliset muuttujat**

Euroo
osarahittama

P; Rutiilitäyte – nopeasti jähmettyvä kuona
S; Umpilanka tai -sauva
V; Täyte – rutiili tai iemäs/fluoridi
W; Täyte – emäs/fluoridi – hitsaasi jähmettyvä kuona
Y; Täyte – emäs/fluoridi, nopeasti jähmettyvä kuona
Z; Täyte – muut tyypit

nm; Ilman lisäainetta

Pätevöinti saavutettavissa vain materiaalikohtaista standardin osaa käytettäessä.



**äiteävyskokeen (pätevyys-) merkintä
tulee sarakkeen ensimmäisestä
merkinnästä, huomioiden oleelliset
muuttajat**

Hyväksyntä ja
voimassaolomerkinnät Tarkastusmerkinnät

myös prosesseja 141, 142, 143 ja 145.

Standardin osa

- Osa 1; Teräkset
- Osa 2; Alumiinit ja alumiiniseokset
- Osa 3; Kuparit ja kupariseokset
- Osa 4; Nikkeli ja nikkeliseokset
- Osa 5; Titaani ja titaaniseokset,
Zirkonium ja zirkoniuksseokset

Standardin numero

↑ SFS-EN ISO 9606-1 141 T BW FM5 S s2 D48.3 HL045 ssqb

- 111: puikkohitsaus
- 114: täytelankahitsaus ilman suojakaasua
- 121: jauhekaariupmilankahitsaus
- 125: jauhekaaritäytelankahitsaus
- 131: MAG-upmilankahitsaus
- 136: MAG-upmilankahitsaus
- 136: MAG-jauhetäytelankahitsaus
- 138: MAG-metallitäytelankahitsaus
- 141: TiG-upmilankahitsaus
- 142: TiG-hitsaus ilman lisäainetta
- 143: TiG-täytelankahitsaus
- 145: TiG-upmilankahitsaus pelkistävällä kaasulla
- 15: Plasmahitsaus
- 311: happi-asetyleenihitsaus

FM1; Seostamattomat hienoraeteräkset
FM2; Lujat teräkset
FM3; Kuumalujat teräkset $C \leq 3,75\%$
FM4; Kuumalujat teräkset $3,75\% \leq Cr \leq 12\%$
FM5; Ruostumattomat ja tulenkestävät teräkset
FM6; Nikkeli ja nikkeliseokset

A; Hapan päälyste
B; Emäspäälyste tai -täfte
C; Selluloosapäälyste
R; Rutiilipäälyste tai täyte – hitaasti jähmettyvä kuona
RA; Hapan-rutiilipäälyste
RB; Emäs-rutiilipäälyste
RC; Selluloosa-rutiilipäälyste
RR; Paksupäälysteinen rutiilipäälyste
M; Metallitäyte

Hitsilaji
BW; Päittäisiitos
FW; Pienaliitos

Putken Hitsipalk

PA: Jalkoasento
PB: Alapiena
PC: Vaaka-asento
PD: Yläpiena
PE: Lakiiasento
PF: Pystyasento, ylöspäin
PG: Pystyasento, alaspäin
PH: Vaakaputkipiena, ylöspäin
PJ: Vaakaputkipiena, alaspäin
HL045: Putki 45°, ylöspäin
JL045: Putki 45°, alaspäin

ss nb; Yhdeltä puolelta ilman juuritukea
ss mb; Yhdeltä puolelta, kiinteä juurituki
bs; hitsaus molemmilta puolilta
ss qb; Yhdeltä puolelta kaasujuurituella
ci; Sulava juurituki
ss fb; Jauhejuurituki

- P; Rutiilitäyte – nopeasti jähmettyvä kuona
- S; Umpilanka tai -sauva
- V; Täyte – rutiili tai iemäs/fluoridi
- W; Täyte – emäs/fluoridi – hitsaasi jähmettyvä kuona
- Y; Täyte – emäs/fluoridi, nopeasti jähmettyvä kuona
- Z; Täyte – muut tyyjit

nm: Ilman lisäainetta

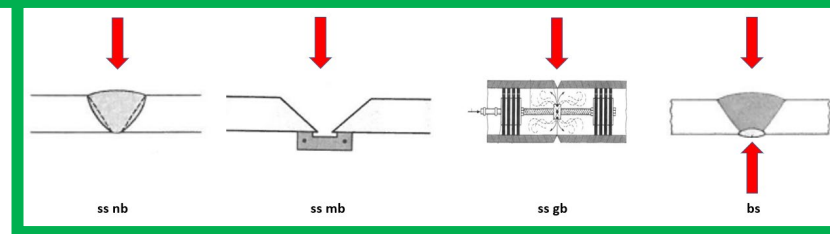
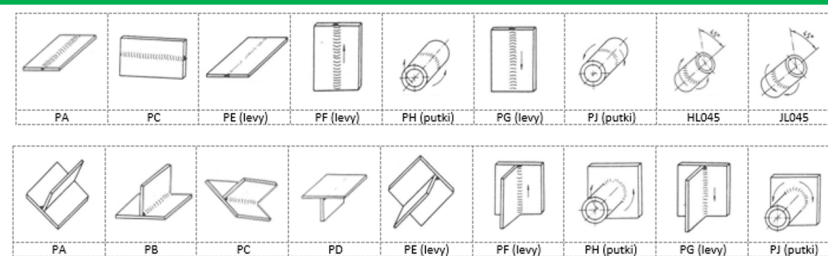
(X) Hitsausaineet, joille hitsaaja on pätevöitetty
(-) Hitsausaineet, joille hitsaaja ei ole pätevöitetty

Hitausprosessi	Kokeessa käytetyn hitauspuikun päälystetyyppi ^(b)	Pätevyysalue A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	C 10, 11
111	A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	X	-	-
	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	X	X	-
	C	-	-	X
	10, 11	-	-	-

(X) Hitsauspuikot, joille hitaaja on pätevytoivot
 (-) Hitsauspuikot, joille hitaaja ei ole pätevytoivot
 A^(b) Lyhenteen standardin kohdassa 4.3.2
 A^(b) Hitsaajan pätevyyskoetta iuuren juuren hitauskokeissa ilman juuriteikka (ss nb) käytetty päälystetyyppi on se
 niilistetyyppi. iotq ssä kiitettää iuuren hitteen tuotannon, jimon iuuren hitteen (ss nb).

Pätevyyskokeessa käytetty hitauslanka	Pätevyysalue			
	S	M	B	R, P, V, W, Y, Z
Umpilanka (S)	X	X	-	-
Metallitäytelanka (M)	X	X	-	-
Jauhetäytelanka (B)			X	X
Jauhetäytelanka (R, P, V, W, Y, Z)			-	X

(X) Hitauslangat, joille hitsaaja on pätevitetty
 (-) Hitauslangat, joille hitsaaja ei ole pätevitetty
 A¹ Lyhenteet standardin kohdasta 4.3.2
 A² Hitsaajan pätevyyskokeessa pohjapalon hitauksessa, ilman juuritukea (ss **nb**) käytetty jauhelankatyyppi on se lankatyyppi, jota saa käyttää pohjapalon hitauksessa, tuotannossa ilman juuritukea (ss **nb**)



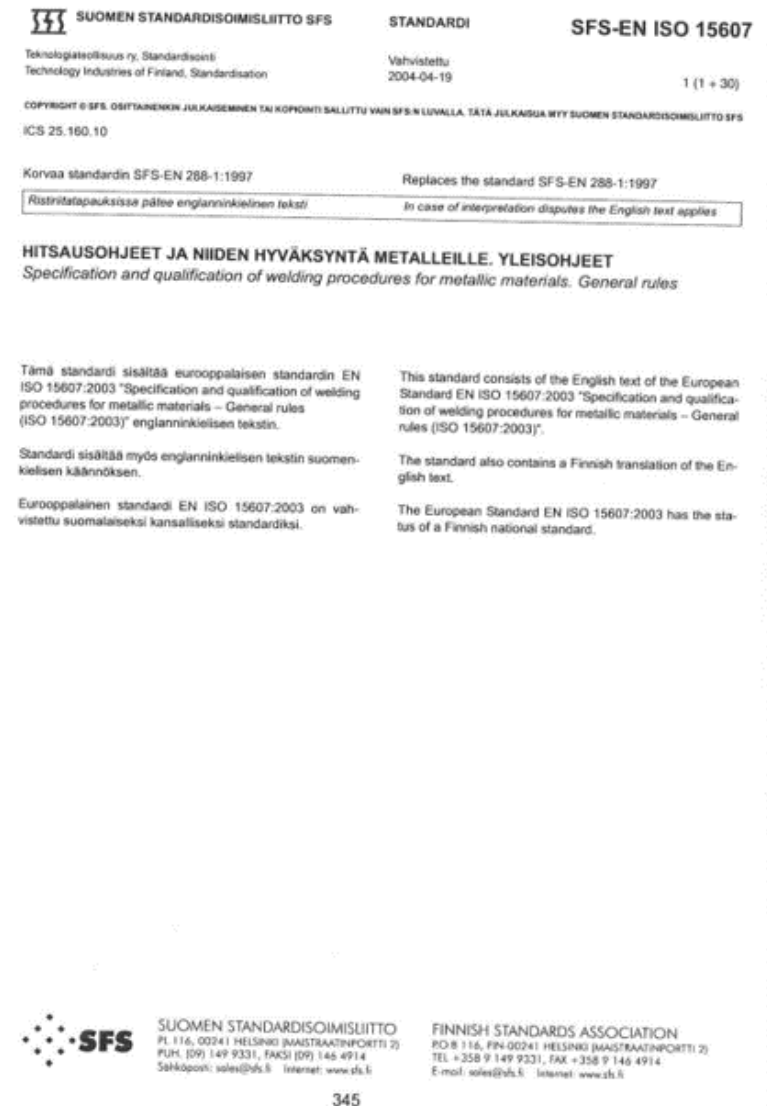
Hitsausohje (WPS)

Hitsausohjeen laatiminen luo perustan sille, että hitsi täyttää asetetut

vaatimukset, mutta ei sinällään vielä takaa sitä.

Joitakin poikkeavuuksia, kuten hitsausvirheitä ja muodonmuutoksia, voidaan

tutkia valmiista tuotteesta rikkomattomilla aineenkoestusmenetelmillä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Hitsausohje (WPS)

Metallurgiset poikkeavuudet muodostavat erityisongelman, sillä nykyisillä

NDT-menetelmillä on mahdotonta arvioida mekaanisia ominaisuuksia.

Tämä on johtanut tiettyjen sääntöjen luomiseen hitsausohjeen

hyväksymiseksi ennen kuin se otetaan käyttöön tuotannossa. Standardissa

(SFS-EN ISO 15607) esitetään yksityiskohtaisesti näitä sääntöjä.

SFS SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS STANDARDI SFS-EN ISO 15607
Teknologiaosuus ry, Standardisointi Vahvistettu
Technology Industries of Finland, Standardisation 2004-04-19 1 (1 + 30)

COPYRIGHT © SFS. OSITTAINENKIN JULKAISEMINEN TAI KOPIOINTI SALLITTU VAIN SFS:N LUVALLA, TÄTÄ JULKAISUA VYTY SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
ICS 25.160.10

Korvaa standardin SFS-EN 288-1:1997 Replaces the standard SFS-EN 288-1:1997

Ruutritatapuoksuissa pättee englanninkielinen teksti/ In case of interpretation disputes the English text applies

HITSAUSOHJEET JA NIIDEN HYVÄKSYNTÄ METALLEILLE. YLEISOHJEET
Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. General rules

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN ISO 15607:2003 "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – General rules (ISO 15607:2003)" englanninkielisen tekstin.
Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.
Eurooppalainen standardi EN ISO 15607:2003 on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN ISO 15607:2003 "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – General rules (ISO 15607:2003)".
The standard also contains a Finnish translation of the English text.
The European Standard EN ISO 15607:2003 has the status of a Finnish national standard.

SFS SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO
P.O. Box 116, 00241 HELSINKI (MAASTRAATINPORTTI 2)
Puh. (09) 149 9331, Faksi (09) 146 4914
Sähköposti: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION
P.O. Box 116, FIN-00241 HELSINKI (MAASTRAATINPORTTI 2)
TEL +358 9 149 9331, FAX +358 9 146 4914
E-mail: sales@sfs.fi Internet: www.sfs.fi



Hitsausohjeet (WPS)

Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu – Hitsausenergian laskeminen

Materiaaliin hitsauksen yhteydessä tai muuten tuotavalla lämpömäärällä ja jäähtymisnopeudella on suuri vaikutus siihen, millaiset ominaisuudet materiaalilla on hitsauksen jälkeen.

Siksi on oleellista, että hitsausenergia ja sen myötä kerralla tuotava lämmöntuonti on hallinnassa

$$E = \frac{I * U}{v}$$

Jossa:

E = hitsausenergia (J/mm)

I = Hitsausvirta (A)

U = Jännite (V)

v = hitsausnopeus (m/s)



Hitsausohjeet (WPS)

Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu – Hitsauksen lämmöntuonnin laskeminen

$$Q = \delta * E$$



$$Q = \delta * \frac{I * U}{v}$$

Jossa

E = hitsausenergia (J/mm)

Q = Lämmöntuonti (J/mm)

δ = Hitsausprosessikohtainen kerroin

I = Hitsausvirta (A)

U = Jännite (V)

v = hitsausnopeus (m/s)



Hitsausohjeet (WPS)

Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu – Hitsauksen lämmöntuonnin laskeminen

Lisäksi kannattaa käyttää jakajana lukua 1000, jolla J [joule] muutetaan kJ [kilojouleksi] ja kertoimena lukua 60, jolla sekunti (s) muutetaan minuuteiksi (min).
Näillä kertoimilla ja jakajilla saadaan luvut hitsauksessa "mitattavimmiksi."

$$Q = \delta * \frac{60 * I * U}{1000 * v}$$

Jossa:

E = hitsausenergia (J/mm)

Q = Lämmöntuonti (J/mm)

δ = Hitsausprosessikohtainen kerroin

I = Hitsausvirta (A)

U = Jännite (V)

v = hitsausnopeus (m/s)

Lämmöntuonnin alarajassa käytetään toleranssien alempia virta- ja jännitearvoja sekä korkeampaa hitsausnopeutta.

Lämmöntuonnin ylärajassa käytetään toleranssien ylempiä virta- ja jännitearvoja sekä matalampaa hitsausnopeutta.



Hitsausohjeet (WPS)

Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu – Hitsauksen lämmöntuonnin laskeminen – prosessikohtainen kerroin (δ)

Prosessikohtaista kerrointa (δ) joudutaan käyttämään, koska eri prosesseilla lämpöä siirtyy varsinaiseen hitsausliitokseen eri määrä ja osa siirtyy ns. ”taivaan tuuliin.”

Prosessikohtainen kerroin ei ole mikään teoreettinen tosiasia, vaan perustuu osin kokemusperäiseen ja osin mittaustietoon.

On vain sovittu, että jauhekaarihitsauksessa prosessikohtainen kerroin on 1, vaikka todellisuudessa siinäkin prosessissa siirtyy lämpöä pois, muualle kuin hitsausliitokseen.

Eri lähteissä saattaa olla pieniä poikkeavuuksia prosessikohtaisissa kertoimissa, mutta suuruusluokka on oleellista. Poikkeavuudet ovat kuitenkin aina desimaaleissa tai niiden osissa.



Hitsausohjeet (WPS)

Vetyputket ja säiliöt – Hitsauksen laatu – Hitsauksen lämmöntuonnin laskeminen – prosessikohtainen kerroin (δ)

Prosessikohtaista kerrointa (δ) joudutaan käyttämään, koska eri prosesseilla lämpöä siirtyy varsinaiseen hitsausliitokseen eri määrä ja osa siirtyy ns. ”taivaan tuuliin.”

Prosessikohtainen kerroin ei ole mikään teoreettinen tosiasia, vaan perustuu osin kokemusperäiseen ja osin mittaustietoon.

On vain sovittu, että jauhekaarihitsauksessa prosessikohtainen kerroin on 1, vaikka todellisuudessa siinäkin prosessissa siirtyy lämpöä pois, muualle kuin hitsausliitokseen.

Prosessikohtaisia kertoimia

1 = Jauhekaarihitsaus

0,8 = Puikkohitsaus

0,8 = MIG/MAG-hitsaus

0,8 = Täytelankahitsaus

0,6 = TIG-hitsaus



Vetyputket ja säiliöt – Hitsausenergia ja lämmöntuonti hitsausohjeessa

KEMPPI
The Joy of Welding

STANDARD WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)
EN ISO 15609-1: 2004
EN ISO 15612: 2004

WPS no: WPS 111-BW-2
Date: 2014-05-07
Rev.3: Page 1 [2]
Language: EN

WPQR no: 111-28
Manufacturer: Kemppe Oy, Lahti, Finland
Joint type and weld type: BW, P/T

Welding position: PC
Weld details: sl, nb/mb
Preheat Temperature (°C): ≥ 5

Method of preparation and cleaning: Cutting and grinding
Throat thickness (mm): -
Interpass Temperature (°C): -

Identification of parent material

Parent material	Group EN ISO 15608	Standard	Range of thickness (mm)	Range of outside diameter (mm)
A S235/S275/S355 ReHs355Nmm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	3...5	> 500 > 150 (rotated)
B S235/S275/S355 ReHs355Nmm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	3...5	> 500 > 150 (rotated)

Weld preparation details

Joint design

Welding sequences

Welding parameters

Run	Welding process	Size of filler material d (mm)	Current I (A)	Voltage U (V)	Type of current/polarity	Travel speed v (mm/min)	Heat input Q (kJ/mm)
1	111	2,5	60...80	20...23	DC-/DC+/AC DC+	50...60	1,0...1,8

Identification of filler materials

Standard	Designation	Filler material handling
EN ISO 2560-A	E 42 4 B 42 H5 a)	See filler material manufacturer's instructions

Other information
a) Filler materials that comply with the classifications above can be used, such as Esab OK 48.00, Elga P 48 S.

Dr. Petteri Järnström
Kemppe Oy, Manufacturer

RWE Kari Juvonen
Inspecta Tarkastus Oy, Notified body

Current	Voltage	Type of current/polarity	Travel speed	Heat input
I (A)	U (V)	DC-/DC+/AC	v (mm/min)	Q (kJ/mm)
60...80	20...23	DC+	50...60	1,0...1,8

Alarajan laskenta:

$$Q_1 = 0,8 * \frac{60 * 60 \text{ A} * 20 \text{ V}}{1000 * 60 \text{ mm/min}} = 0,96 \text{ kJ/mm}$$

Ylärajan laskenta: Vastaavasti ylemmät virta ja jännitearvot sekä alempi nopeus

$$Q_2 = 0,8 * \frac{60 * 80 \text{ A} * 23 \text{ V}}{1000 * 50 \text{ mm/min}} = 1,77 \text{ kJ/mm}$$



Vetyputket ja säiliöt – Hitsausenergia ja lämmöntuonti hitsausohjeessa

Eli edellisen sivun laskuista saatiin lämmöntuonnin arvoiksi (pyöristettynä) 1,0...1,8 kJ/mm

Mitä sitten.....

WPS:n teräs, esim 355 (...ja heikommät)

WPS:n kattavuus 3...5 mm

A	S235/S275/S355 ReH≤355N/mm2
B	S235/S275/S355 ReH≤355N/mm2

Range of thickness
(mm)

3...5

3...5

KEMPPI
The Joy of Welding

STANDARD
WELDING PROCEDURE
SPECIFICATION (WPS)
EN ISO 15609-1: 2004
EN ISO 15612: 2004

WPS no: 111-28
Date: 2014-05-07
Rev.3
Language: EN

WPS 111-BW-2
Page 1 [2]

Welding position: PC
Weld details: sl, nb/mb
Preheat Temperature (°C): ≥ 5
Interpass Temperature (°C): -

Method of preparation and cleaning: Cutting and grinding
Throat thickness (mm): -

Identification of parent material

Parent material	Group	EN ISO 15608	Standard	Range of thickness (mm)	Range of outside diameter (mm)
A S235/S275/S355 ReH≤355N/mm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2		3...5	> 500 > 150 (rotated)
B S235/S275/S355 ReH≤355N/mm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2		3...5	> 500 > 150 (rotated)

Weld preparation details

Joint design

Welding sequences

Welding parameters

Welding process	Size of filler material d (mm)	Current I (A)	Voltage U (V)	Type of current/polarity	Travel speed v (mm/min)	Heat input Q (kJ/mm)	
1	111	2.5	60...80	20...23	DC+	50...60	1.0...1.8

Identification of filler materials

Standard	Designation	Filler material handling
EN ISO 2560-A	E 42 4 B 42 H5 a)	See filler material manufacturer's instructions

Other information

a) Filler materials that comply with the classifications above can be used, such as Esab OK 48 00, Elga P 48 S.

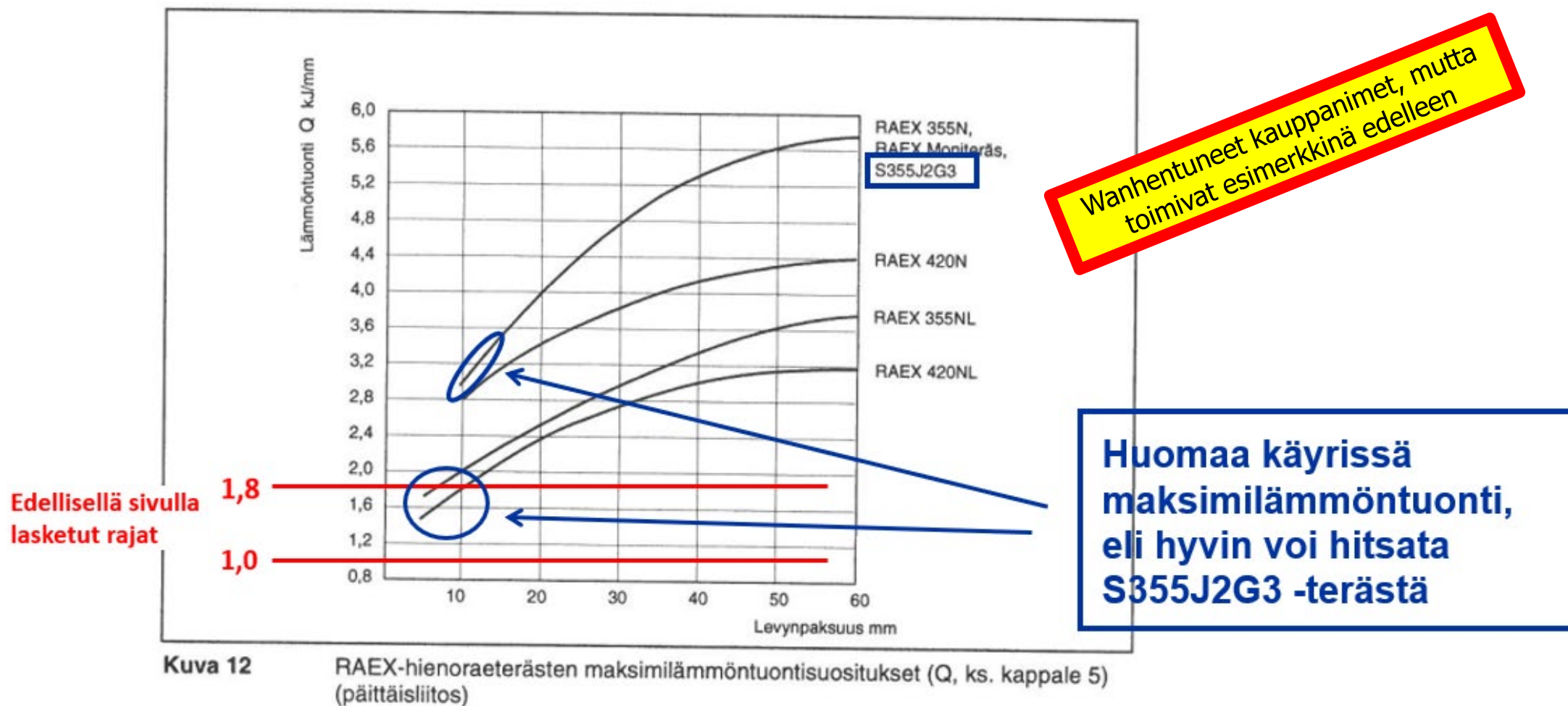
Dr. Petteri Jamsirén
Kemppi Oy, Manufacturer

inspecta
IWE Kari Juvonen
Inspecta Tarkastus Oy, Notified body



Euroopan unionin
osarahoittama

Eräiden kaupallisten terästen (maksimi-) lämmöntuontisuositukset (Lähde: Rautaruukki, hitsaajanopas 1998 – nyt. SSAB)



Mikä lisäaine?

OK 48.00			
Päällyste		emäs	
Luokitus			
SFS-EN ISO 2560-A	E 42 4 B 42 H5		
SFA/AWS A5.1	E7018		

Kuvaus ja käyttö

OK 48.00 on luotettava emäspäällysteinen hitsauspuikko, joka on tarkoitettu yleispuikoksi seostamattomille rakenneteräksille ja hienoraeteräksille. Puikon hitsausominaisuudet ovat erinomaiset ja tuottavuus hyvä. Puikko on sopiva, kun hitsataan vaativia rakenteita ja teräksiä, joissa tarvitaan emäspuikon ominaisuuksia ja hitsiaineen laatua. Päällysteen kostumistaipumus on pieni.

OK 48.00			
Päällyste		emäs	
Luokitus			
SFS-EN ISO 2560-A	E 42 4 B 42 H5		
SFA/AWS A5.1	E7018		

Standard	Designation
EN ISO 2560-A	E 42 4 B 42 H5

Hitsausvirta tasavirta, +napa			
Puikon mitat ø mm	pit. mm	Hitsaus- virta A	Kaari- jännite V
1,6	300	30-55	22
2	300	50-80	22
2,5	350	80-110	22
3,2	450	90-140	23
4	450	125-210	24
5	450	200-260	24
6	450	220-340	24
7	450	280-410	25



Hitsiaineen ohjekoostumus (%)		
C	Si	Mn
0,06	0,5	1,2

Hitsiaineen lujuusominaisuudet	
Tyypilliset arvot, puhdas hitsiaine	
Muuttolujuus	445 N/mm ²
Murtolujuus	540 N/mm ²
Murtovenymä	29 %
Käyttötemperatuurialue	-20°C - 140 J
	-40°C - 70 J

Virta- ja jännitearvot täsmää

Hitsausvirta tasavirta, +napa			
Puikon mitat ø mm	pit. mm	Hitsaus- virta A	Kaari- jännite V
1,6	300	30-55	22
2	300	50-80	22
2,5	350	80-110	22
3,2	450	90-140	23
4	450	125-210	24
5	450	200-260	24
6	450	220-340	24
7	450	280-410	25

STANDARD
WELDING PROCEDURE
SPECIFICATION (WPS)
EN ISO 15609-1: 2004
EN ISO 15612: 2004

WPS no: WPS 111-BW-2
Date: 2014-05-07
Rev.3: [2]
Language: [2]

Welding position: PC
Weld details: [2]
Joint type and weld type: BW, P/T

Identification of [2]

Range of thickness (mm): 3...5
Range of outside diameter (mm): > 500
> 150 (rotated)
> 500
> 150 (rotated)

Weld preparation details

Joint design

Welding sequences

Welding parameters

Welding process	Size of filler material d (mm)	Current I (A)	Voltage U (V)	Type of current/polarity DC-DC+/AC	Travel speed v (mm/min)	Heat input Q (kJ/mm)
1	2,5	60...80	20...23	DC+	50...60	1,0...1,8

Standard: EN ISO 2560-A
Designation: E 42 4 B 42 H5 a)

Filler material handling
See filler material manufacturer's instructions

Other information
a) Filler materials that comply with the classifications above can be used, such as Esab OK 48.00, Elga P 48 S.

Dr. Petteri Jerström
Kempfi Oy, Manufacturer

IWE Kari Juvonen
Inspecta Tarkastus Oy, Notified body

Mainittu lisäaine ei välttämättä sovellu vetyputkien hitsaamiseen, mutta toimii esimerkkinä lisäaineen hyväksymismerkinnästä



Euroopan unionin
osarahoittama

Hitsausohjeen (WPS) hyväksyminen

Hyväksymistapa	Sovellutus
Menetelmäkoe (ks. 6.2)	Voidaan aina käyttää, elleivät koekappaleet poikkea oleellisesti hitsausliitosten geometriasta, jännityksistä ja luoksepäästävyydestä
Testatut hitsausaineet (ks. 6.3)	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joissa käytetään hitsausaineita. Hitsausaineiden testauksen on vastattava tuotannossa käytettävää perusainetta. Lisärajoituksia materiaaleihin ja muiden parametrien suhteen esitetään standardissa EN ISO 15610.
Aikaisempi hitsauskokemus (ks. 6.4)	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joita on käytetty aikaisemmin suurelle määrälle hitsejä verrattavissa olevissa kohteissa, liitoksissa ja materiaaleissa. Vaatimukset esitetään standardissa EN ISO 15611.
Standardihitsausohje (ks. 6.5)	Kuten menetelmäkoe ja rajoitukset esitetään standardissa EN ISO 15612.
Esituotannollinen koe (ks. 6.6)	Voidaan periaatteessa aina käyttää, mutta vaatii koekappaleen valmistamista tuotanto-olosuhteissa. Sopii sarjatuotannolle. Vaatimukset esitetään standardissa EN ISO 15613.
<u>Huom!</u> Tietyn hyväksymistavan valitsemisessa ks. kohta 1	



Hitsausohjeen WPS:n laatimisprosessi menetelmäkokeella yksinkertaistetussa muodossa

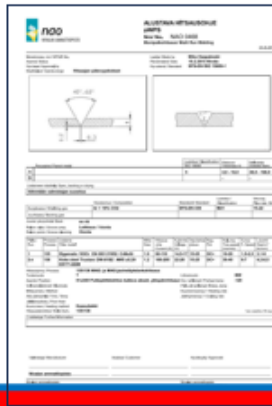
Vaativassa hitsaustyössä oikeanlaisen hitsausmenetelmän merkitys korostuu. Vetysäiliöiden ja –putkistojen valmistuksessa hitsauksen laatu on ehdottoman tärkeää. Hitsauksessa on noudatettava hitsausohjeita, jotka ovat menetelmä- tai esituotannollisella kokeella hyväksytty.

pWPS

"ruutupaperiversio"
Eräänlainen suunnitelma alustavasta hitsausohjeesta



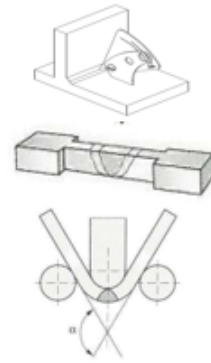
pWPS



Menetelmäkokeen suoritus



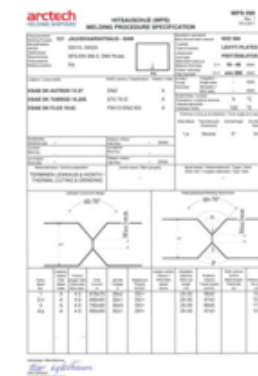
Standardin vaatimat testaukset



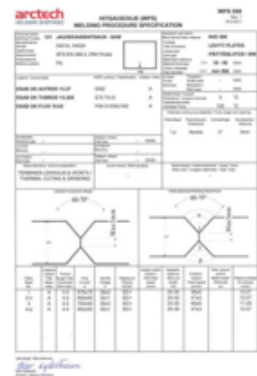
WPQR



WPS hitsausohje



WPS Työversiot



- Laaditaan pWPS:n "ruutupaperiversio"
- Ensinn suunnitelmatasolle (ns. ruutupaperiversio)
 - Valitaan (tiedetään) perusaine
 - Valitaan perusaineelle sopiva lisäaine
 - Kokeillaan hitsausparametrien toimivuus sekä virta- ja jännitearvojen sekä hitsausprosessin raja-arvo
 - Lasketaan alustavasti, onko lämmöntuonti sellainen, joka sopii ko. perusaineelle

- Laaditaan varsinainen pWPS
- Testatuilla virta- ja jännitearvoilla sekä hitsausnopeudella, huomioiden raja-arvot

pWPS = Preliminary Welding Procedure Specification

- Hitsataan menetelmäkoe vaatimusten mukaisesti
- Tosiainainen ja jatkuva mittaus dokumentointineen

- Vaadittavat rikkomattomat (NDT) ja rikkovat (DT) –testaukset.
- Laadittava pöytäkirjat

- Hyväksymispöytäkirja
- Hyväksytään käytetty pWPS WPS:ksi
 - Edellyttää hyväksyttyjä testituloksia
 - Liitteeksi testaustulokset

WPQR = Welding Performance Quality Record

- Hyväksytty pWPS on WPS
- Viitaukset hyväksymispöytäkirjaan

WPS = Welding Procedure Specification

- Alkuperäisen WPS:n kopio työversiona, "hitsarin taskuun"



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Vetyputkista – rakenne

Yhtenäinen, hitsattu putkilinja ei vuoda

Vetyputki voi olla vaikka kuinka jykevää tekoa tahansa.

Suurimman riskin muodostavat hitsaus- ja muut liitokset - pitävätkö ne kaikissa mahdollisissa olosuhteissa? – Sinällään vety on tuttu kaasuprosessiteollisuudesta, josta on paljon käyttökokemuksia sekä soveltuvia ratkaisuja saatavilla.

Kaikki tulevan putken liitokset soveltuvat käytettäväksi vedyn kanssa, hän toteaa.

Lähtökohtaisesti yhtenäinen, hitsattu putkilinja ei vuoda.

Putki tulee toteuttaa niin hyvin, että vuotoja ei tule. **Lisäksi huomioitava valvonta, toteuttajien monitorointi, tarkastustoimet ja toteutuksen dokumentointi.**



Vetyputkista ja säiliöistä – mikä laatutaso?

Tarkoituksen mukaisen laatutason valinta?

Ottaen huomioon valmistuksen monimutkaisuus ja vetyputken turvallisuusnäkökohtien kriittisyys, laajuus ja merkitys, niin lähtökohtana ei oikeastaan voi olla muu vaihtoehto kuin "**kattavat laatuvaatimukset.**"

Standardisarja SFS-EN ISO 3834 (Sulahitsauksen laatuvaatimukset) on käyttökelpoinen hitsauksen laatuvaatimuksia määriteltäessä, sillä se ottaa kantaa myös hitsattavien materiaalien asianmukaiseen säilyttämiseen ja käyttöön.

Standardisarjan osat ovat seuraavat:

SFS-EN ISO 3834-1; Laatuvaatimustason valintaperusteet

SFS-EN ISO 3834-2; Kattavat laatuvaatimukset

SFS-EN ISO 3834-3; Vakiolaatuvaatimukset

SFS-EN ISO 3834-4; Peruslaatuvaatimukset

SFS-EN ISO 3834-5; Tarvittavat asiakirjat (osien -2, -3, ja -4) mukaisten vaatimusten osoittamiseksi



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyputkista – mikä materiaali

- Tässä vaiheessa ei ole vielä selvillä, **mikä on paras teräslaatu vetyverkostoon**, jossa suuret putkimäärät? Gasgridin 10.12.2024 tiedon mukaan asiaa vielä selvitetään.
- Kuten jo aikaisemmin todettua, niin materiaalia on olemassa ja käytössä eri puolilla maailmaa, mutta **mikä on juuri oikea materiaali suomen oloissa?** Sinällään putkistoissa käytettävä materiaali ei ole mitään ”ihmeellistä.” Materiaalipäätös on kuitenkin merkittävä askel eteenpäin.
- Materiaalivalinta tulee vaikuttamaan putkiston operatiiviseen käyttöön koko elinkaaren ajan. Optimaalisen materiaalin valinnassa tulee huomioida monia asioita mm: siirtokapasiteetti, vaihtoehtoihin teräslaatuihin liittyvät ominaisuudet, eri käyttöolosuhteissa.
- **Lähtökohtana** materiaalivalinnassa on ensisijaisesti huomioitava **turvallinen käyttö ja turvallisuuslähtöinen elinkaariajattelu!**
- Sinällään kaasuverkoton infrarakentaminen on tavanomaista.



Tässä vaiheessa! Säilyttämällä valmiudet hitsauksen **kattavien** laatuvaatimusten täyttämiseen, on parasta valmiutta vetyputkistojen rakentamiseen, tehtävästä **materiaaliratkaisusta riippumatta**



Vetyputkista – verkoston rakentaminen

Vetyverkon suunnittelussa auttaa pitkä kokemus

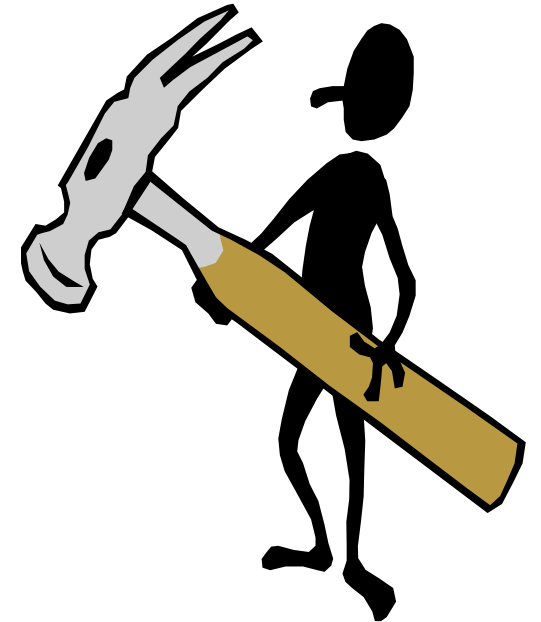
maakaasuputkista. Putken lisäksi moni muu asia on samanlainen - vedyn siirtoputkiston varrella on pumppausasemia, venttiiliasemia, tuotantolaitoksia sekä voima- ja teollisuuslaitoksia, aivan kuten maakaasun siirtoputkistossakin.

Lisäksi esimerkiksi painetasot ja rakentamisen periaatteet ovat samaa luokkaa.

Siirtoputkistot merkitään maastoon näkyvästi ja päälle tulee tuhti maakerros.

Kaikki rakentaminen ja työskentely putken läheisyydessä on luvanvaraista.

- Putkilinjan rakentamiseen liittyvät detaljit, kuten risteämät ja esimerkiksi teiden alitukset, suunnitellaan omina erikoistapauksinaan.



Vetyputkista – verkoston putket ”pehmeää, mutta kovaa tekoa”

Maan alla olevat siirtoputket ovat järeää hiiliterästä, joiden seinämät ovat vahvat. – Hitsattu, tiivis rakenne varmistaa, että vuotoja ei tapahdu.

Maanpäälisissä putki- ja säiliörakenteissa voi olla muita materiaaleja.

Maakaasuputket samaa tyyppiä. Niitä rakennettua paljon viimeisen 50 vuoden aikana - putkivauriot harvinaisia.

Suurin riski on kaivinkone, tosin piikkikauhallakin varustetun kaivinkoneen kauhalla ei saa putken kylkeen muuta kuin naarmuja.

Siirtoputkiston rakenne ja rakentamistapa on teollisuudessa pitkän ajan kuluessa koeteltu. Se on erittäin kestävä.

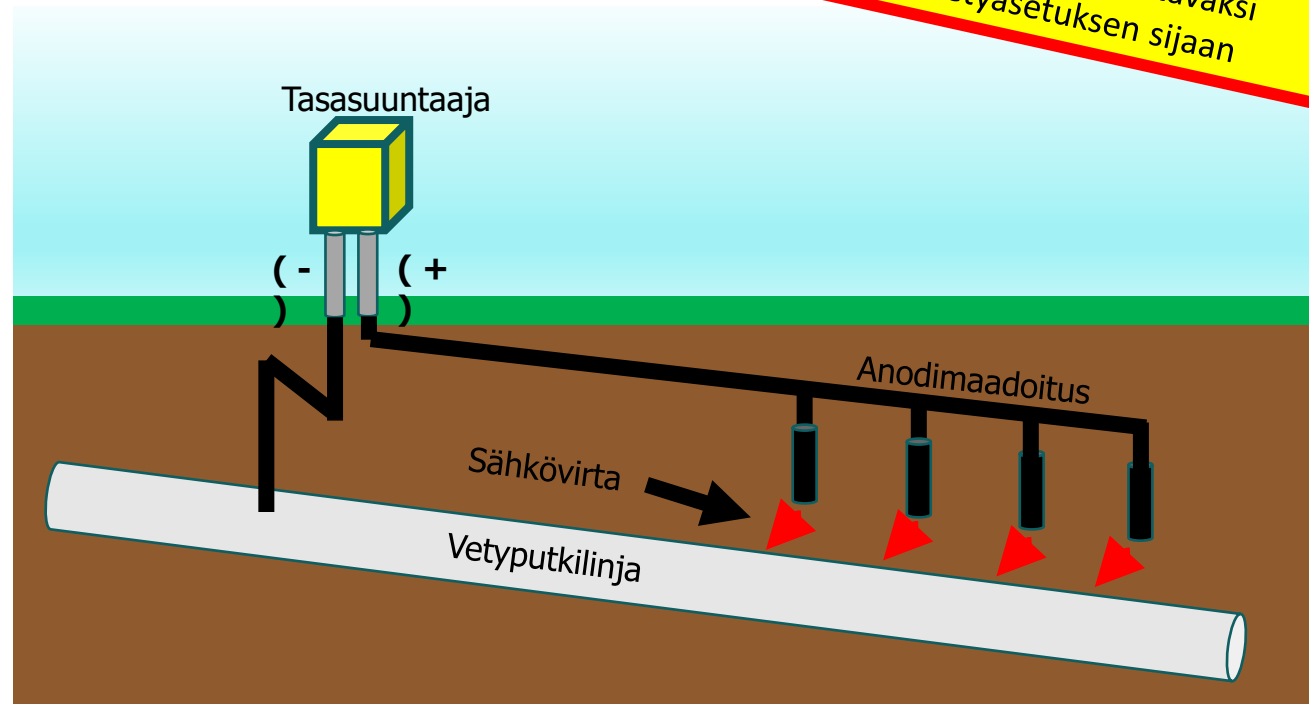
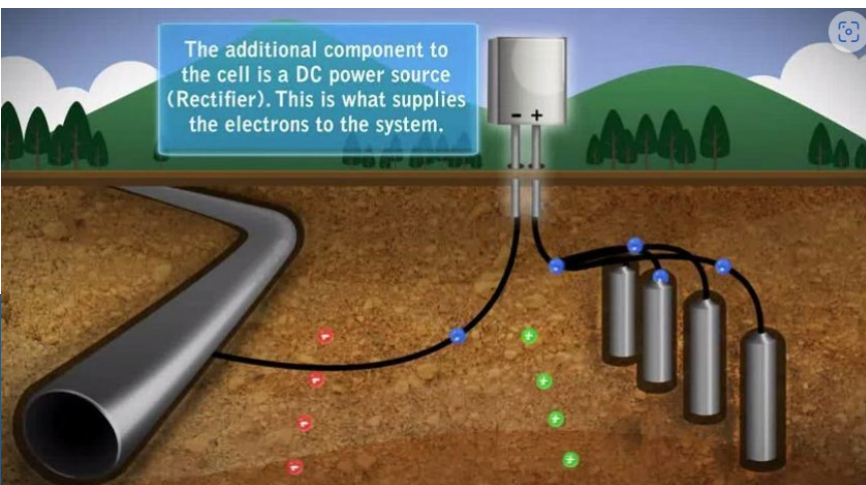
- Koko elinkaari huomioiden ennakoivalla kunnossapidolla suuri merkitys. Sisäpuolisilla tarkastuksilla varmistetaan putken kunto.



Vetyputkista – Katodinen suojaus

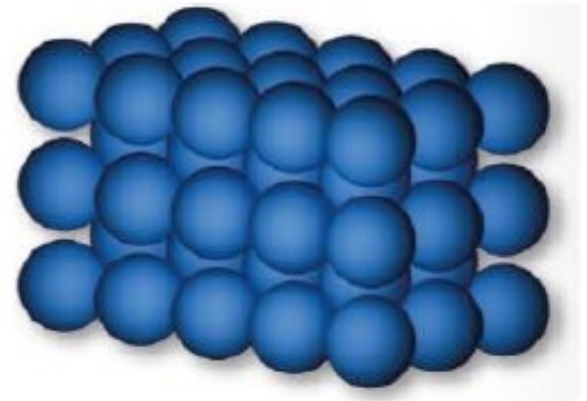
Maan alla olevat hiiliteräksiset
siirtoputket ovat alttiina korroosiolle.

Korroosionsuojausvaatimuksia esitetään tarkennettavaksi
Vetyputkiston korroosiosuojaukselle määritettävä
materiaaliin ja vauriomekanismeihin perustuvat
korroosiosuojauksen määritelmät. Vaade
ja parhaat käytännöt esitetään tarkennettavaksi
ohje- tai standarditasolla vetyasetuksen sijaan



Metallien ominaisuudet ja rakenne

Aineistossa mainitaan metalleista, mutta keskitytään ja tarkoitetaan pääosin metalleja, joita voidaan käyttää vetysäiliöiden ja putkistojen rakentamiseen, eli terästä ja alumiinia



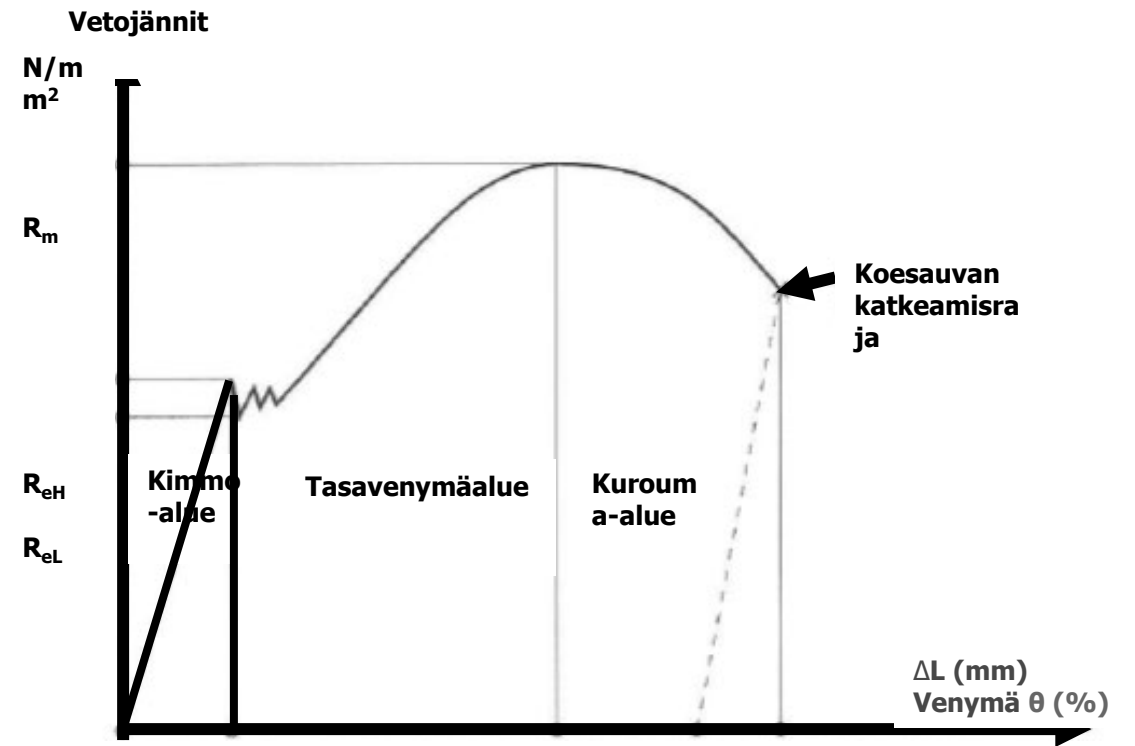
Metallien ominaisuudet ja rakenne - yleistä

- Valmistettaessa, mitä tahansa valmistettavan materiaalin ominaisuudet sekä käyttäytyminen on tunnettava. Materiaaliominaisuudet ratkaisevat käytettävät menetelmät ja prosessit. Materiaaliominaisuudet ja käyttäytyminen erilaisissa ympäristöissä on myös yksi keskeinen tekijä tehtäessä materiaalivalintaa.
- **Teräs - kiteinen rakenne**
- Metalli jähmettyy sulasta tilasta kiteiseen muotoon. Kiteinen rakenne muodostuu säännönmukaisista atomiryhmitelmistä, jotka muodostavat kidehilan.
- Atomien väliset voimat metallikiteessä sallivat kidehilan atomitasojen liukua toisiinsa nähden kiderakenteen rikkoutumatta. Tähän perustuu metallien hyvä muokattavuus.
- Yksinkertaisesti: **Metallin lujuus** on niin lujaa, miten lujasti atomit pitävät toisistaan kiinni = **atomien välinen voima**.



Metallien ominaisuudet ja rakenne -yleistä

- **Kimminen ja plastinen muodonmuutos**
- **Kimmoisen muodonmuutoksen** voidaan sanoa olevan tilapäistä. Eli venymä palautuu, kun kappaleeseen vaikuttava voima loppuu
- **Plastinen muodonmuutos** on pysyvä, eli venymä ei palaudu, vaikka kappaleeseen vaikuttava voima lakkaa olemasta.
- Metalliset materiaalit käyttäytyvät kimmoisasti ylempään myötörajaan asti (R_{eH})
- Plastiset muodonmuutokset johtuvat hilassa olevista rakennevioista eli dislokaatioista.



Metallien ominaisuudet ja rakenne - yleistä

- **Puhtaat metallit ja metalliseokset**

- Metallit esiintyvät luonnossa hyvin harvoin puhtaina. Metallin ominaisuuksia voidaan muuttaa seostamalla sitä muilla metalleilla (seosaineilla).
- Rautamalmit eroavat koostumukseltaan toisistaan riippuen kaivoksesta. Jotta teräksestä saataisiin tasalaatuista, haitalliset epäpuhtaudet poistetaan ja tarpeelliset seosaineet lisätään sulaan metalliin.
- Pienillä seosainepitoisuuksilla saadaan jo suuria vaikutuksia metallin ominaisuuksiin.



Terästen luokittelu

- **Standardi SFS-EN 10020 luokittelee teräslajit seuraavasti:**
 - Kemiallisen koostumuksen perusteella seostamattomiin teräksiin, ruostumattomiin teräksiin ja muihin seosteräksiin.
 - Seostamattomat teräkset, ruostumattomat teräkset ja muut seosteräkset jaetaan ominaisuuksien sekä käyttötarkoituksen mukaisesti pääluokkiin.
- **Teräksen standardi määrittelee** materiaaliksi, joka sisältää rautaa enemmän kuin mitään muuta yksittäistä alkuainetta ja jonka hiilipitoisuus on yleensä alle 2 % ja joka sisältää muitakin alkuaineita.

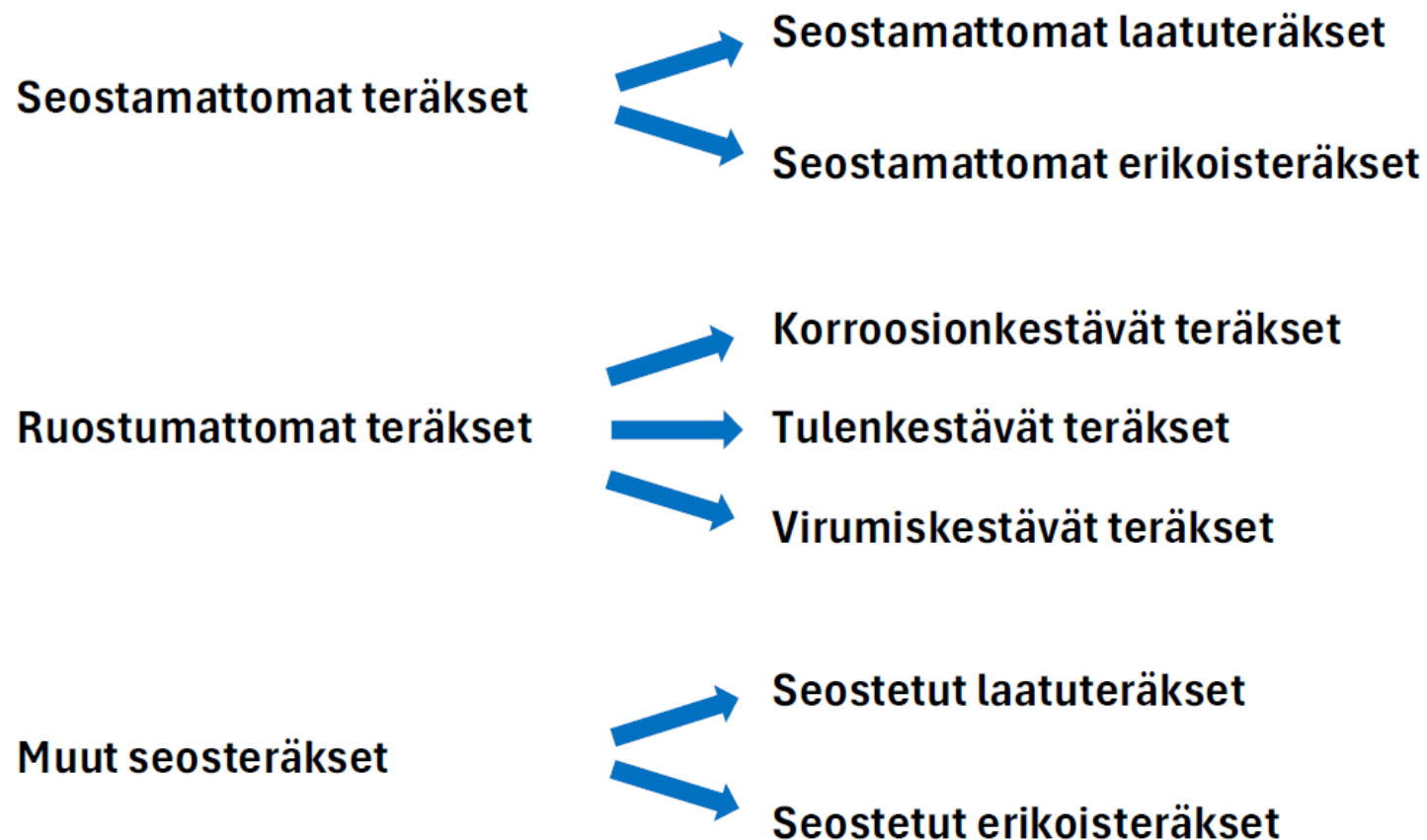


Terästen luokittelu

- **Seostamattomaksi teräkseksi** standardi (SFS-EN 10020) luokittelee teräkset, joissa jokaisen seosaineen pitoisuus on tietyn rajan alapuolella. Esimerkkejä raja-arvojen paino-%)
 - * alumiini, kromi, nikkeli ja volframi 0,30 %
 - * kupari ja lyijy 0,4 %
- **Ruostumattomaksi teräkseksi** standardi (SFS-EN 10020) luokittelee teräkset, joiden hiilipitoisuus on enintään 1,2 % ja kromipitoisuus vähintään 10,5 %.
- **Muuksi seosteräkseksi** standardi (SFS-EN 10020) luokittelee teräkset, jotka eivät täytä seostamattoman tai ruostumattoman teräksen määritelmiä.

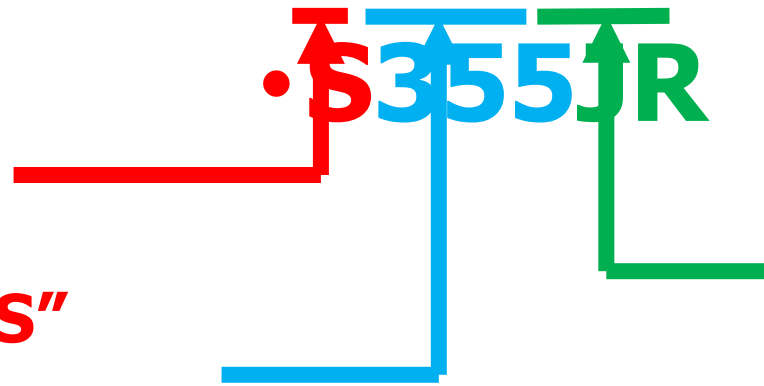


Teräsluokkien määrittely (SFS-EN 10020)



Terästen luokittelu – nimikejärjestelmä

- Esimerkki rakenneteräksen nimikejärjestelmästä (SFS-EN 10027-1)



- Rakenneteräs "S"

- Myötölujuus "355"

"JR" Iskusitkeys [J]



Terästen luokittelu – nimikejärjestelmä (SFS-EN 10027-2)

- Esimerkkejä nimikkeiden numeerisestaluokittelusta (sen mukaan, mitä teräksiä voidaan käyttää vetysäiliöiden ja –putkistojen valmistuksessa).
- 1. Rakenneteräket
- 2. Painelaiteteräket
- 3. Putkiteräket

- 12. Seostamattomat teräket, joiden keskimääräinen mangaanipitoisuus $< 1 \%$
- 13. Seostamattomat teräket, joiden keskimääräinen mangaanipitoisuus $\geq 1 \%$
- 14. Ruostumattomat teräket ja muut seosteräket, joissa vähintään yhden seosaineen keskimääräinen pitoisuus on $\geq 5 \%$



Terästen luokittelu – nimikejärjestelmä

- Esimerkki vastaavuuksista eri nimikkeillä **10027-1** ja "numeronimikkeellä" **10027-2**

Numerotunnus	Nimike
1.0045	S355JR
1.0345	P235GH
1.0037	S235JR
1.6368	15NiCuMoNb5-6-4
1.5415	16Mo3



Teräsmateriaalien ryhmittely CEN ISO/TR 15608 mukaan

- Standardi CEN ISO/TR 15608 määrittelee metallisten materiaalien ryhmät. Tämä luokittelu huomioi myös valmistuksen yhteydessä tehdyn lämpökäsittelyn
Seuraavassa esimerkit niistä materiaaleista, jotka voivat tulla kysymykseen vetysäiliöisen ja –putkistojen rakentamisessa:

1. Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ ja lisäksi standardi määrittelee analyysipitoisuudet (enimmäispitoisuudet) hiilelle sekä eräille seosaineille
 - 1.1 Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
 - 1.2 Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $275 \text{ N/mm}^2 \leq 360 \text{ N/mm}^2$
- 8. Austeniittisen ruostumattomat teräkset, $Ni \leq 35 \%$
 - 8.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset, joissa $Cr \leq 19 \%$
 - 8.2 Austeniittiset ruostumattomat teräkset $Cr > 19 \%$

Hitsaajan SFS-EN ISO 9606-1 mukaisen pätevyyskokeen lisäaineiden luokittelu perustuu näihin materiaaliryhmiin, esimerkiksi ryhmä 1 (1.1 ja 1.2) ovat lisäaineryhmään FM1 kuuluva ja ryhmä 8 (8.1 ja 8.2) ovat lisäaineryhmään FM5 kuuluvia.



Teräsmateriaalien ryhmittely CEN ISO/TR 15608 mukaan



SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

CEN ISO/TR 15608:fi
6

Taulukko 1 Terästen ryhmittely

Ryhmä	Alaryhmä	Teräslaji
1		Teräskset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ ja analyysipitoisuudet ovat %: $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,80$ $Mo \leq 0,70^b$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40^b$ $Ni \leq 0,5^b$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 valuteräksille) ^b $Nb \leq 0,06$ $V \leq 0,1^b$ $Ti \leq 0,05$

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

CEN ISO/TR 15608:fi
8

Taulukko 1 (päättyy)

Ryhmä	Alaryhmä	Teräslaji
6		Runsaasti vanadiinilla seostetut Cr-Mo-(Ni) teräskset
	6.1	Teräskset, joissa $0,3\% \leq Cr \leq 0,75\%$, $Mo \leq 0,7\%$ ja $V \leq 0,35\%$
	6.2	Teräskset, joissa $0,75\% < Cr \leq 3,5\%$, $0,7\% < Mo \leq 1,2\%$ ja $V \leq 0,35\%$
	6.3	Teräskset, joissa $3,5\% < Cr \leq 7,0\%$, $Mo \leq 0,7\%$ ja $0,45\% \leq V \leq 0,55\%$
	6.4	Teräskset, joissa $7,0\% < Cr \leq 12,5\%$, $0,7\% < Mo \leq 1,2\%$ ja $V \leq 0,35\%$
7		Ferrittiset, martensiittiset tai erkautuskarkenevat ruostumattomat teräskset, joissa $C \leq 0,35\%$ ja $10,5\% \leq Cr \leq 30\%$
	7.1	Ferrittiset ruostumattomat teräskset
	7.2	Martensiittiset ruostumattomat teräskset
	7.3	Erkautuskarkenevat ruostumattomat teräskset
8		Austeniittiset ruostumattomat teräskset, $Ni \leq 31\%$
	8.1	Austeniittiset ruostumattomat teräskset, joissa $Cr \leq 19\%$
	8.2	Austeniittiset ruostumattomat teräskset, joissa $Cr > 19\%$
	8.3	Manganiiseostetut austeniittiset ruostumattomat teräskset, joissa $4\% < Mn \leq 12\%$



Euroopan unionin
osarahoittama

Metallien ominaisuudet ja rakenne - yleistä

- **Seosaineet**

- Seosaineiden vaikutus puhtaan metallin ominaisuuksiin voi perustua useaan eri tekijään. Metalliseoksen olomuoto on eräs voimakkaasti vaikuttava tekijä (miten atomit ovat asettuneet toisiinsa nähden (hilarakenne), esim. austeniitti, ferriitti).
- Koska olomuotojen ominaisuudet tunnetaan, seostamisen vaikutukset tiedetään etukäteen.
- Terästä seostetaan yleensä usealla seosaineilla, joiden avulla teräksen ominaisuuksia muutetaan haluttuun suuntaan, käyttötarkoituksesta riippuen.
- Teräksen seosaineita ovat mm. hiili, mangaani, pii, alumiini, kromi, nikkeli, molybdeeni.



Metallien ominaisuudet ja rakenne - seosaineista

- **Hiili (C), Pii (Si) ja Mangaani (Mn)** ovat teräksen perusseosaineita. Nämä seosaineet nostavat teräksen lujuutta, mutta lisäävät halkeiluriskiä hitsauksessa. Tämä halkeiluriski on huomioitava erityisesti vetyputkien ja –säiliöiden valmistuksessa. Hiili lisää kovuutta, mutta huonontaa iskusitkeyttä. Pii sitoo teräksessä olevaa happea, eli tiivistää materiaalia, jolloin transitiolämpötila alenee, pienentäen näin haurasmurtumataipumusta. Mangaani parantaa iskusitkeyttä ja sitoo happea sekä rikkiä.
- **Niobia (Nb), vanadiinia (V), titaania (Ti) ja alumiinia (Al)** lisätään seokseen pieniä määriä, joten ne ovat mikroseosaineita. Nämä mikroseosaineet muodostavat teräksessä hiilen ja/tai typen kanssa pieniä erkaumia. Nämä estävät raekoon kasvua korkeissa lämpötiloissa, joko teräksen valmistusprosessin tai esimerkiksi hitsauksen yhteydessä. Pieni raekoko parantaa iskusitkeyttä ja nostaa lujuutta. Alumiini tiivistää terästä, sitomalla happea, jolloin iskusitkeys paranee. Alumiini ja titaani vaikuttavat myös vanhenemisenkestävyyteen, sitomalla typpeä.



Metallien ominaisuudet ja rakenne - seosaineista

Kromia (Cr), kuparia (Cu), molybdeenia (Mo) ja Nikkeliä (Ni) ei yleensä lisätä niukkaseosteisiin teräksiin. Mikäli niitä on, ne ovat yleensä jäännöspitoisuuksina, eivätkä oleellisesti vaikuta teräksen ominaisuuksiin. Kromi tosin parantaa mm. säänkestävyyttä ja hilseilynkestävyyttä. Kupari parantaa säänkestävyyttä ja nostaa lujuutta. Molybdeeni nostaa virumislujuutta. Nikkeli parantaa tehokkaasti iskusitkeyttä hyvinkin suuriin pitoisuuksiin saakka, teräksen muiden ominaisuuksien siitä kärsimättä.

Rikkin (S) ja fosforin (P) pitoisuudet pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena ($\leq 0,03 \%$). Nämä ovat pääasiassa ei-toivottuja epäpuhtauksia. Molemmat huonontavat teräksen iskusitkeyttä sekä lisäävät kuumahalkeiluriskiä hitsauksessa. Lisäksi korkea rikkipitoisuus huonontaa teräksen muovattavuutta. Fosforia voidaan seostaa tiettyihin teräksiin mm. säänkestävyyden parantamiseksi

Teräksessä on myös liuenneena kaasuja **typpeä (N), vetyä (H) ja happea (O)**. Typpi ja vety huonontavat teräksen vanhenemisenkestävyyttä. Vety lisää kylmähalkeiluriskiä hitsauksessa, joka huomioitava myös vetysäiliöitä ja –putkistoja rakennettaessa. Happi puolestaan aiheuttaa huokoisuutta ja huonontaa iskusitkeyttä.



Metallien ominaisuudet ja rakenne - yleistä

Seosaine	Ominaisuus			
	Lujuus	Kuumalujuus, Virumislujuus	Iskusitkeys	Hitsattavuus
Hiili (C)	++	+	--	--
Pii (Si)	+	+	+ -	+
Mangaani (Mn)	+		+	+
Fosfori (P)	+++	+	---	---
Rikki (S)			--	--
Molybdeeni (Mo)	+	+	-	-
Kromi (Cr)	+	+	-	-
Nikkeli (Ni)	+	+	+	+
Alumiini (Al)	+		+	+
Niobi (Nb)	+	+	+	+
Vanadiini (V)	+	+	+	+
Kuvassa merkillä: "+" Ominaisuutta parantava vaikutus "-" Ominaisuutta heikentävä vaikutus				

Kuva: Alkuaineiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin (seosaineet ja "epäpuhtaudet")



Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset vetysäiliöissä ja -putkissa



Euroopan unionin
osarahoittama

Rauta-hiiliseokset - "Hiiliteräkset"

- Aikaisemmin mainittua *"Maanalaiset vedyn siirtoputkistot tehdään järeästä hiiliteräksestä."*
- **Hiiliteräs on seostamaton teräs**, joka koostuu pääasiassa raudasta ja hiilestä. Hiiliteräksen hiilipitoisuus vaihtelee yleensä välillä 0,05 - 1,7 %. Jos hiilipitoisuus ylittää 1,7 %, materiaalista tulee valurautaa. Hiilen määrä vaikuttaa merkittävästi teräksen ominaisuuksiin, kuten vetolujuuteen, sitkeyteen ja muovattavuuteen. Hiiliteräs on tärkeä materiaali konepajoille ja koneistajille sen tarjoamien monipuolisten ominaisuuksien vuoksi.



Rauta-hiiliseokset - ”Hiiliteräkset”

Hiiliteräkssessä voi esiintyä erilaisia mikrorakenteita, joista kukin tarjoaa omat erityiset ominaisuutensa. Näitä mikrorakenteita ovat muun muassa martensiitti, austeniitti, ferriitti, sementiitti, bainiitti ja perliitti.

-Ferritti: Pehmeää, sitkeää ja muovautuvaa.

-Sementiitti: Erittäin kovaa ja haurasta. Harvemmin haluttu mikrorakenne koneistuksessa.

- **-Perliitti:** Yhdistää ferriitin ja sementiitin ominaisuuksia, mikä tekee siitä vetolujuudeltaan hyvän ja sitkeän.
- **-Austeniitti:** Pehmeä ja sitkeä, mutta voi lujittua muokattaessa. Sopii hyvin kylmämuokkaukseen.
- **-Martensiitti:** Erittäin kovaa ja lujaa, mutta hauraampaa. Parantaa leikkuukestävyyttä mutta voi kuluttaa työkalut nopeasti.
- **-Bainiitti:** Kohtalaisen kovaa, lujaa ja sitkeää. Hyvä kompromissi kulutuskestävyyden ja sitkeyden välillä.
- **Hiiliteräs on perinteinen ja monipuolinen materiaali.** Hiilen määrä vaikuttaa merkittävästi teräksen ominaisuuksiin, ja erilaiset mikrorakenteet sekä lämpökäsittelyt mahdollistavat erilaisten loppukäyttösovellusten tarpeet. Hiiliteräkset tarjoavat hyvän lujuuden, koneistettavuuden ja muokattavuuden, mikä tekee niistä keskeisen materiaalin koneistusprosesseissa ja lopputuotteiden valmistuksessa.



Rauta-hiiliteräket - Ominaisuuksista

- **Hiiliteräs**, kuten teräs yleensä on **rautavaltainen seos**, joka sisältää hiiltä ja monia muita seosaineita.
- Terästä pidetään aikakautemme tärkeimpänä metallisena rakenneaineena, jonka yksi erittäin tärkeä ominaisuus on sen muunneltavuus esimerkiksi seostuksen ja lämpökäsittelyn avulla. Kun hiilen määrä teräksessä nousee yli $\sim 2,0\%$, sitä aletaan kutsua **valuraudaksi**.
- Seostuksen avulla pystytään vaikuttamaan teräksen ominaisuuksiin ja laatuun. Terästä kutsutaan seostetuksi, kun siinä olevien seosaineiden määrä on suurempi kuin siinä olevan hiilen määrä.
- Seosaineiden lisäksi teräkseen pääsee monesti myös haitallisia epäpuhtauksia, jotka voivat heikentää jossain määrin teräksen ominaisuuksia.



Rauta-hiiliteräokset - Ominaisuuksista

- Vedyn siirtoputkistossa vältetään liian lujien teräslaatuojen käyttöä, koska ne ovat alttiimpia vetyhauraudelle. Kokemusten perusteella lujuusluokaltaan soveltuvia teräslaatuja ovat esim. SFS-EN ISO 3183 L360 tai API 5L Grade X52 tai lujuudeltaan alhaisemmat teräslaadut. Näillä hiiliteräslaaduilla on suhteellisen alhainen myötölujuus, mikä antaa kestävyyttä vetyhaurautta ja muita haurasmurtumamekanismeja vastaan.
- Vety pystyy pienimolekyylisenä kaasuna tunkeutumaan korkeissa paineissa metallin sisälle. Terästen soveltuvuuteen vetykäytössä vaikuttavat useat eri tekijät, kuten kemiallinen koostumus, lämpökäsittely, mekaaninen käsittely, mikrorakenne, epäpuhtaudet, jäännösjännitykset ja lujuus. Lujissa hiiliteräksissä, nikkelseoksissa, titaaneissa ja tietyissä ruostumattomissa teräksissä (esim. 17-7PH, UNS S17700) materiaaliin tunkeutunut vety aiheuttaa merkittävää sitkeyden laskua eli vetyhaurastumista.

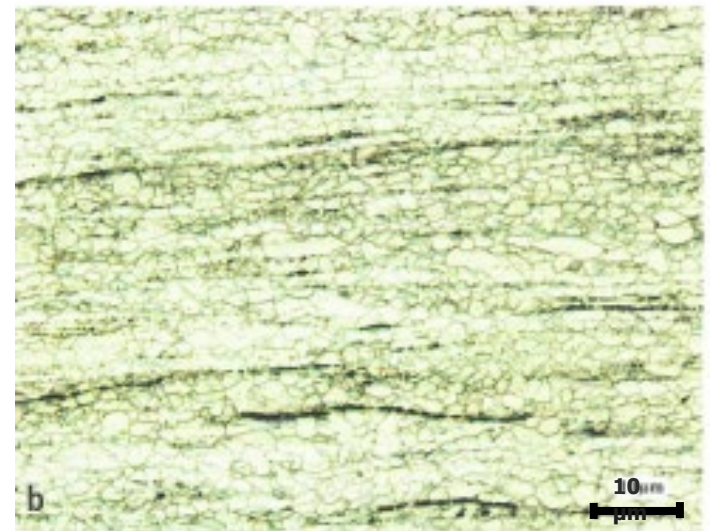
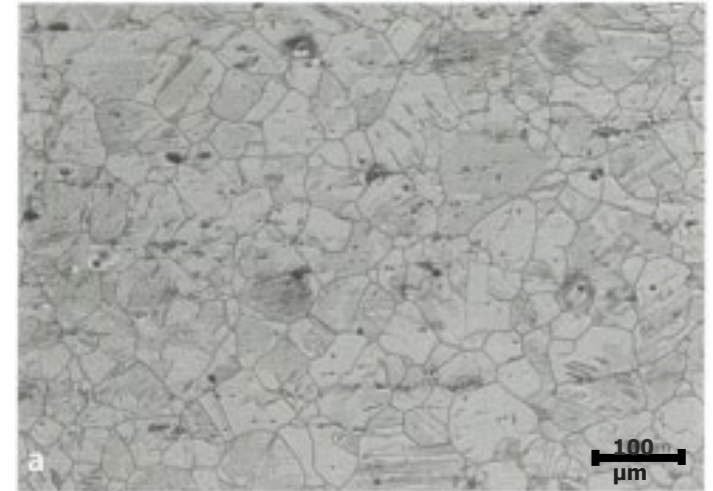


Rauta-hiiliteräkset - Raekoko

- Teräs on rakeinen materiaali ja raekoko on merkittävimpiä nykyaikaisten terästen mikrorakenteen laatukriteereitä. Kaupallisten tuotteiden yhteydessä puhutaan mm. hienoraeteräksistä.
- Teräksen rae voi olla suuruudeltaan jopa useita senttejä, mutta tavanomainen valssatun teräksen raekoko on suuruusluokkaa 10 – 100 μm . Nykyisillä valomikroskoopeilla pystytään tutkimaan 1 μm kokoluokkaa.

Yläkuvassa tavanomainen raekoko (Kuvälähde: Kauppi, 2014)

Alakuvassa erittäin pieni raekoko (kuvälähde: Leinonen 2015)

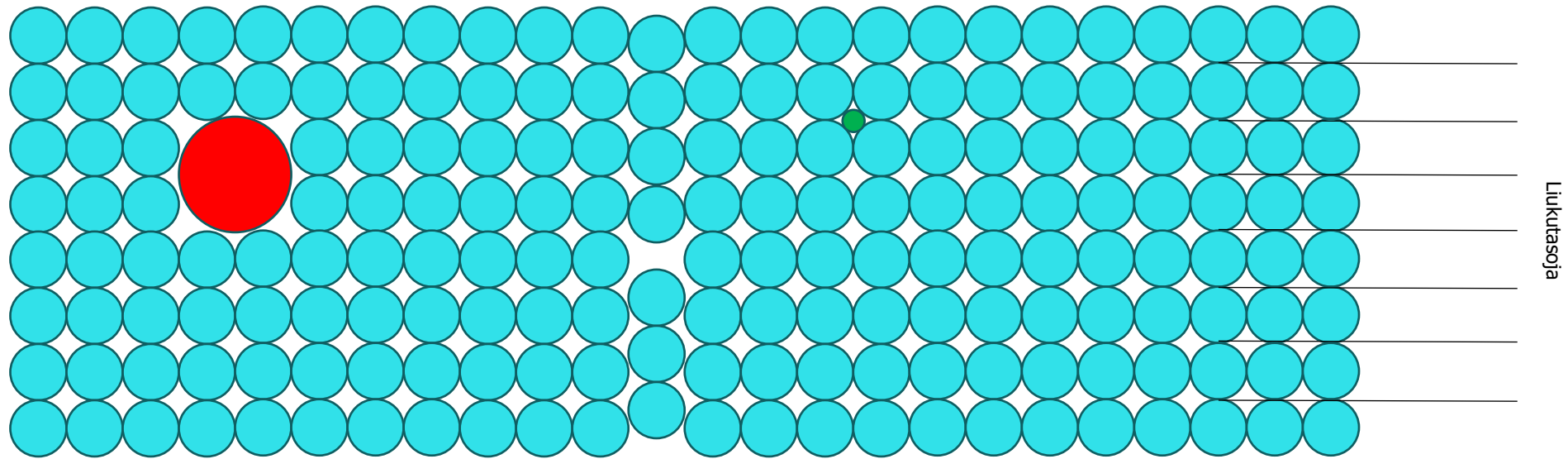


Rauta-hiiliteräket - Raekoko

- Raerajat vastustavat dislokaatioiden liikettä, joten ne jarruttavat teräksen plastista muodonmuutosta, eli **pieni raekoko lujittaa terästä**.
- Hienon raekoon lisäksi metallin rakenteeseen pyritään valmistusvaiheessa saamaan aikaan hilavikoja. Vaikka ne ovat "vikoja," niin ne vastustavat dislokaatioiden liikettä, eli lujittavat terästä.
- Aikaisemmin on todettu, että vety tunkeutuu materiaalin sisään ja kulkeutuu jopa sen läpi. Raerajat ovat materiaalissa "epäjatkuvuuskohtia," joihin vety saattaa jäädä loukkuun. Pienirakeisessa hienoraeteräksessä näitä raerajoja on enemmän ja siksi lujia teräksiä pyritään välttämään vedyn kanssa tekemisissä olevissa rakenteissa, kuten vetyputkistoissa ja -säiliöissä.



Rauta-hiiliteräkset – Liukutasot



**Teräs on niin lujaa, miten lujasti
atomit pitävät toisistaan kiinni.**

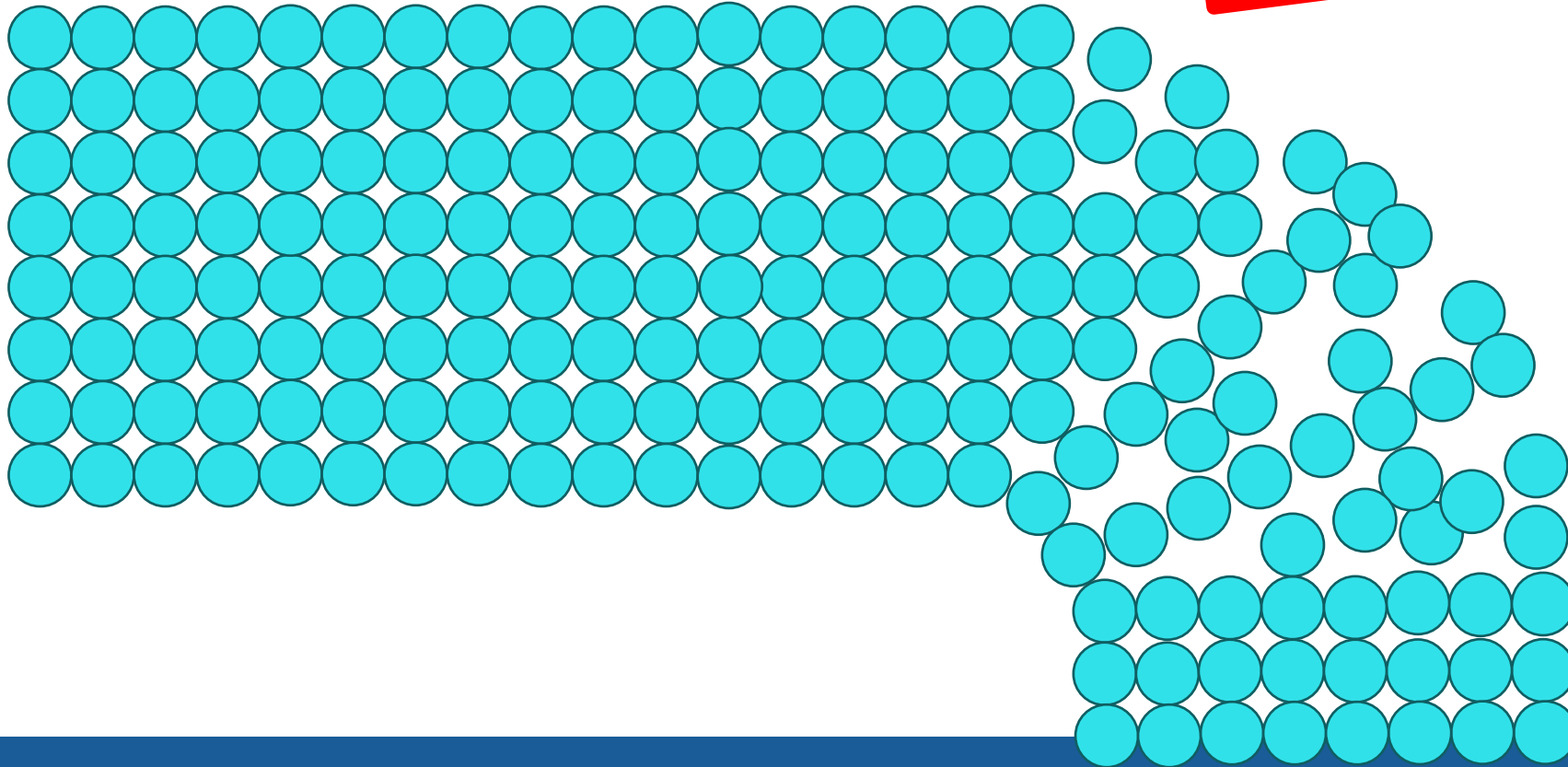
**Terästä kuormitettaessa,
muodonmuutokset tapahtuvat
siirtymänä liukutasoja pitkin.
"Tarkoituksellisilla" hilavioilla
pyritään estämään tätä liikettä.**



Euroopan unionin
osarahoittama

Rauta-hiiliteräket – Liukutasot

Mitä tapahtuu, kun ulkoinen jännitys (voima) ylittää atomien välisen voiman.



Rauta-hiiliteräkset - Hitsattavuus

- Hiiliterästen (mustien terästen) **keskeisin hitsattavuuteen vaikuttava kriteeri on hiiliekvivalentti** (CE, C-ekv). Hiiliekvivalenttiin vaikuttaa monet muutkin seosaineet kuin hiili ja se kuvaakin seosaineiden yhteisvaikutusta.
- Hiiliekvivalentti vaikuttaa merkittävästi teräksen vetyhalkeilutaipumukseen, koska se kuvaa myös teräksen karkenevuutta

Termistä esikuumennus huolimatta, sillä vaikutetaan ensisijaisesti hitsauksen jälkeiseen aikaan, eli jäähtymisnopeuteen.

Hiiliekvivalentti voidaan laskea kaavalla

$$\text{C-ekv [\%]} = \text{C} + \frac{\text{Mn (\%)}}{6} + \frac{\text{Cr (\%)} + \text{Mo (\%)} + \text{V (\%)}}{5} + \frac{\text{Ni (\%)} + \text{Cu (\%)}}{15}$$

Hiiliekvivalentin perusteella voidaan arvioida hitsausliitoksen esikuumennuksen tarve

C-ekv < 0,40 p-%: ei yleensä tarvita esikuumennusta

C-ekv 0,40 – 0,50 p-%: ei tarvita esikuumennusta pienillä aineenvahvuuksilla ja niukkavetyisillä lisäaineilla. Suurilla aineenvahvuuksilla yleensä tarvitaan esikuumennus

C-ekv > 0,50 p-%: tarvitaan esikuumennus, niukkavetyiset lisäaineet ja mahdollisesti vielä jälkikuumennus



Miksi hiiliteräs on hyvä ja käytetty valinta maanalaisiin vetyputkiin?

- **Kustannustehokkuus**

- Hiiliteräs on huomattavasti edullisempaa kuin erikoisseokset tai ruostumattomat teräkset, mikä on kriittistä pitkissä putkilinjoissa. Lisäksi katodinen suojaus varmistaa hiiliteräksen korroosionkestävyyden riittävän pitkäksi aikaa.

- **Hyvä mekaaninen lujuus ja hitsattavuus**

- Matalahiiliset teräkset ovat ”helppoja hitsata” ja kestävät mekaanista rasitusta hyvin, kun hitsaus tehdään oikein.

- **Laaja käyttökokemus**

- Hiiliteräsputkia on käytetty laajalti öljy-, kaasu- ja vetynfrastruktuureissa jo vuosikymmenten ajan – etenkin matalapaineisissa tai keskipaineisissa sovelluksissa.

Esimerkkejä käytössä olevista ratkaisuista

Yhdysvalloissa ja Euroopassa on jo tuhansia kilometrejä H₂-putkistoja käytössä, erityisesti teollisuuden käyttöön (esim. kemianteollisuus). Monet näistä on rakennettu **hiiliteräksestä**, ja ne ovat toimineet **kymmenien vuosien ajan**, kun yllä oleva turvallisuusprotokolla on noudatettu.

Uudemmissa projekteissa sovelletaan standardeja kuten **ASME B31.12 (Hydrogen Piping and Pipelines)** ja **ISO 15156** (vetyrikastumisesta).



Hiiliteräksen käytön haasteet vedyn kanssa

- **Vetymurtuma-alttius (hydrogen-induced cracking, HIC)**
 - Pitkäaikaisessa H₂-altistuksessa erityisesti **korkealujuuksiset hiiliteräokset** voivat haurastua tai murtua.
 - Riskit kasvavat korkeissa paineissa ja lämpötiloissa.
- **Korroosio maan alla**
 - Maaperän kosteus ja kemiallinen koostumus voivat aiheuttaa ulkopuolista korroosiota, mikä voi yhdessä vedyn kanssa lisätä haurastumisriskiä.
 - Tarvittaessa **ulkoinen pinnoite** ja usein **katodinen suojaus** (CP-järjestelmä).
- **Rikkivedyn (H₂S) tai kosteuden vaikutus**
 - Jos vety ei ole täysin puhdasta, rikkivedyn tai vesihöyryn läsnäolo voi kiihdyttää vetymurtumista.
 - Tämä tulee huomioida suunnittelussa ja materiaalivalinnassa.



Edellytykset hiiliteräksen turvalliselle käytölle vetyputkistoissa ja -säiliöissä

Vaatus	Kuvaus
Materiaalin valinta	Käytetään matala- tai keskilujuuksisia hiiliteräksiä (esim. API 5L Gr. B tai X42–X60), jotka ovat vähemmän alttiita vetymurtumille.
Rajoitettu vetypaine ja lämpötila	Tyypillisesti hiiliterästä käytetään alle ~100 bar ja kohtuullisissa lämpötiloissa (ei korkeissa HTHP-sovelluksissa).
Hitsaustarkkuus	Käytetään tarkkoja hitsausproseduureja (WPS/PQR), minimoidaan vetyrikastumisen riski hitsaustilanteessa.
Jälkilämpökäsittely (PWHT)	Tarpeen jännitysten poistoon ja vedyn hajottamiseen kriittisissä liitoksissa.
Vuoto- ja rikkotestaukset	Putkisto testataan tiukoin standardein (esim. API 1104, ASME B31.12).
Ulkoisen suojaus	Maaperän korroosiota vastaan käytetään pinnoitteita ja katodista suojausta.



Ruostumattomat teräkset vetysäiliöissä ja putkistoissa

- Ruostumattomiksi teräksiksi (stainless steel) kutsutaan sellaisia matalan hiilipitoisuuden rautaseoksia, joiden pääseosaineen pitoisuus on vähintään 10,5 %. Usein käytetään myös nimitystä runsasseosteiset ruostumattomat teräkset.
- Lisäksi ruostumattomat teräkset voivat sisältää nikkeliä (Ni) ja mangaania (Mn), jotta mikrorakenne (pkk) saadaan osittain tai kokonaan austeniittiseksi.
- Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyyttä voidaan edelleen parantaa seostamalla sitä kromin lisäksi modybleenillä (Mo) sekä austeniittisferriittisessä ruostumattomassa teräksessä tyypellä (N).
- Ruostumattomien terästen käyttö vetysäiliöissä ja putkistoissa rajoittuu vetylaitosalueen putkistoihin, säiliöihin, putkistokannakkeisiin sekä laitosalueen teräsrakentamiseen sekä kuljetussäiliöihin. Pitkissä siirtoputkistoissa sen käyttäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa



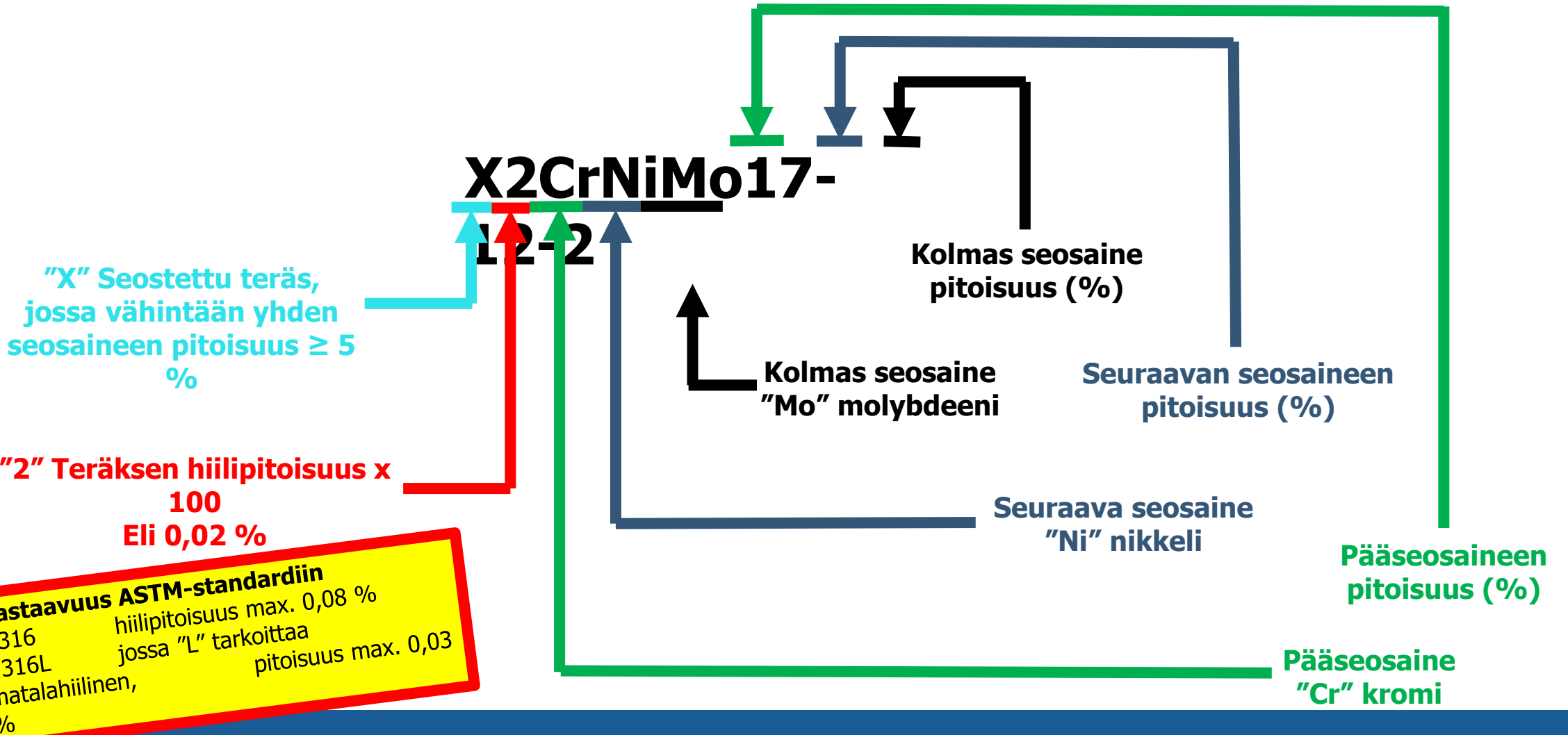
Ruostumattomat teräkset – Standardien vastaavuus

EN-Standardi / Teräsnumero	EN-Standardi / Teräsnimike	ASTM-Standardi / Tyyppi
1.4016	X6Cr17	430
1.4512	X6CrTi12	409
1.4372	X5CrNiMn17-5-6.5	201
1.4310	X10CrNi18-8	301
1.4318	X2CrNi18-7	301LN
1.4307	X2CrNi18-9	304L
1.4306	X2CrNi19-11	304L
1.4311	X2CrNi18-10	304LN
1.4301	X5CrNi18-10	304
1.4948	X6CrNi18-11	304H
1.4303	X5CrNi18-12	305
1.4541	X6CrNiTi18-10	321
1.4878	X12CrNiTi18-9	321H
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316
1.4406	X2CrNiMoN17-12-2	316LN
1.4432	X2CrNiMo17-12-3	316L
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	316L
1.4436	X3CrNiMo17-13-3	316
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti
1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	316LN
1.4438	X2CrNiMo18-15-4	317L
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904



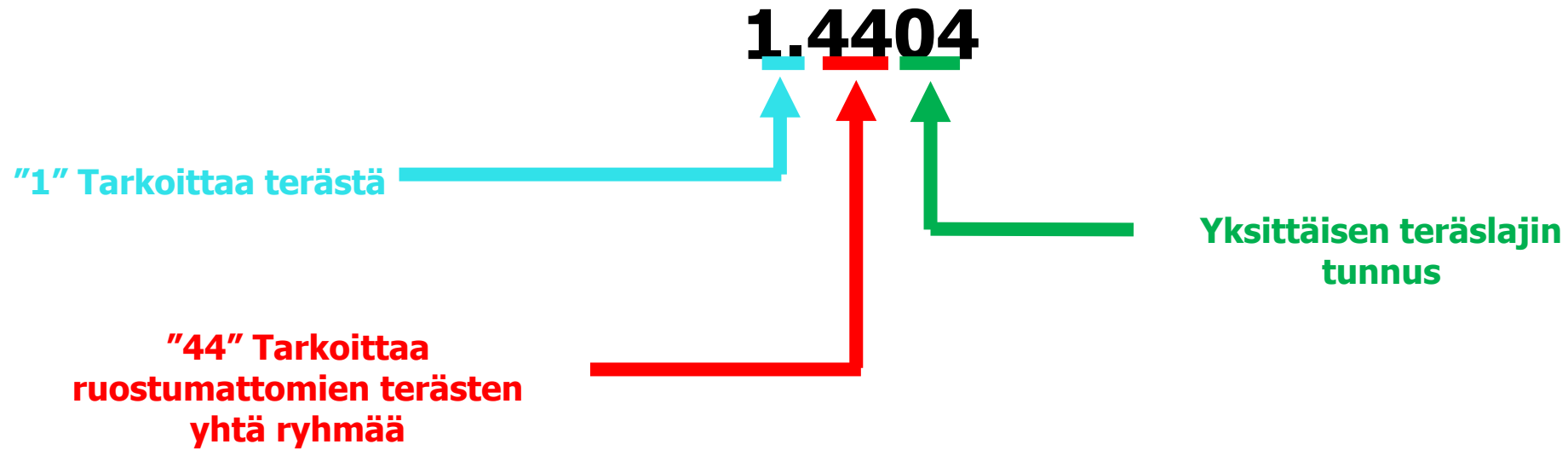
Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset – teräsnumike EN-standardin (10027-1) mukaan

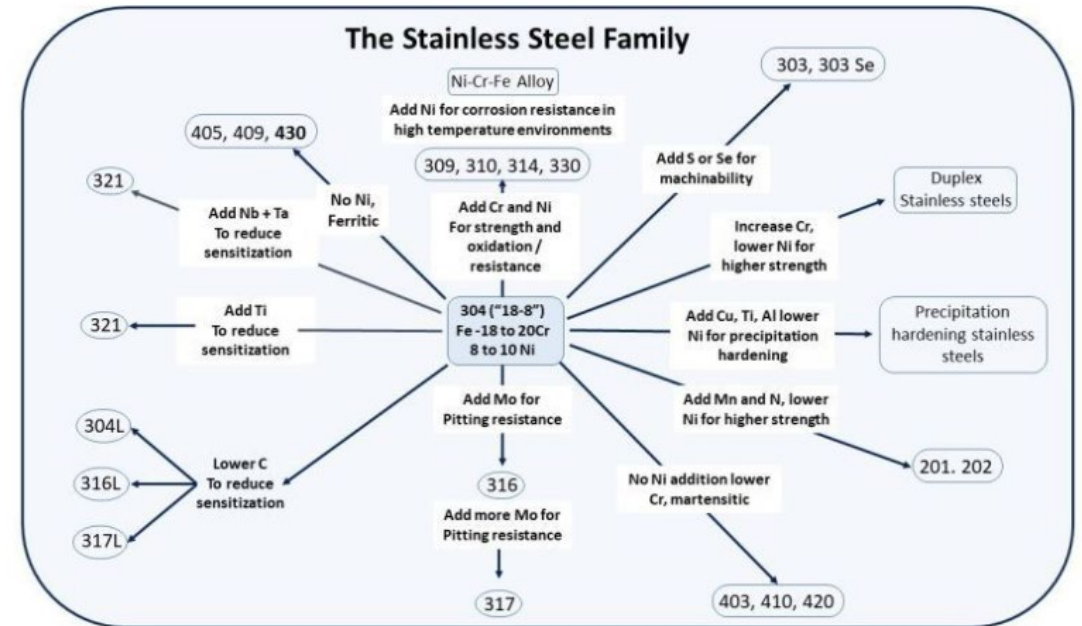


Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräket – teräsnumero EN-standardin (10088) mukaan



Ruostumattomat teräkset – ryhmät ASME:n mukaan



A short map of various grades of stainless steel and how they fit into distinct metallurgical families.

Ruostumattomat teräkset



- Austeniittiset ruostumattomat teräkset kestävät yleisen käsityksen mukaan paremmin vetykäytössä haurastumatta. Hapon kestävien terästen (esim. AISI 316/316L, EN 1.4404) vetyhauraustaipumus on pienempi, kuin ruostumattomien (esim. AISI 304/304L, EN 1.4307) terästen. Ruostumattomien terästenkin tapauksessa on materiaalin valinnassa oltava huolellinen ja huomioitava myös eri valmistustekniikoiden kuten hitsauksen ja kylmämuovauksen aiheuttamat vaikutukset teräksen mikrorakenteeseen ja siten vedyn kestoön.



Ruostumattomat teräkset

- **Ruostumattoman teräksen ruostumattomuus perustuu** kromiseoksen tärkeään merkitykseen siinä, että materiaalin pintaan muodostuu korroosiolta suojaava ohut oksidikerros.
- Puhtaassa raudassa tämä oksidikerros ei ole kovinkaan pysyvä, mutta kun siihen seostetaan kromia vähintään 11 %, metalli muodostaa ilmassa olevan hapen vaikutuksesta tai avulla passiivikerroksen pintaansa. Tämä tiivis kerros suojaa metallia liukenemasta.
- Ruostumattomiin teräksiin luetaan kuuluvaksi kolme lähinnä niiden käyttötarkoitukseen perustuvaa teräsryhmää, jotka on määritelty eurooppalaisissa materiaalistandardeissa.
Tässä materiaalissa käsitellään korroosionkestäviä ruostumattomia teräksiä.
Muut ruostumattomiin teräksiin luokiteltava ovat tulenkestävät ja kuumalujat teräkset.



Ruostumattomat teräkset - Passivointikerros

- **Passiivikerroksen ominaisuudet:**

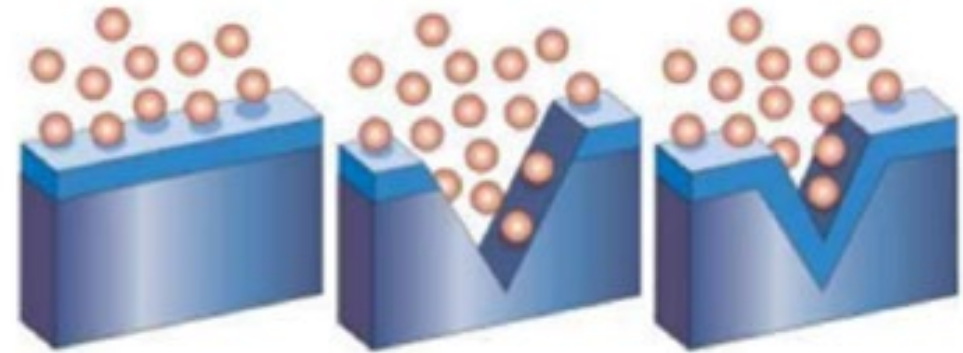
- Happitiivis ja hyvin korroosiota kestävä
- Paksuus 5-15 nm (1 nm = 0,000001 mm)
- Sisältää paljon kromia, nikkeliä ja molybdeeniä
- Näkymätön

Passiivikalvon muodostuminen:

- Kasvaa itsestään ilmassa olevan hapen vaikutuksesta
- Kasvaa myös hapettavassa vedessä
- Kasvaa uudelleen paikkaan, jossa kerros vaurioitunut
- Kasvua voidaan lisätä ja kiihdyttää passiivointiaineilla

Passiivointiaineita:

- Typpihappo (20-50 % HNO_3 , 50-60 °C, 10-30 min)
- Vetyperoksidi
- Sitruunahappo



Kuvalähde: Outokumpu Oy



Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset

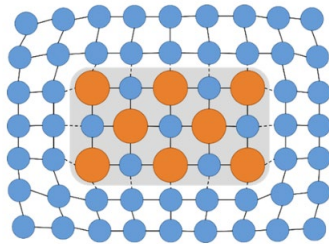
- **Korroosionkestäviä ruostumattomia** teräksiä käytetään pääasiassa **sähkökemiallista korroosiota** vastaan sellaisissa olosuhteissa, jossa elektrolyytinä toimiva neste esim. vesiliuos eri muodoissaan (nestemäinen liuos tai vesihöyry) on läsnä.
- Nämä teräkset ovat esitetty standardissa EN 10088, joka sisältää neljä osaa.
- **Korroosiota kestävät ruostumattomat teräkset ovat** käyttötarkoitusten ja valmistusmäärien osalta ylivoimaisesti suurin ruostumattomien terästen ryhmä, kattaen teräksisiä kulutustavaroita ja **teollisuuden prosesseista** aina rakennusten kantaviin rakenteisiin saakka.



Ruostumattomat teräkset – neljä pääryhmää

Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Ferriittiset korroosionkestävät teräkset ovat kokonaan tai lähes kokonaan tkk-hilarakenteen omaavaa ferriittiä, joissa rautaan on seostettu n. 10,5-20 % kromia.



Martensiittiset ja erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset

Martensiittisten terästen seostus on tasapainoitettu siten, että ne muuttuvat korkeissa lämpötiloissa austeniittisiksi ja karkenevat nopeassa sammutuksessa. Teräkset ovat 11-17 % kromia sisältäviä ns. kromiteräksiä, joiden karkenevuutta lisäävät hiilen, mangaanin jne. seostus. Teräkset toimitetaan asiakkaille joko pehmeäksi hehkutettuina tai sammutus+päästö suoritettuna.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset

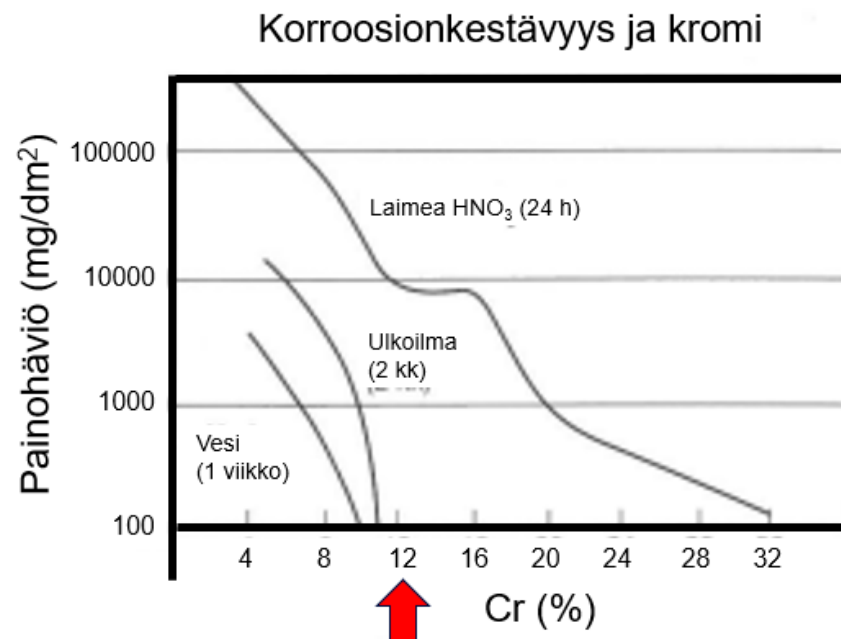
Austeniittiset korroosionkestävät teräkset sisältävät 16-20 % kromia, jopa 24 % kromiseostuksen lisäksi nikkeliä ja mangaania tasapainottamaan mikrorakenne huoneenlämpötilassa lähes kokonaan tai kokonaan pkk-hilarakenteen omaavaksi austeniitiksi. Myös tyypeä käytetään stabiloimaan austeniittista mikrorakennetta ja lisäämään lujuutta. Korroosionkestävyys paranee austeniittisissa teräksissä kromin lisäksi molybdeeni- ja typpi seostuksen avulla.

Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat (duplex)-teräkset

Duplex-teräksissä mikrorakenteen ferriittis/austeniittis-suhde on n. 50 % / 50 %. Niissä käytetään samoja seosaineita kuin austeniittisissä teräksissä, mutta ferriittiä ja austeniittia suosivien alkuaineiden suhde painottuu enemmän ferriittiä suosiviin kuin austeniittisissa teräksissä, eli esim. kromipitoisuudet ovat korkeampia (yli 20 %) kuin austeniittisissa yleensä.



Ruostumattomat teräkset – Kromin vaikutus seosaineena



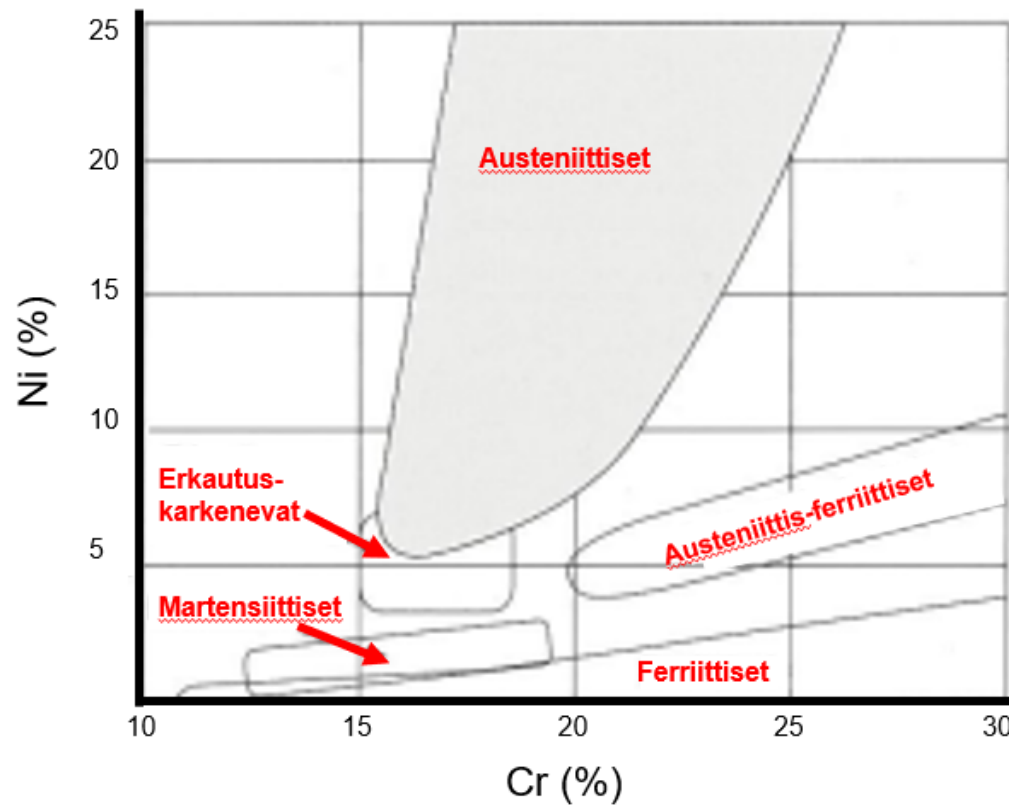
Kromin vaikutus raudan korroosionopeuteen vedessä, ilmassa ja lievässä typpihapossa.

Kuvalähde (referoitu): Tunturi, P.J. (päätoimittaja), Korroosiokäsikirja, Suomen Korroosioyhdistys SKY, Hanko 1988, Luku 10.2
Ruostumattomat teräkset.



Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset



Ruostumattomat teräkset kromi-nikkeli-pitoisuuden mukaan.



Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset – ominaisuuksia

Teräsryhmä	Magneettisuus	Lämmönjohtavuus 20 °C W/Km	Pituuden lt. kerroin 20-100 °C 10 ⁻⁶ 1/K	Kimmomoduuli 20 °C 10 ⁵ N/mm ²	Tiheys 20 °C g/cm ³	Resistiivisyys 20 °C Ω mm ² /m
Ferriittiset	On	23-25	10-10,5	2,2	7,7	0,6-0,7
Martensiittiset	On	25	10,5	2,2	7,7	0,6-0,7
Austeniittiset	Ei	13-15	15-17,5	2,0	7,9-8,0	0,7-1,0
Austeniittis-ferriittiset	On	16	13	2,0	7,8	0,8

Ruostumattomien terästyyppien fysikaalisia ominaisuuksia. Kuvälähde (referoitu): Antero Kyröläinen, Juha Lukkari, Ruostumattomien terästen hitsaus, 2002.

Terästyyppi	Terässtandardi EN	Likvidus °C	Soliidus °C	Jähmettymisalue °C
Niukkaseosteinen	1.0566	1514	1440	75
Ferriittinen	1.4000	1500	1435	65
Austeniittis-ferriittinen	1.4460	1465	1390	75
Austeniittinen	1.4301	1452	1365	90
	1.4401	1419	1330	85
	1.4539	1389	1305	85

Terästyyppien likvidus- ja soliduslämpötilat ja niiden perusteella lasketus jäähmettymisalueet (puuroalueet). Kuvälähde (referoitu): Antero Kyröläinen, Juha Lukkari, Ruostumattomien terästen hitsaus, 2002.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

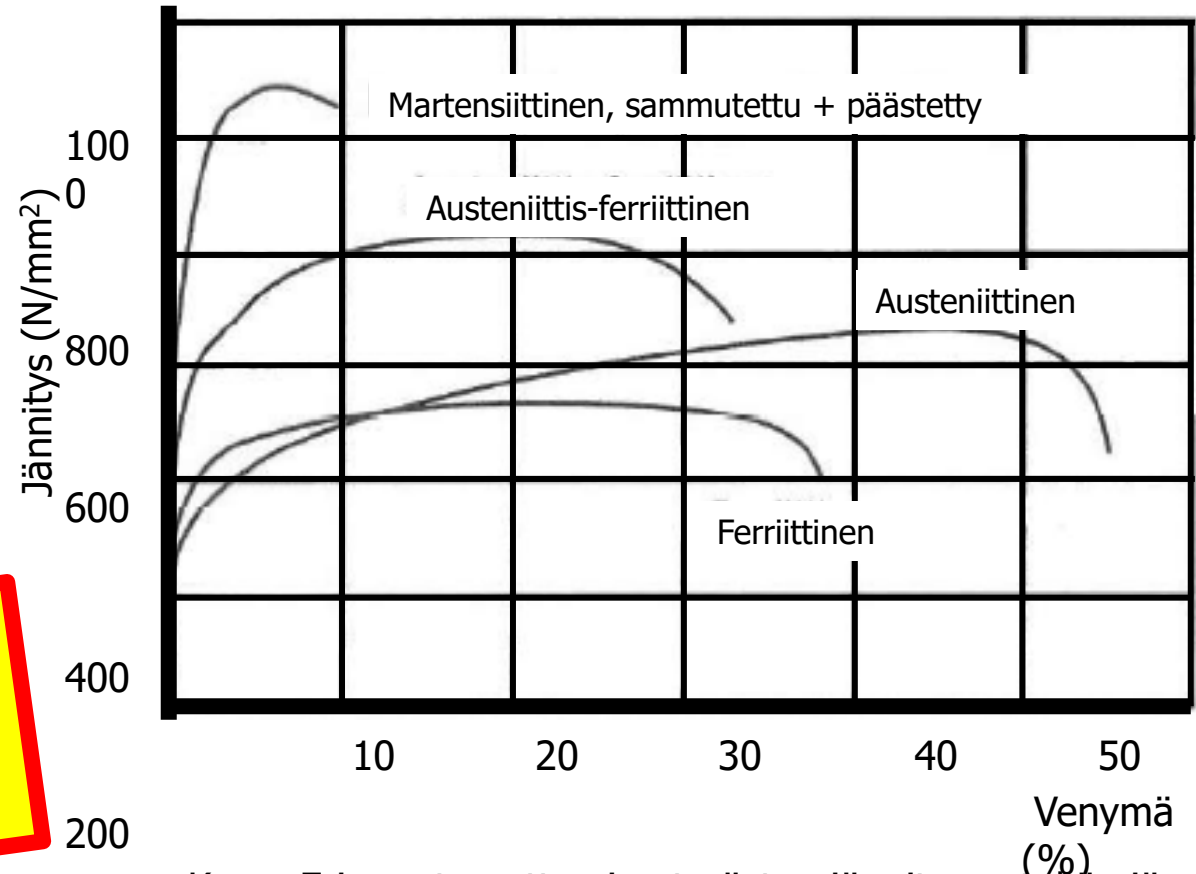
Ruostumattomat teräkset – eri teräslaatuojen jännitys-venymäkäyrä

Ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyrä eroaa hiiliteräksen jännitys-venymäkäyrästä.

Keskeisin ero on käyrän muodossa.

Hiiliteräksen käyrä on tyypillisesti lineaarinen ns. ylempään myötörajaan saakka ja sen jälkeen käyrä on tasainen muokkauslujittumiseen saakka.

Ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyrä on epälineaarisempi ilman selvästi määritettävää myötörajaa.



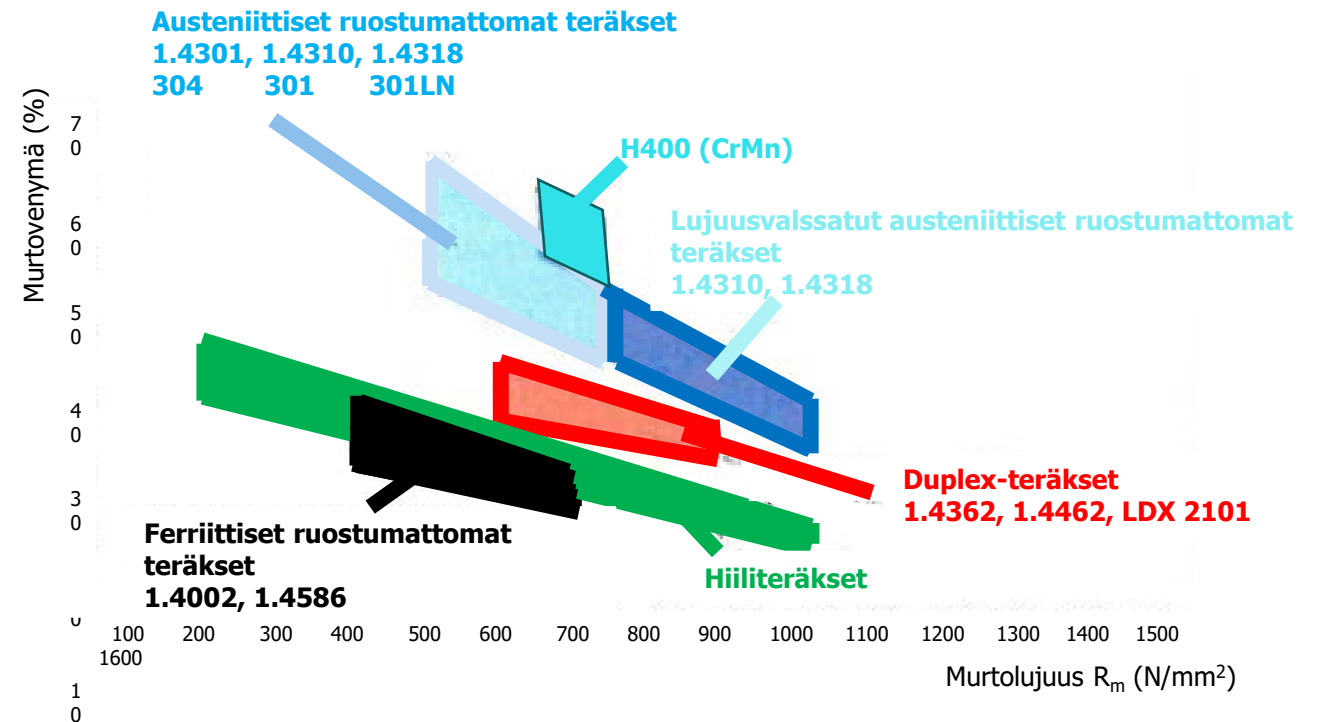
Kuva: Eri ruostumattomien terästen jännitys-venymäkäyriä

Koska ruostumattomalla teräksellä **ei ole selvää myötörajaa**, kuten hiiliteräksillä, **käytetään mitoituksessa ns. 0,2-rajaa** (nollakaksi), joka on 0,20 % pysyvää myötymää vastaavana rajana ($R_{p0,2}$).



Ruostumattomat teräkset – lujuus/sitkeys

Ruostumattomat teräkset sijoittuvat lujuus/sitkeys – ominaisuuksien osalta hyvin laajalle alueelle, joten on oleellista, että valitaan sen suhteen juuri oikea teräs kohteeseensa



Ruostumattomien terästen asettuminen lujuus (R_m), sitkeys (murtovenymä-%) –kenttään kuvalähde (referoitu): Outokumpu



Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset – teolliset käyttökohteet

Austeniittiset ruostumattomat teräkset:

- Happosäiliöt
- Putket
- Paperikoneet
- Auton katalysaattorit
- Pakoputket
- Rakennusteollisuus
- Merivesiolosuhteet

Duplex-ruostumattomat teräkset:

- Pulp & paper sektori
- Rannikon ilmasto kestävät kohteet
- Meriympäristössä veden pinnan
yläpuoliset rakenteet

Ferriittiset ruostumattomat teräkset:

- Rakennusten julkisivut
- Kuljetusvälineet
- Linja-autojen kantava runko
- Siltojen vuoraus (julkisivu)
- Kaapelihyllyt
- Rautatieinfran rakenteet
- Katsomotakenteet
- Kulumista kestävät kohteet



Ruostumattomat teräkset

Kuva: Myllysilta (Turku). Sillan alapuolen
verhoilulevyt ferriittistä ruostumatonta terästä
(Matti Peltola, 2025)



Euroopan unionin
osarahoittama

Ruostumattomat teräkset - hitsattavuus

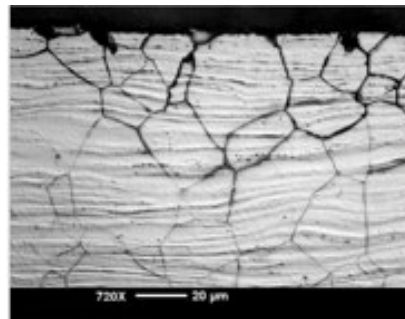
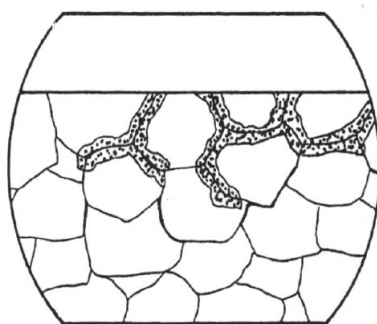
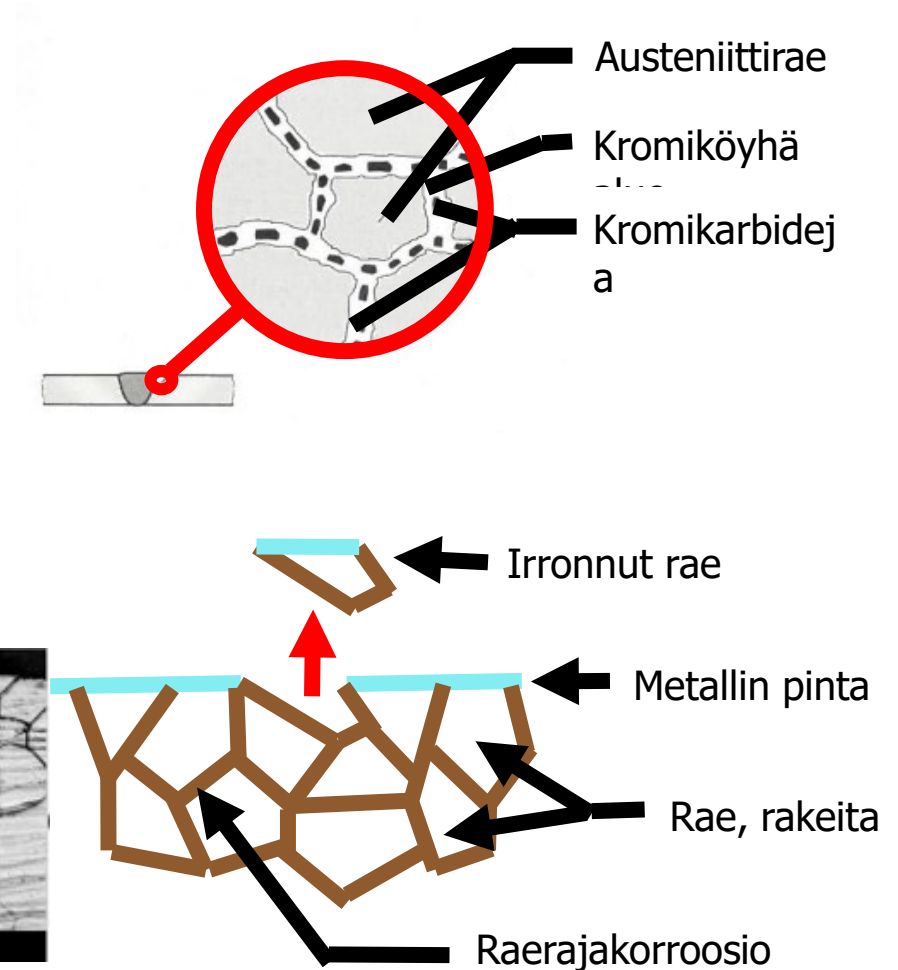
- **Useimpien ruostumattomien terästen hitsattavuus on hyvä.**
- **Hitsauksen esivalmistukseen** on kuitenkin kiinnitettävä erilaista huomiota, kuin ns. mustalla teräksellä. Erityisesti railopintojen, lisäaineiden ja kaasun **puhtauteen tulee kiinnittää huomiota.**
- Ruostumattoman teräksen **korroosionkestävyys voi heikentyä hitsauksen jälkeen.** Materiaaliominaisuuksien palauttamiseksi liitos **edellyttää jälkikäsittelytoimenpiteitä.**
- **Tuotannossa** tulee myös kiinnittää huomiota tilojen **puhtauteen** ja ruostumattomien terästen varastointiin.
- Railomuodosta ja tuotemuodosta riippuen suositellaan käytettäväksi **juurikaasua.**
- Punahehkuisena käyvä metalli tulee suojata **inertillä suojakaasulla.**
- **Lämmöntuontia suositellaan usein rajoitettavan,** jotta haitallisen mikrorakenteen muodostuminen jää mahdollisimman vähäiseksi.
- **Karbidien muodostuminen** on yksi yleisin huoli ruostumattomien terästen hitsauksessa, Niiden välttämiseksi suositellaan vähähiilisiä seoksia, esimerkiksi X2CrNiMo17-12-3 (316L).
- Karbidit muodostuvat ruostumattoman teräksen raerajoille noin 426– 899 °C lämpötila-alueella, jolla alueella hitsausliitoksen jäähtymisen tulisi olla mahdollisimman nopeaa.
- Toinen merkittävä ongelma on **sigmafaasin muodostuminen**, eli 475-hauraus. Tästä syystä kannattaa rajoittaa lämmöntuontia ja paksummissa aineissa käyttää alle 150 °C välipalkolämpötilaa.
- **Jäähtymisnopeus ei saa olla liian pienikään,** jolloin hitsisula jähmettyy ferriittisenä ja austeniittisenä. Tällöin esimerkiksi duplex-teräkseen muodostuu liian ferriittinen mikrorakenne, joka puolestaan heikentä äteräksen sitkeyttä, lujuutta ja korroosionkestävyyttä.



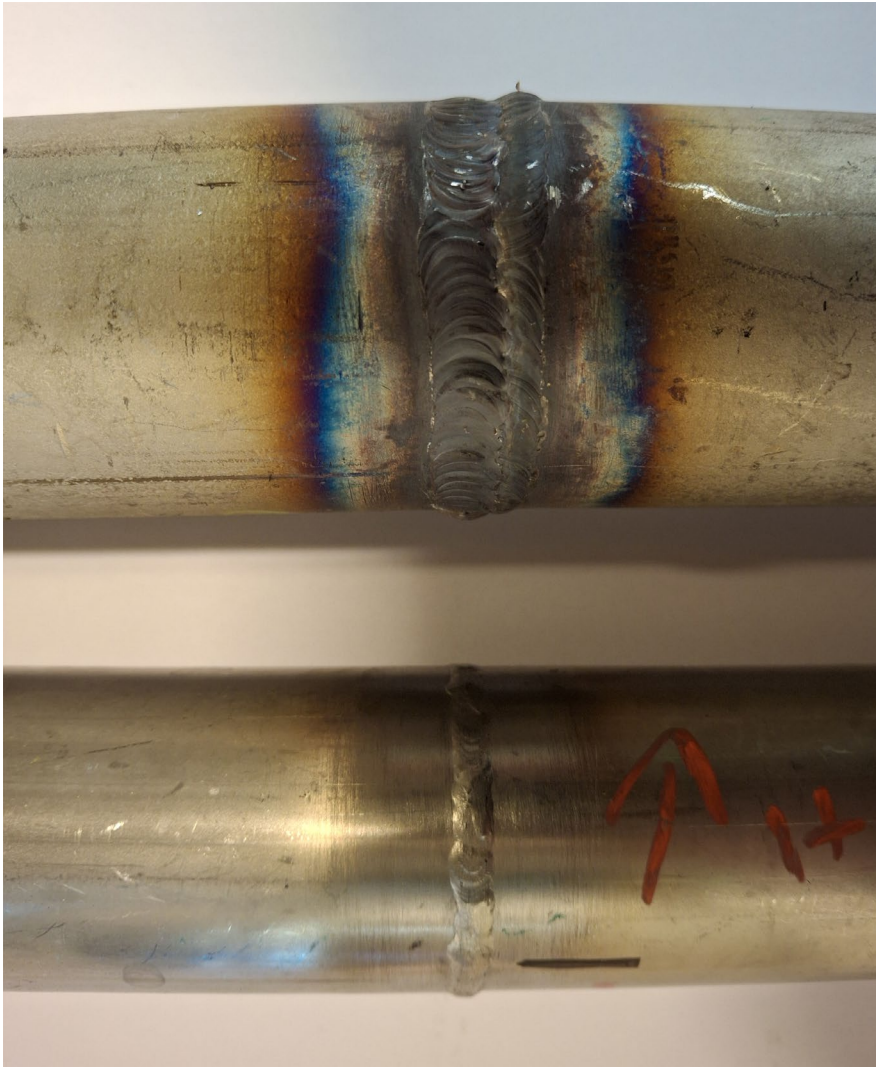
Ruostumattomat teräkset - Raerajakorroosio

Raerajakorroosio on tyypillistä hitsausliitoksen lämpövyöhykkeen alueella, kun kromikarbideja muodostuu raerajoille. Kromin vähentyminen muodostuneiden kareidien vieressä heikentää korroosionkestävyyttä.

Seurauksena voi olla, että passivointikerros on raerajoilla heikompi, rakeet voivat jopa irrota ja/tai teräs muuttuu pehmeäksi ja hauraaksi.



Ruostumattomat teräkset – hitsauksen jälkikäsittely



Ruostumattomassa teräksessä valmis hitsi on jälkikäsiteltävä, jotta liitoksella ja materiaalilla on kyky säilyttää ominaisuutensa.

Pinnalle muodostuva kromikarbiidi vaikeuttaa passivointikerroksen muodostumista ja heikentää siten hitsausliitoksen korroosio-ominaisuuksia.

Jälkikäsittelytapoina voidaan käyttää mm. mekaanista kiillotusta, happoja tai elektrolyyttistä puhdistusta sekä näiden yhdistelmiä.



Alumiinit vetysäiliöissä ja putkistoissa

- Tässä aineistossa perehdytään yleisesti alumiinimateriaaleihin, huomioiden vetysäiliöiden erityisvaatimukset.
- Alumiinin käyttöä puoltaa lähes aina materiaalin keveys ja/tai sen korroosionkestävyys.
- Alumiini on myös erinomainen materiaali kylmissä olosuhteissa.
- Alumiinin muokattavuus mahdollistaa myös monimuotoisten profiilien valmistamisen.



Alumiini

- Alumiini on hapen ja piin jälkeen kolmanneksi yleisin alkuaine maapallolla. Sen pitoisuus maankuoressa on noin 8%.
- Alumiinia valmistetaan miltei yksinomaan bauksiitista. Bauksiitti rapautumisen tuloksena syntynyt kivilaji.
- Tavallisesti bauksiitin koostumus on seuraava:
 - Al_2O_3 50-60%
 - Fe_2O_3 3-30%
 - SiO_2 1-7%
 - TiO_2 1-5%



Alumiini vertailu hitsattaviin teräsmateriaaleihin

Ominaisuus	Austeniittinen ruostumaton teräs (CrNiMo)	Rakenneteräs	Alumiinit
Väri	Hopeanharmaa	Ruskehtava	Vaalean harmaa
Lämmönjohtavuus	n. 50 %	100 %	n. 500 %
Lämpölaajeneminen	n. 150 %	100 %	n. 200 %
Magneettisuus	Ei	On	Ei
Karkenevuus	Ei	Kyllä	Kyllä ja Ei (*)
Polttoleikattavuus	Ei	Kyllä	Ei
Korroosionkestävyys	Kyllä	Ei	Kyllä

(*) Karkenevuus, ei-lämpökäsiteltävät, muokattavat seokset: **EI** ja lämpökäsiteltävät seokset: **KYLLÄ**



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiini vertailu hitsattaviin teräsmateriaaleihin

Ominaisuus	Austeniittinen ruostumaton teräs (CrNiMo)	Rakenneteräs Esim. S355	Alumiinit Esim. AlMg4,5Mn0,7 Tila: O/H14
Ominaispaino (kg/dm ³)	7,8	7,85	2,7
Myötölujuus (N/mm ²)	n. 220	n. 355	n. 220
Sähkönjohtavuus	150	100 %	n. 400 %
Lämmönjohtavuus	50	100 %	n. 500 %
Sulamispiste (aine) °C	1330-1420	1440-1510	n. 570-640
Sulamispiste (Oksidi) °C	1450	1450	2050



Alumiiniseosten lujuuksia ja muita ominaisuuksia

EN AW-	Olotila	Myötöraja	Murtoraja	Murto- venymä	Kovuus
HV		$R_{p0,2}$	R_m	A_s	
		MPa	MPa	%	

Karkenemattomat seokset

1070A	O	25	75	50	20
1050A	O	35	80	42	20
	H14	105	125	10	36
	H24	115	125	18	40
	H18	140	150	6	44
1200	O	40	90	40	22
	H14	115	125	9	38
	H18	150	160	6	46
3003	O	50	110	29	29
	H14	145	160	9	46
	H18	185	205	6	55
5052	O	90	195	25	50
	H14	200	250	14	75
	H24	200	250	18	
	H18	250	290	9	85
5083	O	145	300	23	75
	H24	275	360	16	105
	H18	335	400	9	115

EN AW-	Olotila	Myötöraja	Murtoraja	Murto- venymä	Kovuus
HV		$R_{p0,2}$	R_m	A_s	
		MPa	MPa	%	

Karkenevat seokset

2011	T4	270	350	18	95
	T6	300	395	12	115
2014	O	85	190	20	60
	T4	275	430	18	120
	T6	425	485	12	150
6063	O	50	100	27	25
	T4	90	160	21	50
	T6	210	245	14	80
	T8	240	260	9	85
6005	T6	250	280	12	95
6082	O	60	130	27	35
	T4	170	260	24	75
	T6	310	340	11	100
7020	O	80	180	24	60
	T5	315	375	14	120
	T6	335	380	13	125
7075	O	105	225	17	65
	T6	505	570	10	160
	T7	435	505	13	150



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinien materiaalit - merkintä

- Eurooppalaiset EN-merkintäjärjestelmät
 - Numeerinen merkintä (AA)
 - Kemiallisen koostumuksen merkintä

Numeerinen merkintäjärjestelmä (EN) on sama kuin ns. AA-järjestelmä (Aluminium Association)

1xxx –sarja: Al $\geq$ 99 %

2xxx –sarja: Al+Cu

3xxx –sarja: Al+Mn

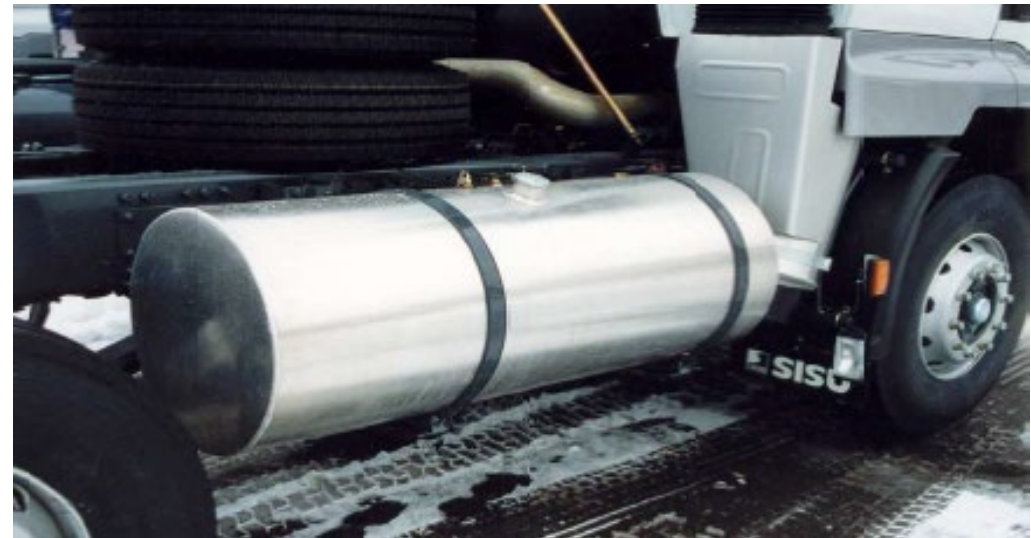
4xxx –sarja: Al+Si

5xxx –sarja: Al+Mg

6xxx –sarja: Al+Mg+Si

7xxx –sarja: Al+Zn

8xxx –sarja: Al+muu seosaine



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinien materiaalit - merkintä

Numeerinen merkintäjärjestelmä (EN)

EN AW-5052

- Etuliite EN
- Kirjain A: Alumiini (Aluminium)
- Kirjain W: Muokattu tuote (Wrought)
- Väliiviiva
- Numerotunnus 5052: AA-järjestelmä



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinien materiaalit - merkintä

Koostumukseen perustuva merkintäjärjestelmä (EN)

EN AW-5052 [AlMg2,5]

- Etuliite EN
- Kirjain A: Alumiini (Aluminium)
- Kirjain W: Muokattu tuote (Wrought)
- Väliviiva
- Numerotunnus 5052: AA-järjestelmä
- Hakasuluissa seostunnus: [AlMg2,5]



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinimateriaalien ryhmittely CEN ISO/TR 15608 mukaan



SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

CEN ISO/TR 15608:fi
10

3 Alumiinin ja alumiiniseosten ryhmittely

Alumiini ja alumiiniseokset ryhmitellään taulukon 2 mukaisesti. Arvot perustuvat seoksen merkinnän mukaisiin seosainepitoisuuksiin.

Taulukko 2 Alumiinin ja alumiiniseosten mukainen ryhmittely

Ryhmä	Alaryhmä	Alumiinilajit
21		Puhdas alumiini, jossa on epäpuhtauksia tai seosaineita $\leq 1 \%$
22		Ei-lämpökäsiteltävät seokset
	22.1	Alumiini-mangaaniseokset
	22.2	Alumiini-magnesiumseokset, joissa $Mg \leq 1,5 \%$
	22.3	Alumiini-magnesiumseokset, joissa $1,5 \% < Mg \leq 3,5 \%$
23	22.4	Alumiini-magnesiumseokset, joissa $Mg > 3,5 \%$
		Lämpökäsiteltävät seokset
	23.1	Alumiini-magnesium-piiseokset
24	23.2	Alumiini-sinkki-magnesiumseokset
		Alumiini-piiseokset, joissa $Cu \leq 1 \%$
	24.1	Alumiini-piiseokset, joissa $Cu \leq 1 \%$ ja $5 \% < Si \leq 15 \%$
25	24.2	Alumiini-pii-magnesiumseokset, joissa $Cu \leq 1 \%$; $5 \% < Si \leq 15 \%$ ja $0,1 \% < Mg \leq 0,80 \%$
		Alumiini-pii-kupariseokset, joissa $5,0 \% < Si \leq 14,0 \%$; $1,0 \% < Cu \leq 5,0 \%$ ja $Mg \leq 0,8 \%$
26		Alumiini-kupariseokset, joissa $2 \% < Cu \leq 6 \%$

Ryhmät 21...23 ovat yleensä muokatuille materiaaleille ja ryhmät 24...26 yleensä valetuille materiaaleille.



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinin käyttö eri kohteissa

1000-sarja Puhdas alumiini ≥ 99 %	2000-sarja Alumiini-kupari, Lämpökäsiteltävät duralumiinit	3000-sarja Alumiini-mangaani	4000-sarja Alumiini-pii	5000-sarja Alumiini- magnesium	6000-sarja Alumiini-pii- magnesium	7000-sarja Alumiini-sinkki (kupari)	8000-sarja Alumiini-litium tai muut seosaineet
							
Karkenematon yleensä levymateriaali Al99,5 1050A Kemianteollisuuden säiliöt			Valuja Yleisin seos 4040 AlSi12 ("silumiini") Hitsauslisäaineet	AlMg3 5754 Pienveneet, Varastosäiliöt AlMg4,5Mn0,7 5083 Laivat, laivarakenteet Rakennusteollisuus	Yleensä pursotteita / pursoteprofiileja AlSiMg(A) 6005A AlMgSi 6060 AlSi1MgMn 6082		



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinin käyttö eri kohteissa

Alumiiniset vetysäiliöt valmistetaan pääosin 6000-sarjan 6061 alumiinista ja/tai 7000-sarjan 7060 alumiinista.

1000-sarjan ryhmään kuuluvat seostamattomat tai puhtaat alumiinit.

Kupari parantaa alumiinin lujuutta 2000-sarjan alumiineissa, mutta korroosionkestävyys ja hitsattavuus huononee.

Alumiini-mangaani-seokset (3000-sarja) ovat lujia ja lisäksi korroosionkestävyys on hyvä.

Alumiini-pii-seoksia (4000-sarja) käytetään hitsauslisäaineina ja valuseoksina. Pii parantaa alumiiniseoksen sulan juoksevuutta.

Alumiini-magnesium-seokset (5000-sarja) ovat lujia ja niitä käytetään veneiden ja laivojen rakentamisessa, koska seoksilla on myös hyvä korroosionkestävyys kloridipitoisessa ympäristössä. Alumiini-magnesium-seosten muovattavuus on vähän huonompi.

Pursotettavien tankojen ja profiilien valmistuksessa käytetään 6000-sarjan alumiini-pii-mangaani-seoksia. Niillä on hyvä korroosionkestävyys ja hitsattavuus.

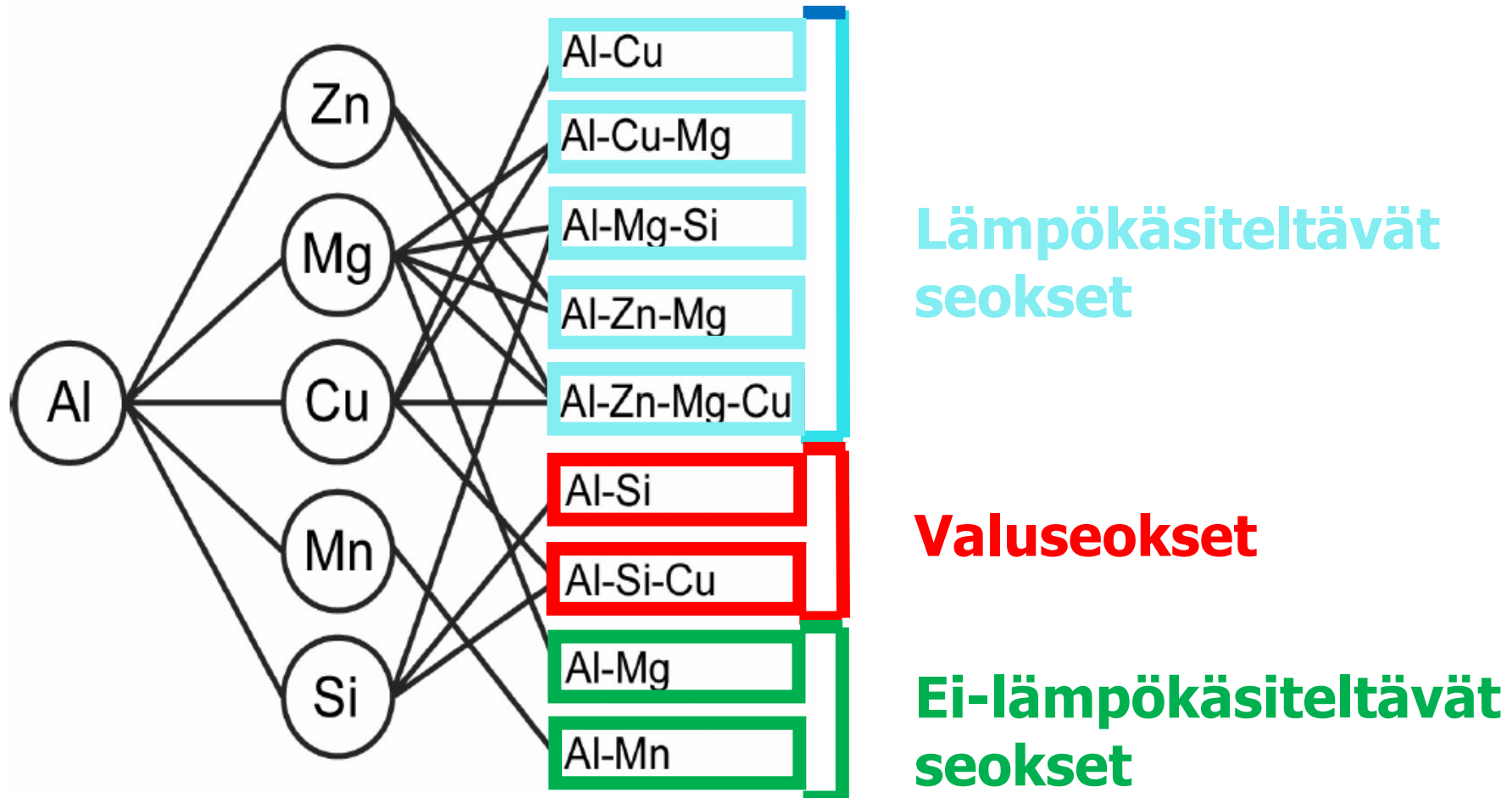
Alumiini-sinkki-seoksia (7000-sarja) käytetään kovaan rasitukseen joutuviin kohteisiin, koska niiden lujuus ja hitsattavuus ovat hyviä.

8000-sarjan alumiineihin kuuluu seokset, joiden pääseosaine on jokin muu kuin edellisten sarjojen (1000-7000) pääseosaine.



Euroopan unionin
osarahoittama

Alumiinin seostaminen



Alumiini - toimitustilat

- **Alumiinin toimitustilalla** tarkoitetaan alumiinin valmistus-, muokkaus- ja lämpökäsittelytilaa, johon alumiini on saatettu haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi.
- Toimitustilojen perustilat ovat:
 - F: Valmistustila
 - O: Hehkutettu
 - H: Muokkauslujitettu
 - W: Liuotushehkutettu
 - T: Lämpökäsitelty



Alumiini

$T_{\text{sul}}=660,2^{\circ}\text{C}$, pkk-rakenne, Al_2O_3 sul.piste 2052°C

Toimitustilat O, H, T

- **O**: hehkutettu mahdollisimman pehmeäksi
- **H**: muokkaamalla lujitettu
- **T**: lämpökäsitelty esim. liuotushehkutettu, sammutettu ja keinovanhennettu

Yleisiä muokkaamalla lujitettuja **(H) tiloja**, (ei karkenevat seokset):

- H11, muokkauslujitettu 1/8-kova
- H12, muokkauslujitettu 1/4-kova
- H14, muokkauslujitettu 1/2-kova
- H18, muokkauslujitettu 4/4-täyskova
- H22, muokkauslujitettu ja osittain hehkutettu 1/4-kova
- H111, hehkutettu ja muokkauslujitettu, vähemmän kuin H111

Yleisiä **T-tiloja** (karkenevat seokset):

- T4, liuotushehkutettu ja luonnollisesti vanhennettu
- T6, liuotushehkutettu ja keinovanhennettu



Alumiini - lujittaminen

AlMn-, AlMg- ja AlMgMn-seokset

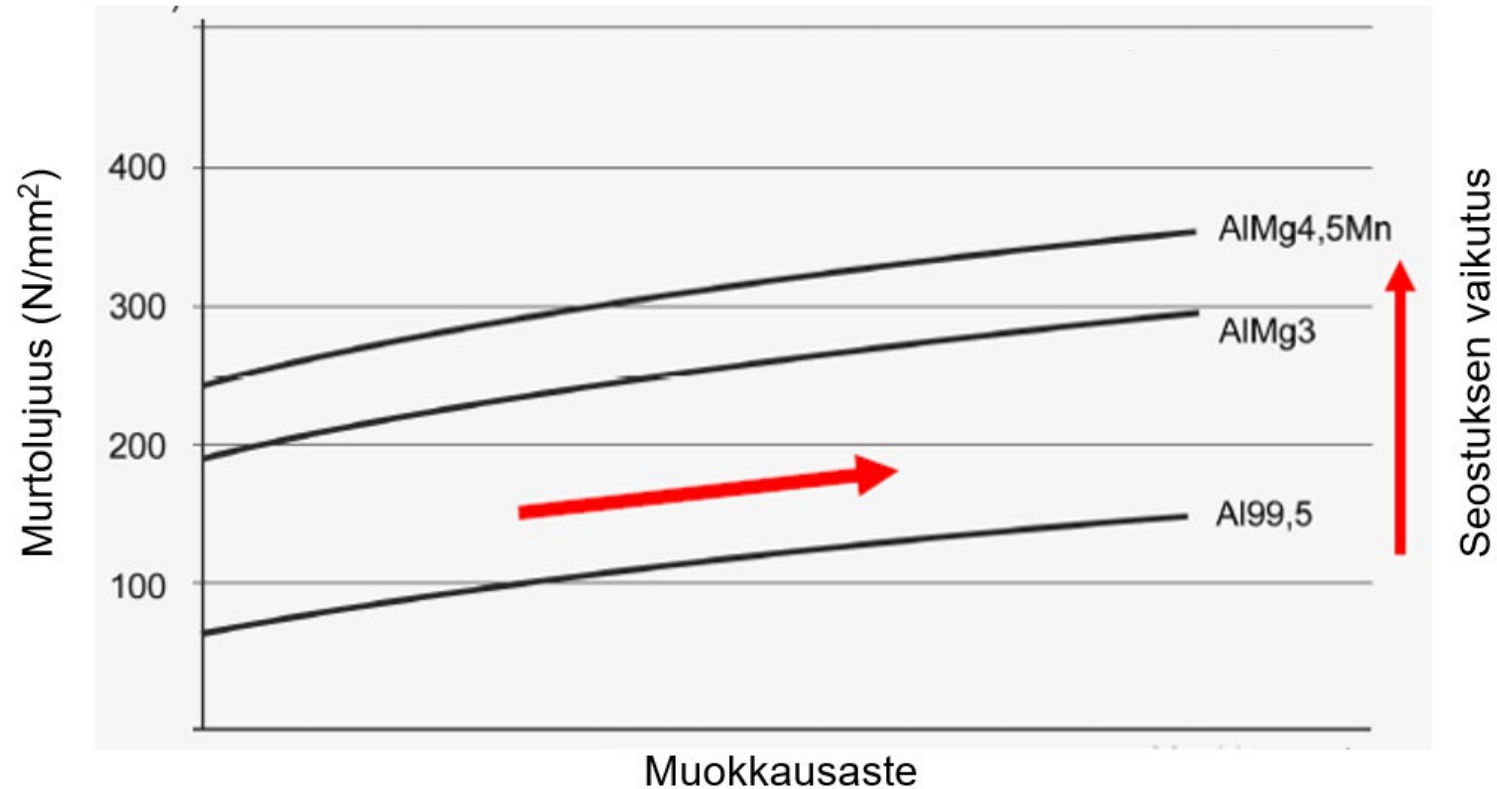
- Liuoslujittaminen seosaineilla
- Muokkauslujittaminen $\frac{1}{4}$ -, $\frac{1}{2}$ -, $\frac{3}{4}$ - ja 1/1-kova

AlMgSi-, AlZnMg- ja AlCuSiMg-seokset

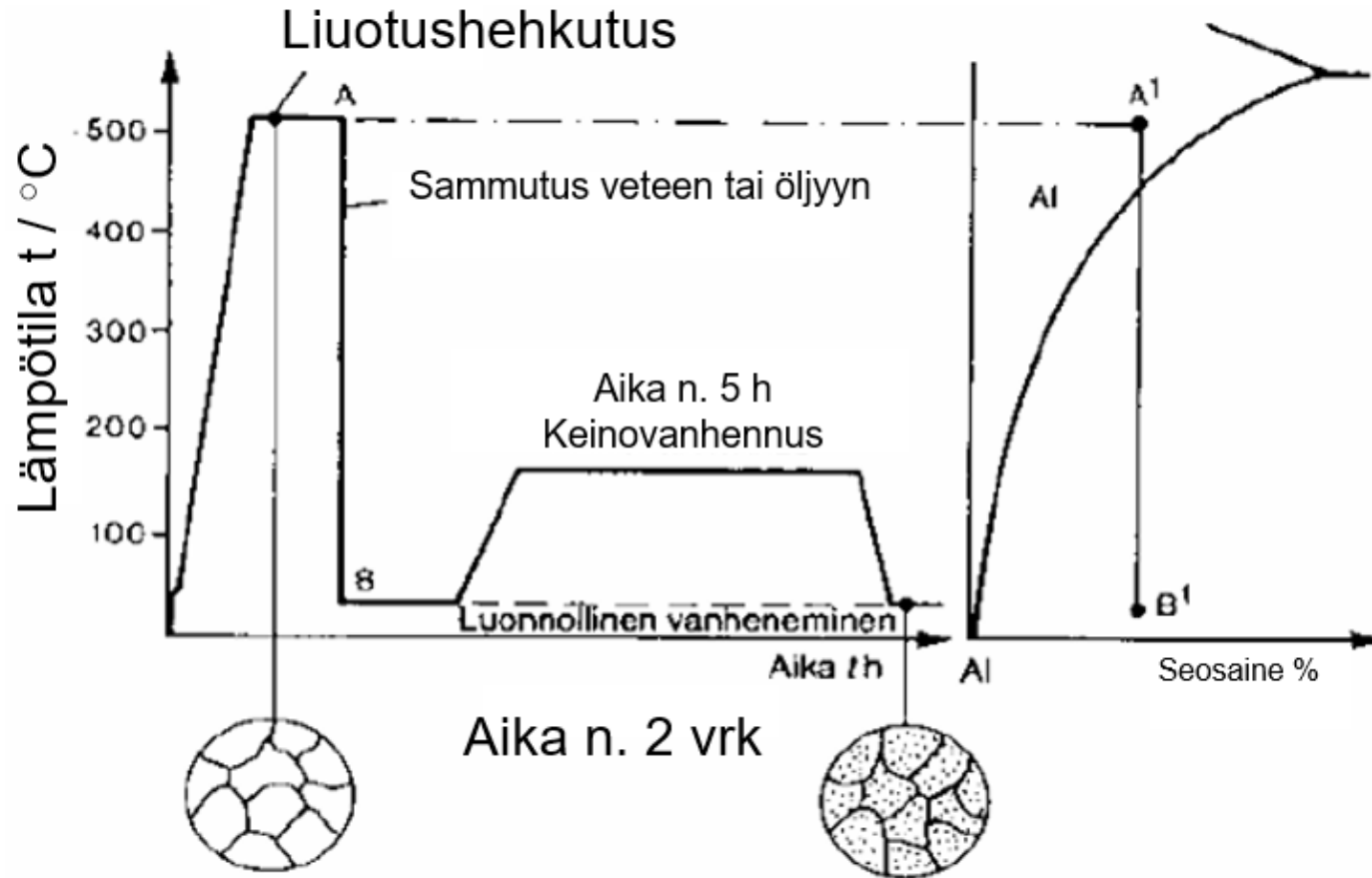
- Lämpökäsittely: Erkautuslujittuminen eli erkautuskarkaisu -> T4- ja T6-tilat



Alumiini - muokkauslujittaminen



Alumiini – lujittaminen lämpökäsittelmällä (erkautuskarkaisu)



Alumiiniseosten lujuuksia

Esimerkkejä Ei-karkenevien seosten lujuuksista

Al99,5 (1050A): Murtolujuus

*O-tila (pehmeä): 65 N/mm²

*H18-tila (1/1-kova): 140 N/mm²

AlMg2,5 (5052): Murtolujuus

*O-tila (pehmeä): 165 N/mm²

*H18-tila (1/1-kova): 270 N/mm²

*O-tila (pehmeä): 165 N/mm²

*H18-tila (1/1-kova): 270 N/mm²

AlMg4,5Mn0,7 (5083): Murtolujuus

*O-tila (pehmeä): 275 N/mm²

*H18-tila (1/1-kova): 340 N/mm²

Esimerkkejä Karkenevien seosten lujuuksista

AlSiMgMn (6082): Murtolujuus

*O-tila (pehmeä): max. 150 N/mm²

*T4 (liuotushehkutettu ja luonnollisesti vanhennettu): min: 205 N/mm²

*T6 (liuotushehkutettu ja keinovanhennettu): min: 300 N/mm²

AlZn4,5Mg1 (7020): Murtolujuus

*O-tila (pehmeä): max. 220 N/mm²

*T4 (liuotushehkutettu ja luonnollisesti vanhennettu): min: 320 N/mm²

*T6 (liuotushehkutettu ja keinovanhennettu): min: 350 N/mm²



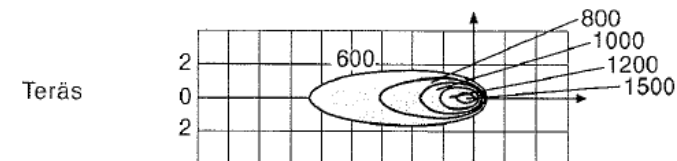
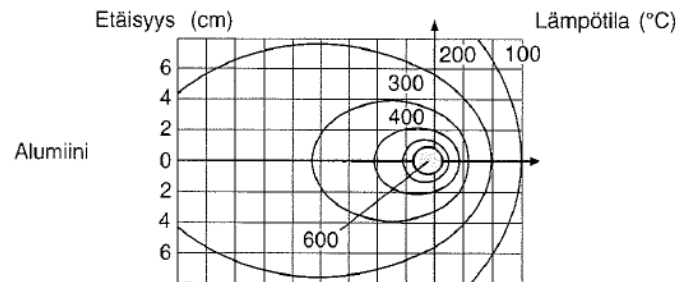
Alumiinin hitsauksen erityispiirteitä

- **Hitsaus on alumiinin yleisin liittämismenetelmä.** Alumiinia voidaan hitsata useimmilla tunnetuilla hitsausprosesseilla.
- Yleisin ja tärkein hitsausprosessien ryhmä on kaasukaarihitsaus MIG-, TIG- ja plasmahitsaus
 - Kaasukaarihitsaus pystyy poistamaan alumiinin pinnalla olevaa hitsausta haittaavaa oksidikalvoa
 - Puikko- ja kaasuhitsaus tarvitsevat juoksutetta oksidikalvon poistamiseen
 - Alumiinin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet vaikuttavat hitsaamiseen.
 - Alumiinin hapettumistaipumus on suuri ja **vedyn liukoisuus sulaan alumiiniin** on erittäin suuri. Näiden ominaisuuksien tunteminen on edellytys onnistuneelle hitsaukselle



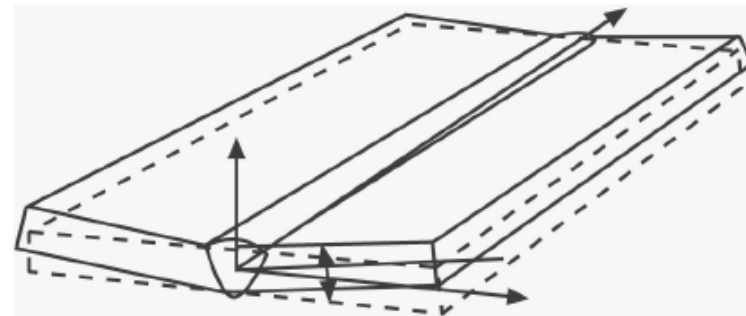
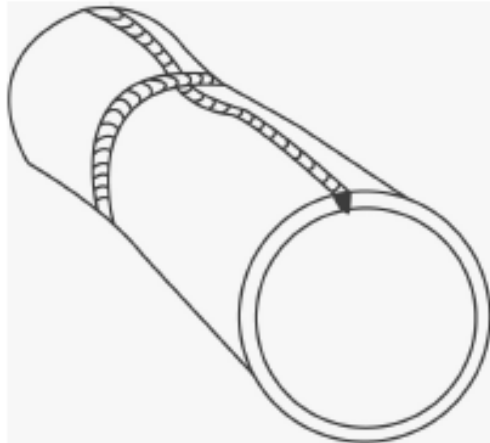
Alumiinin ominaisuuksien vaikutus hitsaukseen

- **Alumiinin keveys** ei suoraan vaikuta hitsaukseen, mutta se helpottaa materiaalin kuljetusta ja käsittelyä. Lisäksi alumiinioksidi muodostaa helposti hitsisulaan sulkeumia, koska se on alumiinia raskaampaa ($3,9 \text{ kg/dm}^3$).
- **Matala sulamispiste** vaikuttaa pienentävästi hitsauksessa käytettävään lämpömäärään.
- Tosaalta **lämmönjohtavuus on suuri**, joten lämpö siirtyy nopeasti pois hitsauskohteesta. Suuri lämmönjohtavuus lisää myös liitosvirheiden ja huokosten muodostumista. Lämpö ei aina riitä sulattamiseen ja tunkeumaan ja koska hitsisula jähmettyy nopeasti (paksuilla aineilla tulee käyttää esikuumennus)



Alumiinin ominaisuuksien vaikutus hitsaukseen

- **Alumiinin** kaksinkertainen **lämpölaajeneminen**, suhteessa teräkseen aiheuttaa suurempia muodonmuutoksia (vetelyitä) hitsauksessa kuin teräksellä. Alumiini kutistuu jähmettyessä sulasta tilasta kiinteään tilaan n. 6,5% (rauta 2,8%). Lisäksi alumiini kutistuu vielä lisää 2% jäähtyessään huoneen lämpötilaan.



Alumiinin ominaisuuksien vaikutus hitsaukseen

- **Alumiinin** kolminkertainen **sähkönjohtavuus**, suhteessa teräkseen, vaikuttaa ennen kaikkea vastushitsattavuuteen, minkä takia tarvittavat hitsausvirrat ovat huomattavasti suurempia kuin teräksen hitsauksessa
- **Alumiinin ja teräksen sähkönjohtavuuden ero** MIG/MAG-hitsauksessa **näky**v vapaalangan pituuden vaikutuksesta hitsausvirtaan, teräksellä vapaalangan pituus vaikuttaa melko voimakkaasti hitsausvirtaan kun taas hyvin sähköä johtavalla alumiinilla vapaalangan pituudella ei ole niin suurta vaikutusta hitsausvirtaan
- **Alumiini hapettuu** ilman hapen vaikutuksesta herkästi, minkä tuloksena alumiinin pinnalle muodostuu hyvin ohut oksidikerros, millä on moninainen vaikutus hitsaukseen, koska oksidikalvo on kova ja sitkeä, painavampaa kuin alumiini, sen sulamispiste on huomattavan korkea, se on hygroskooppinen ja sähköinen eriste

Hygroskooppisuus tarkoittaa alumiinioksidissa ilmiötä, jolloin se pystyy imemään ympäristöstään kosteutta.



Alumiinin hitsattavuus

Vetyliukoisuus suuri =
huokoisuus

- Raitojen puhdistus
- Lisäaineiden ja perusaineiden oikea säilytys ja käyttö
- Puhdas suojakaasu
- Oikea suoritustekniikka

Kuumahalkeilutaipumus suurehko =
kuumahalkeamat hitsiaineessa =
kuumahalkeamat muutosvyöhykkeellä =

- Kraaterihalkeamat
- Oikea lisäaineen ja perusaineen valinta
- Halkeiluvaran perusaineen välttely
- Lämmöntuonin pienentäminen
- Oikea hitsausjärjestys
- Rakenteen jäykkyyden vähentäminen
- Oikea hitsauksen lopetustapa

Hitsausliitoksen iskusitkeys = sitkeys
pysyy hyvänä liitoksen lämpövyöhykkeellä

- Ei tarvitse ottaa huomioon hitsauksessa
- Ei testata menetelmäkokeen hyväksymiseen liittyen

Sähkönjohtavuus suuri = eri
lisäaineilla erilaiset hitsausparametrit =
eri lisäaineilla erilainen tunkeuma =
Oksidikalvo eriste vastushitsauksessa

- Olettava huomioon eri hitsauksissa eri
lisäaineilla
- Oksidikalvon poistaminen
vastushitsauksessa

Lämmönjohtavuus suuri =

- Huokoset = Liitosvirheet =
Vajaa hitsautumissyvyys
(juurivirhe) = pienempi
hitsausnopeus
- Suurempi lämmöntuonti
 - Helium-seosteinen suojakaasu
 - Esilämmitys

Lämpölaajenemiskerroin suuri =
Lämmön aiheuttamat muodonmuutokset
(vetelyt)

- Olettava huomioon suunnittelussa
- Olettava huomioon tuotannossa mm.
kiinnittimet ja hitsausjärjestys

Hapettumistaipumus - Oksidikalvo paksu = Liitosvirheet = huokoset =

- Oksidikalvon poistaminen ennen
hitsausta
- Valokaaren puhdistusvaikutus
hitsauksessa
- Inertin suojakaasun käyttö

Hitsausliitoksen lujuus = Lujuus heikkenee
hitsausliitoksen lämpövyöhykkeellä (paitsi
toimitustila O)

- Olettava huomioon suunnittelussa
- Paksuuden suurentaminen hitsien kohdalla
- Suuri hitsausnopeus



Euroopan Unionin
osarahoittama

Materiaalien hitsauksesta - yleistä

- **Hitsaus on yleisin materiaalien liittämistapa.** Sitä käytetään **konepajoissa**, kun valmistetaan erilaisia tuotteita, kuten painesäiliöitä, teollisuusputkistoja, kodinkoneita, maatalouslaitteita, nostureita, siltoja ja kulkuneuvoja. Lisäksi hitsausta käytetään **asennustyömailla** kokoonpanohitsauksissa ja mm. kaasuputkistojen osien liittämisessä.
- Hitsaus on käytetty menetelmä myös **korjaustoiminnassa**, kun kunnostetaan koneiden ja laitteiden vaurioituneita ja kuluneita osia.
- Erilaisia ominaisuuksia mm. kulutusta kestäviä kerroksia voidaan valmistaa **päällehitsaamalla** (pinnoitushitsaus).
- Hitsaus käsitellään laatustandardeissa mm. 9000-sarjassa **erikoisprosessina**, jonka määrittämisessä käytetään alakohtaisia standardeja.

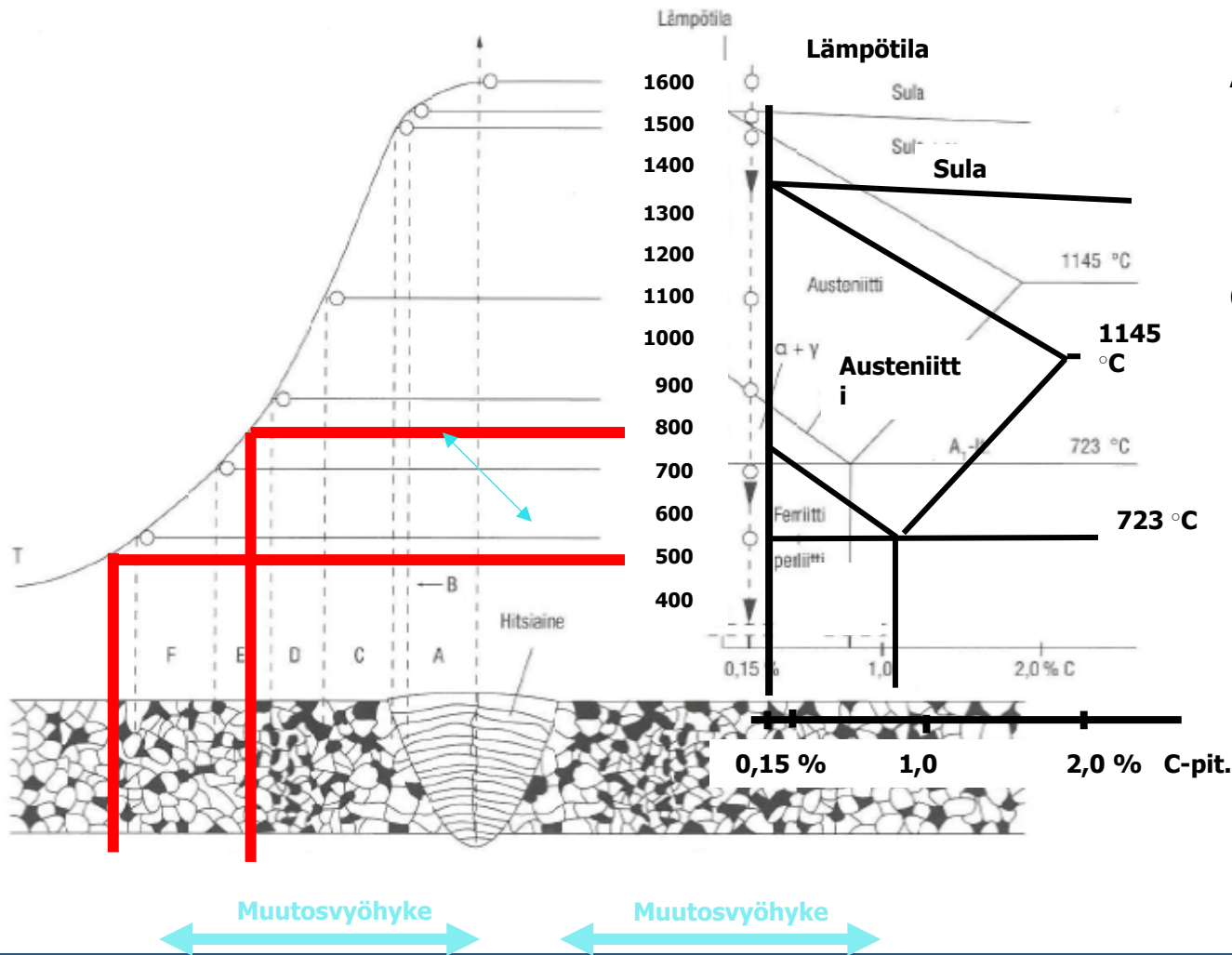


Materiaalien hitsauksesta - yleistä

- Käytännössä hitsaustyö lähtee **materiaalin tunnistamisesta** eli siitä, että osaa etsiä/vaatia siihen tarvittavat tiedot ja sen jälkeen osaa tulkita eri terästen nimitykset, merkinnät ja standardien sisältämän informaation.
- Lähtökohtaisesti uutta valmistettaessa materiaali on tunnistettu, eli tiedetään.
- **Hitsaus on nopea ja epätäydellinen lämpökäsittely**, joka vaikuttaa hitsattavan perusaineen mikrorakenteeseen ja ominaisuuksiin.
- Hitsauksessa syntynyt hitsi on käytännössä **nopeasti jähmettynyt valurakenne**, joka on "valettu" hitsausrailoon (muottiin). Mikrorakenteeltaan hitsiaine on hyvin epähomogeeninen, eri seosaineiden sekoittumisen ja eri kohdissa eri nopeudella tapahtuneen jäähtymisen vuoksi.



Materiaalien hitsauksesta – yleistä – jäähtymisaika $t_{8/5}$

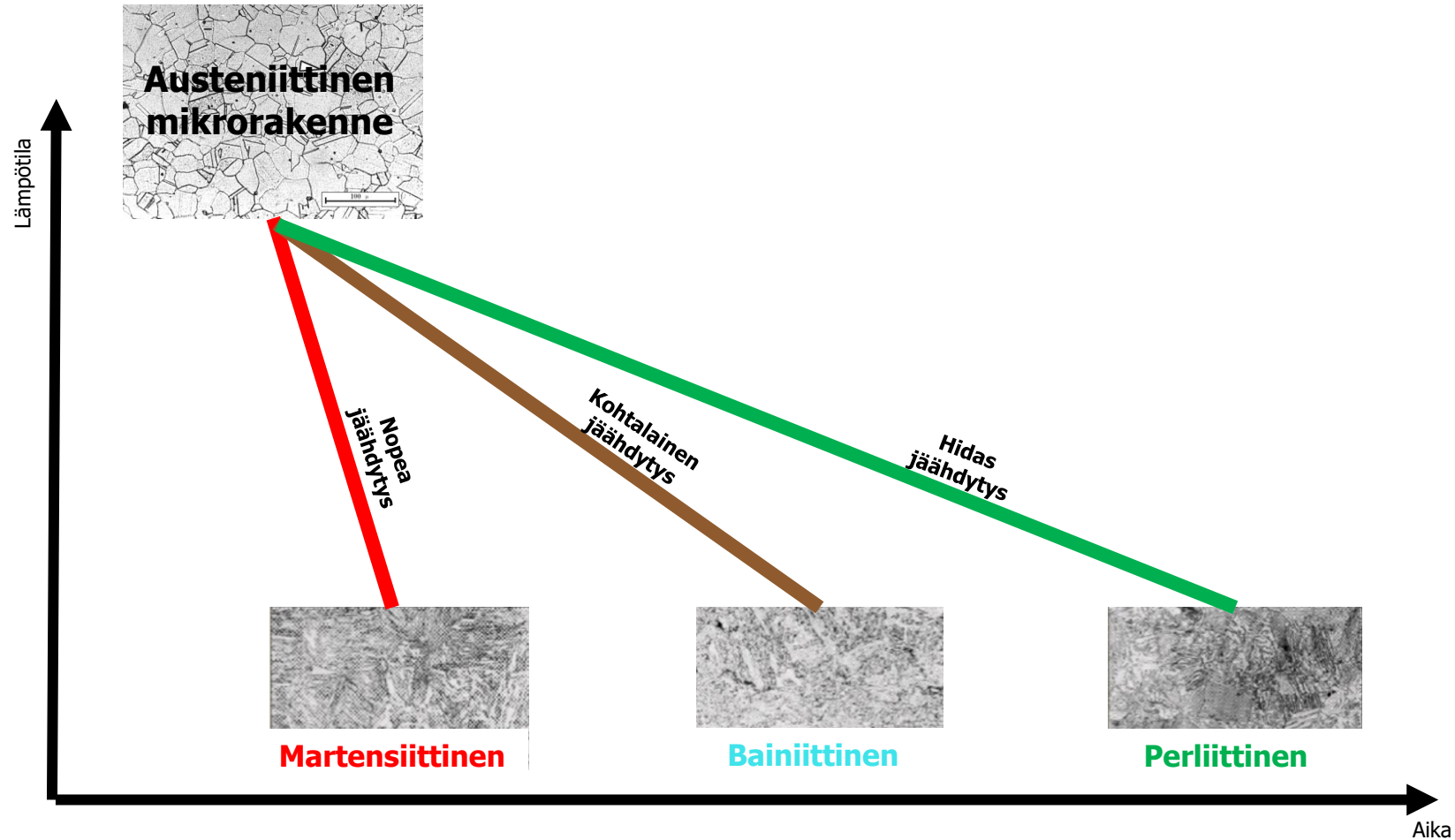


- A. Hitsiaine.** Perusaineen ja hitsauslisäaineen seos. Tämä alue käy kaikissa lämpötilaoissa, sulasta metallista lopulliseen käyttölämpötilaan.
- B. Sularaja-alue,** joka on osittain sulanut ja sulamaton alue.
- C. Karkearakeinen vyöhyke,** joka on käynyt täysin austeniittisella lämpötila-alueella 1100-1500 °C. Raekoko kasvanut, eli mikrorakenne karennut.
- D. Hienorakeinen alue,** jossa lämpötila käynyt alueella 850-1100 °C, eli täysin austeniittisella alueella ja saanut ns. normalisointikäsittelyn. Jäähtymisnopeudesta riippuu, mikä on lopullinen mikrorakenne.
- E. Osittain austenisoitunut vyöhyke,** eli käynyt lämpötila-alueella 750-850 °C. Raekoko likimain alkuperäisen materiaalin luokkaa.
- F. Karbiidien palloutumisvyöhyke,** jossa lämpötila käynyt 600-750 °C alueella, joka vastaa nuorrutuskäsittelyä korkeassa lämpötilassa. Tällä saadaan aikaan pehmeä rakenne.



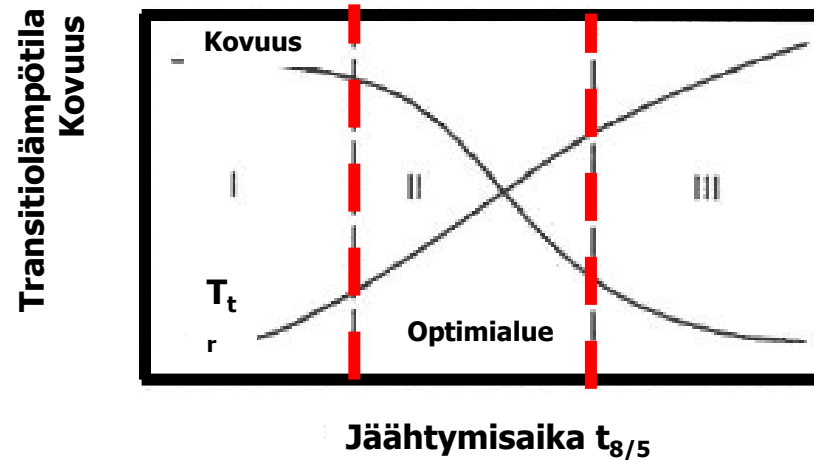
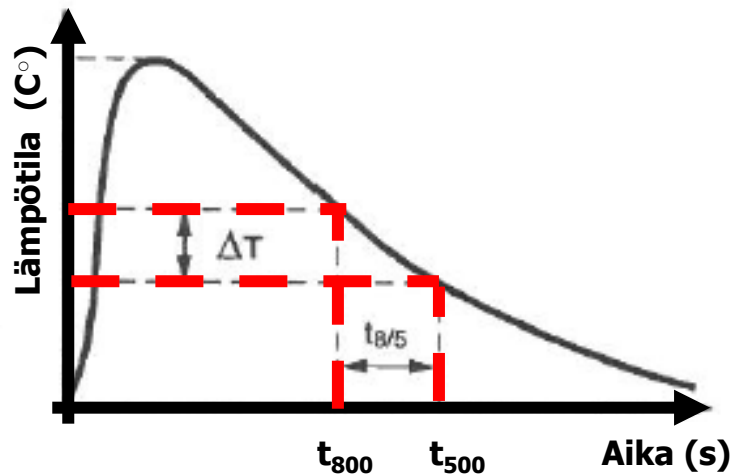
Euroopan unionin
osarahoittama

Jäätymisnopeuden vaikutus mikrorakenteeseen yksikertaistettuna



Materiaalien hitsauksesta – yleistä – jäähtymisaika $t_{8/5}$

- Jäähtymisajalla on suuri merkitys siihen, millaiset ominaisuudet hitsausliitoksen lämpövyöhykkeelle jää.
- **Teräksen jäähtymisajalla** lämpötila-alueen **800°C -500°C** yli on suuri merkitys teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin. Tätä parametria kuvataan $t_{8/5}$ -ajaksi.
- $t_{8/5}$ -aikaan vaikuttaa monet tekijät, kuten aineenpaksuus, hitsausprosessi- ja tyyppi, lämmöntuonti ja esikuumennuslämpötila.



Kuva: Jäähtymisaika $t_{8/5}$ ja sen vaikutus hitsausliitoksen muutosvyöhykkeen kovuuteen ja iskusitkeyden transitiolämpötilaan.



Materiaalien hitsauksesta – Hitsaaminen pakkasolosuhteissa

- **Vetyputkistoja asennettaessa, niitä hitsataan maasto-olosuhteissa.** Hitsattava kohde tulisi aina suojata tuulelta, sateelta ja lumelta. Käytännössä kuitenkin hitsausolosuhteet vaihtelevat täysin suojaamattomista kohteista lämmitettyyn ja ilmastoituun tilaan.
- Pakkasolosuhteet vaikeuttavat hitsausta ainakin seuraavasti:
 - Kosteus tiivistyy kylmän teräksen pintaan
 - Kylmähalkeiluriski kasvaa
 - Kosteus aiheuttaa huokosia
 - Hitsausvirtalähteiden häiriöt lisääntyvät
 - Kosteiden olosuhteiden vetyongelmat lisääntyvät
- Tapauskohtaisesti on aina päätettävä hitsattavan kohteen lämmittämisestä ja kuivattamisesta.
- Massiivisten putkien esilämmitys on aikaa ja energiaa kuluttavaa.



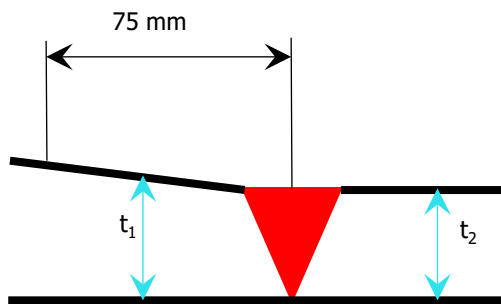
Materiaalien hitsauksesta – Hitsaaminen pakkasolosuhteissa

- Arktisen alueen määrittely on epämääräinen, mutta Suomeen suunnitellulla vetyverkoston alueella lämpötila saattaa olla useita viikkoja alle -20 °C. Tämä ei tietysti saa olla rajoite tuotannon etenemiselle. Matala lämpötila ei sinällään tuo ongelmia varsinaiselle vetyputkistolle, niiltä osin kun se upotetaan maan alle.
- Materiaaliominaisuuksia on kehitetty sitkeyden ja lujuuden kuin myös muiden ominaisuuksien osalta vuosikymmenten varrella, mutta toisaalta vety aiheuttaa omat ongelmansa, kun palataan ns. "perusteräksiin."
- Perusteräksissäkin ongelman muodostaa kylmissä olosuhteissa muodostaa liian nopea jäähtyminen, jonka seurauksena materiaalissa tapahtuu karkenemistä.
- Esilämmityksellä jäähtymistä voidaan hidastaa. Siinä puolestaan ongelman muodostaa paksu aineenvahvuus ja muutenkin massiivinen rakenne. Materiaalin toimittaja määrittelee omissa tuotekorteissaan esilämmitystarpeen.



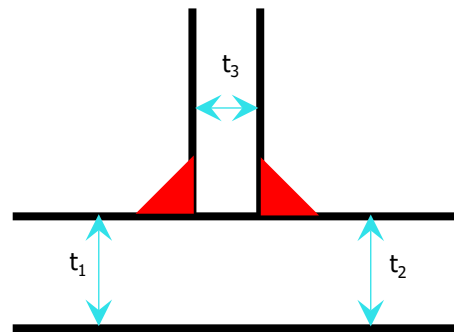
Materiaalien hitsauksesta – Hitsaaminen pakkasolosuhteissa

- Yhdistetty aineenvahvuus, muiden ominaisuuksien lisäksi (mm. hiiliekvivalentti), määrittelee usein esilämmitystarpeen. Yhdistetyllä aineenvahvuudella on merkitys siihen, miten nopeasti lämpö siirtyy hitsausliitoksesta rakenteeseen, eli hitsausliitoksen jäähtymiseen (jäähtymisnopeuteen).



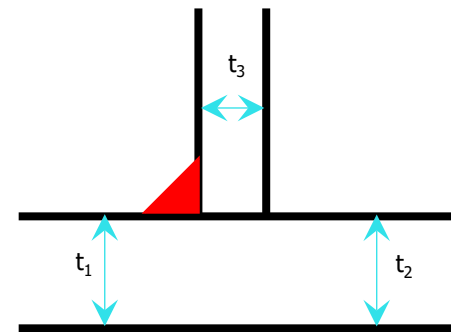
t_1 = keskimääräinen aineenvahvuus 75 mm matkalla

Yhdistetty aineenvahvuus
 $= t_1 + t_2$



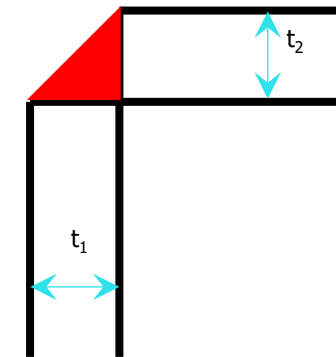
Yhdistetty aineenvahvuus, kun molemmat puolet hitsataan samanaikaisesti

Yhdistetty aineenvahvuus
 $= \frac{1}{2} * (t_1 + t_2 + t_3)$



Yhdistetty aineenvahvuus, kun hitsataan eriaikaisesti

Yhdistetty aineenvahvuus
 $= t_1 + t_2 + t_3$



Yhdistetty aineenvahvuus,

Yhdistetty aineenvahvuus
 $= t_1 + t_2$



Mikä hitsausprosessi vetysäiliöiden ja/tai -putkistojen hitsaukseen?

Hitsausprosessin valinta on riippuvainen monista tekijöistä:

- **Materiaali**
- **Tuottavuusvaatimukset**
- **Lisäaineen hinta**
- **Vaadittava tiiveys**
- **Olosuhteet**

Sinällään voidaan käyttää hitsausprosessia, johon on hitsausohje (WPS) laadittu, käytettävissä oleville materiaaleille.

Usein olosuhteet voivat vaikuttaa siihen, että tuottavuuden suhteen parasta prosessia ei voi käyttää. Tälle toissijaisellekin prosessille on oltava WPS.

Seuraavilla sivuilla lyhyt esitys keskeisistä hitsausprosesseista, joita voidaan käyttää niiden materiaalien hitsaukseen, joita tässä aineistossa on käsitelty.



MIG/MAG-hitsaus



MIG = Metal Inert Gas

MAG = Metal Activ Gas

MIG- ja MAG-hitsauksessa toimintaperuaate on sama, mutta ne ovat metallurgisesti eri hitsausprosesseja. MIG-hitsaus on muodostunut yleisnimitykseksi, vaikka terästä hitsattaessa prosessi on MAG-hitsausta. Alumiinin hitsaus puolestaan on MIG-hitsausta. Prosessien eroista tulevassa aineistossa.



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG-/MAG -hitsausprosessit



Kuvalähde (referoitu): Kemppi, Käsinhitsausarvikkeet 2025

- **Molemmat prosessit kuuluvat ryhmään 13, eli ovat metallikaasukaarihitsausprosesseja, jotka edelleen jakaantuvat:**
 - **131; MIG-hitsaus**
 - **135; MAG-hitsaus**
 - **136; MAG-täytelankahitsaus**
 - **137; MIG-täytelankahitsaus**

Tässä aineistossa keskitytään prosesseihin, joita tavanomaisesti käytetään sellaisten materiaalien hitsaukseen, joita käytetään metallisissa vetyputkistoissa ja –säiliöissä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

MIG-/MAG-hitsauksen eri prosessinimityksiä

- Engl. (Eurooppa/EN): Gas-shielded metal arc welding
- Engl. (Eurooppa/EN):
 - 131: Metal inert gas welding, MIG welding
 - 135: Metal active gas welding, MAG welding
- Engl. (USA/AWS): Gas metal arc welding (GMAW)
- Saksa: Metall-Schutzgasschweissen (MSG-Schweissen)
 - 131: Metal-Inertgasschweissen, MIG-Schweissen
 - 135: Metall-Aktivgasschweissen, MAG-Schweissen
- Ruotsi: Gasmetalbågsvetsning, MIG/MAG-svetsning



MIG- ja MAG-hitsaus ja niiden erosta



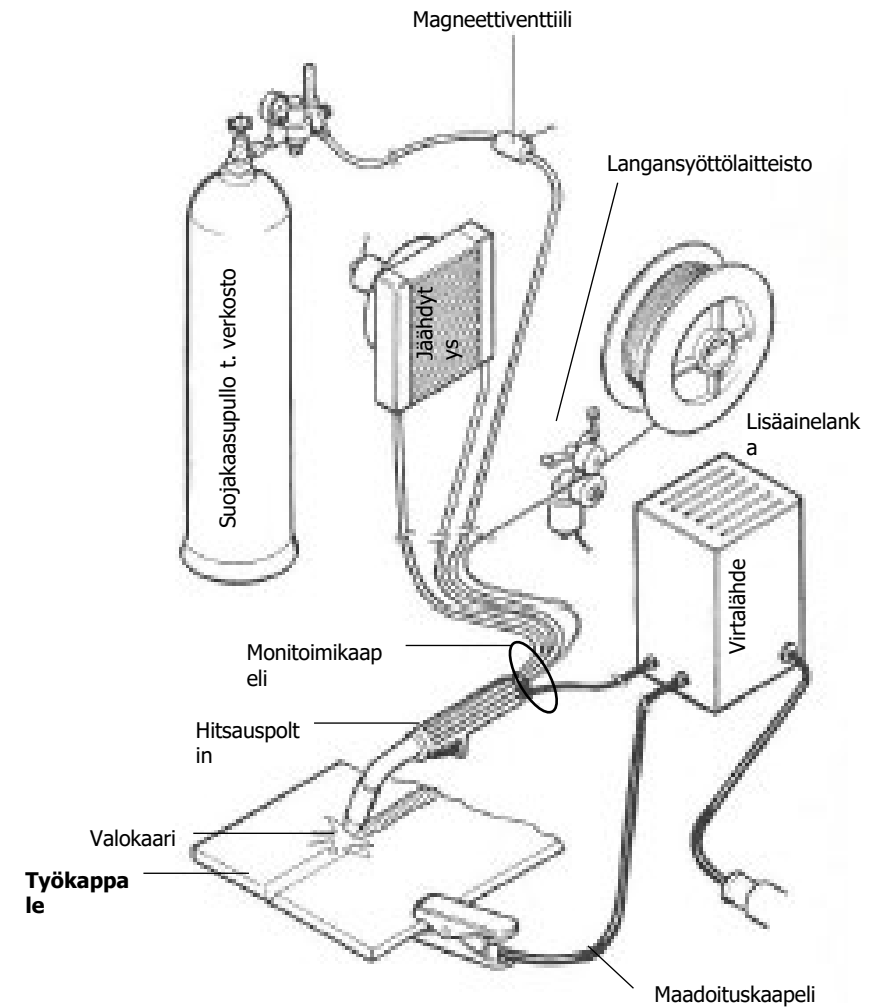
- **Prosessinnumero 131: MIG-hitsaus (Metal Inert Gas welding)**
 - = Metallikaasukaarihitsaus käyttäen inerttiä suojakaasua
 - = *Ei-rautametallien hitsaus*
- **Prosessinnumero 135: MAG-hitsaus (Metal Activ Gas welding)**
 - = Metallikaasukaarihitsaus käyttäen aktiivista suojakaasua
 - = *Terästen hitsaus*

Usein käytetään virheellisesti
molemmista prosesseista
yleisnimityksenä
MIG-hitsausta



MIG-/MAG-hitsaus - laitteisto

- **MIG- ja MAG-hitsauksen** prosessien **samankaltaisuutta** kuvaa niiden toimintaperiaate:
- MIG- ja MAG-hitsauksessa lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteistolla monitoimikaapelin kautta hitsauspolttimeen ja edelleen hitsaustapahtumaan eli valokaareen, joka palaa lisäainelangan ja työkappaleen välillä. Syntyvän valokaaren lämpö sulattaa hitsattavat kappaleet ja lisäainelangan metalliseksi liitokseksi. Suojakaasulla suojataan valokaaritapahtumaa ja se johdetaan kaasupullosta tai verkostosta virtaussäätimen ja magneettiventtiilin avulla hitsauspistoolin kaasusuuttimeen. Hitsausvirta johdetaan monitoimikaapelilla virtalähteestä hitsauspistoolin ja kontaktisuuttimen avulla lisäainelankaan. Hitsausvirtalähteellä muokataan verkkovirta hitsaukseen sopivaksi. Maadoituskaapeli yhdistää sähköisesti virtalähteen ja työkappaleen.



MIG-/MAG-hitsaus - laitteisto



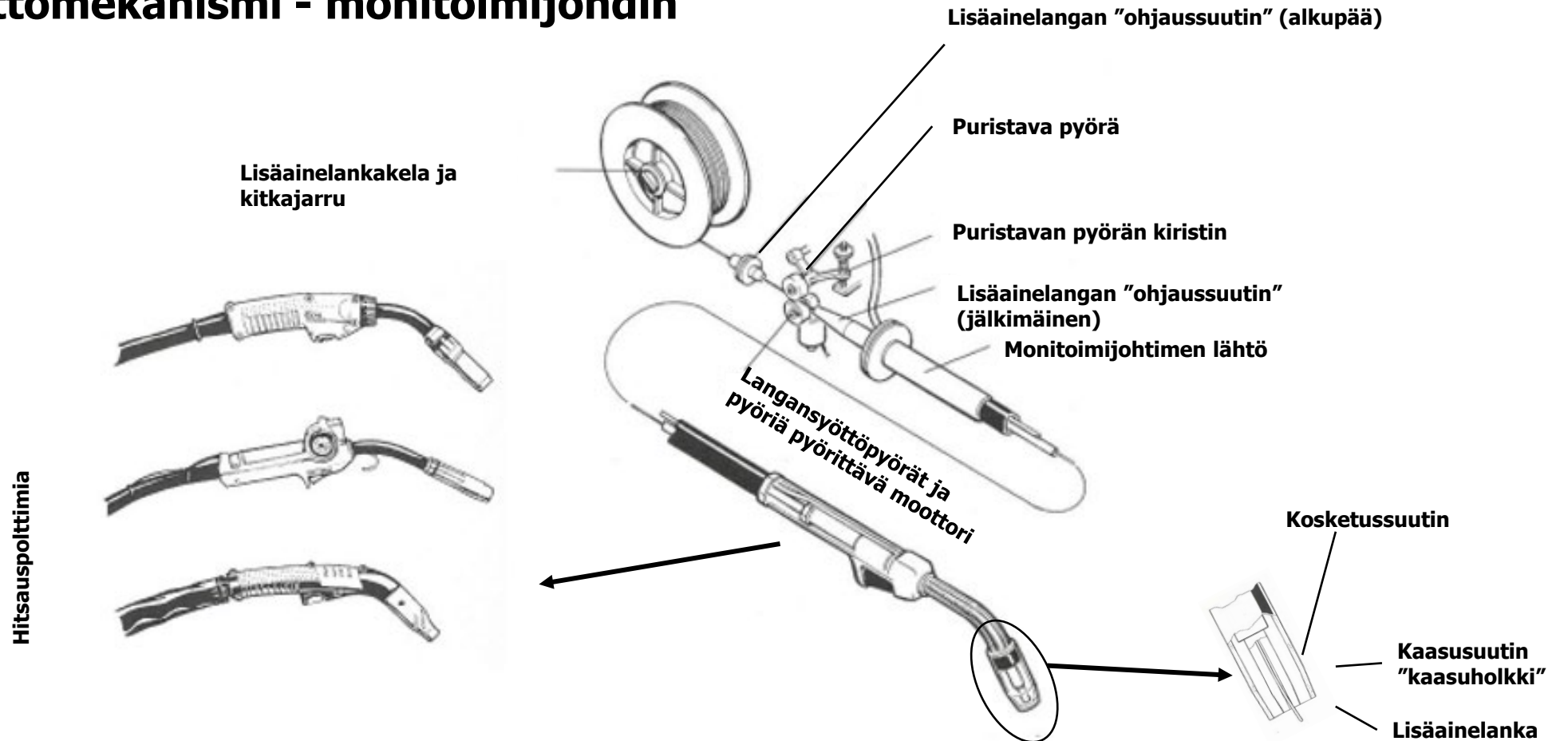
Kuvalähde (referoitu): Kemppi, Käsinhitsaustarvikkeet 2025



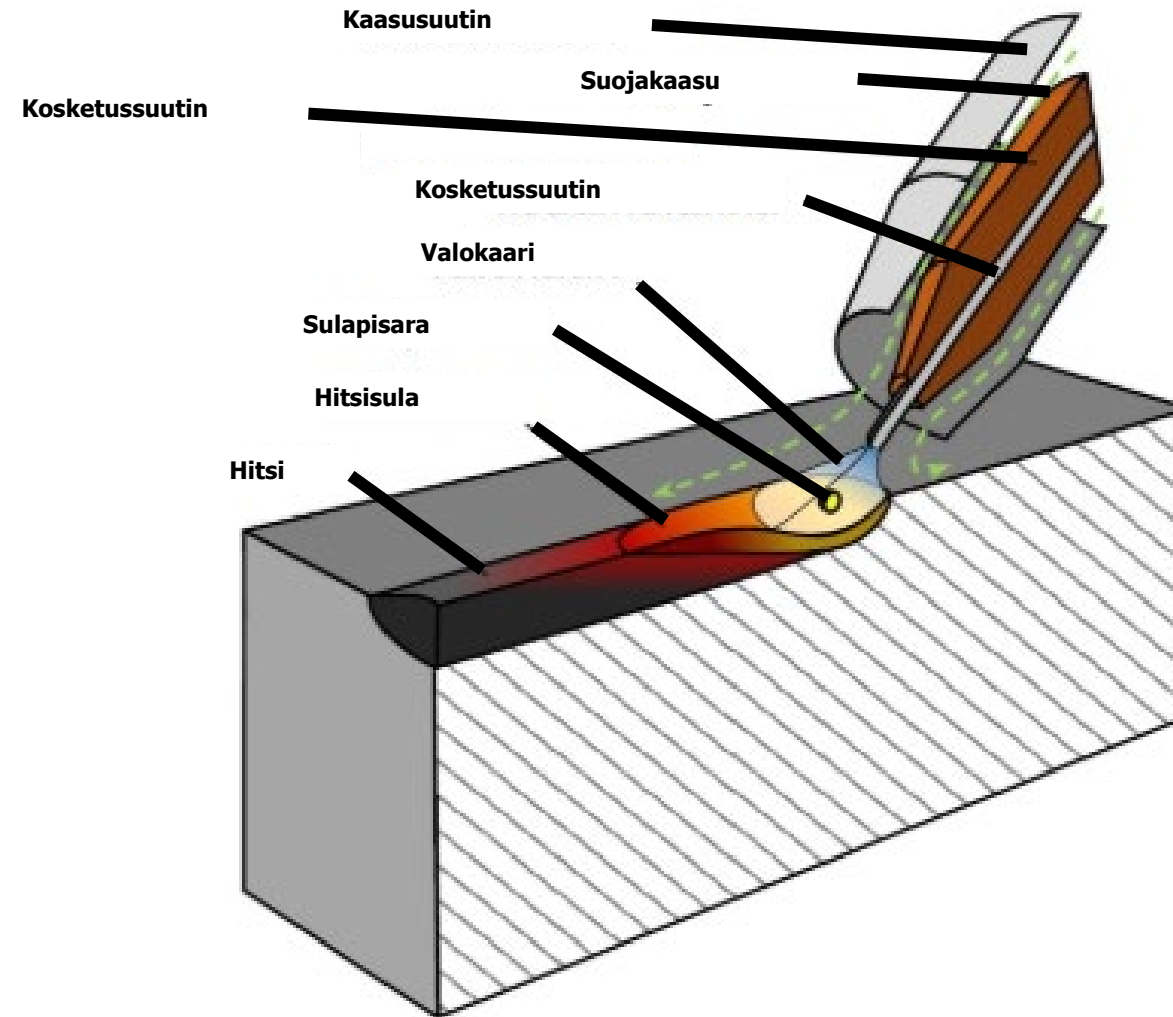
Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus

Langansyöttömekanismi - monitoimijohdin



MIG/MAG-hitsaus



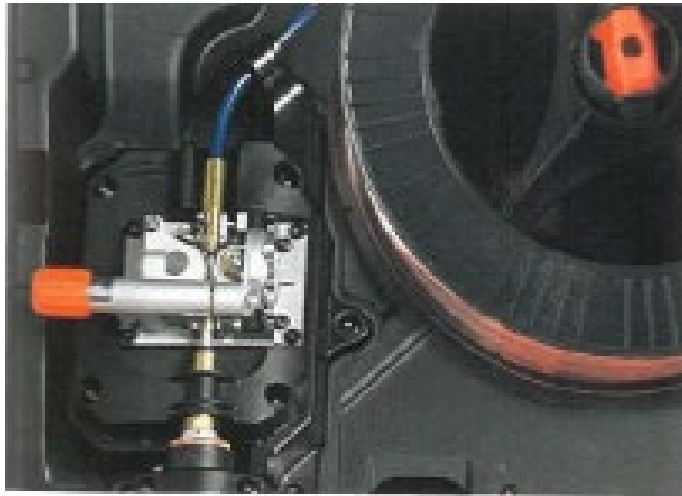
[Kuvalähde \(reformoitu\): MIG/MAG-hitsaus - Ionix Oy](#)



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus

Langansyöttömekanismi



Langansyöttöpyörät



Langansyöttöpyörät paripyörästöllä
(teliveto)

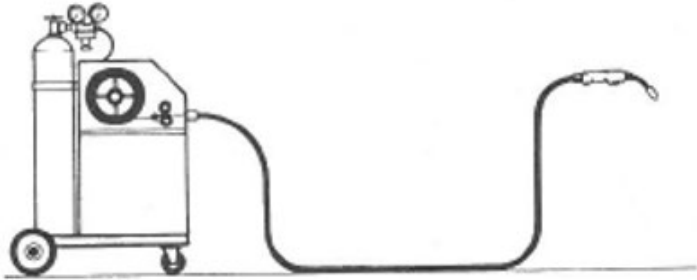
Kuvalähde (referoitu): Kemppi, Käsinhitsaustarvikkeet 2025



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG-/MAG-hitsaus – Ulottuvuuden parantaminen

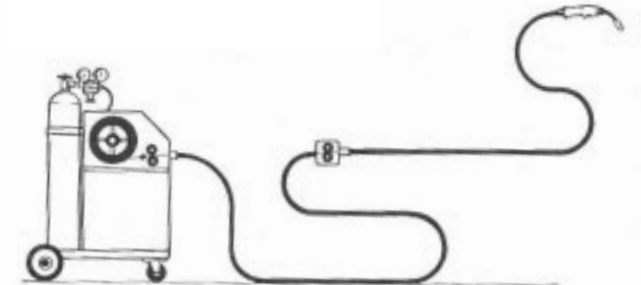
- MIG-/MAG-hitsauksessa ulottuvuutta voidaan parantaa langansyötön lisälaitteilla/-varusteilla



Perinteinen työntävä langansyöttö, jossa ulottuvuus (max. n. 4,5 m)



Työntävä-vetävä langansyöttö, jossa ulottuvuus (max. n. 6 m). Tällä ei niinkään tavoitella ulottuvuutta, vaan toimii esimerkiksi pehmeiden materiaalien hitsauksessa, kuten alumiini

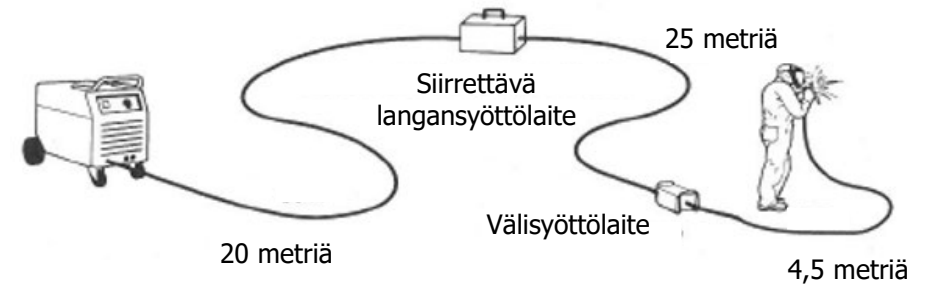


Langansyötön välisyöttöjärjestelmä, jossa ulottuvuus (max. n. 10 m). Erillinen lisäsyöttöpyörästä "matolaatikko"



MIG-/MAG-hitsaus – Ulottuvuuden parantaminen

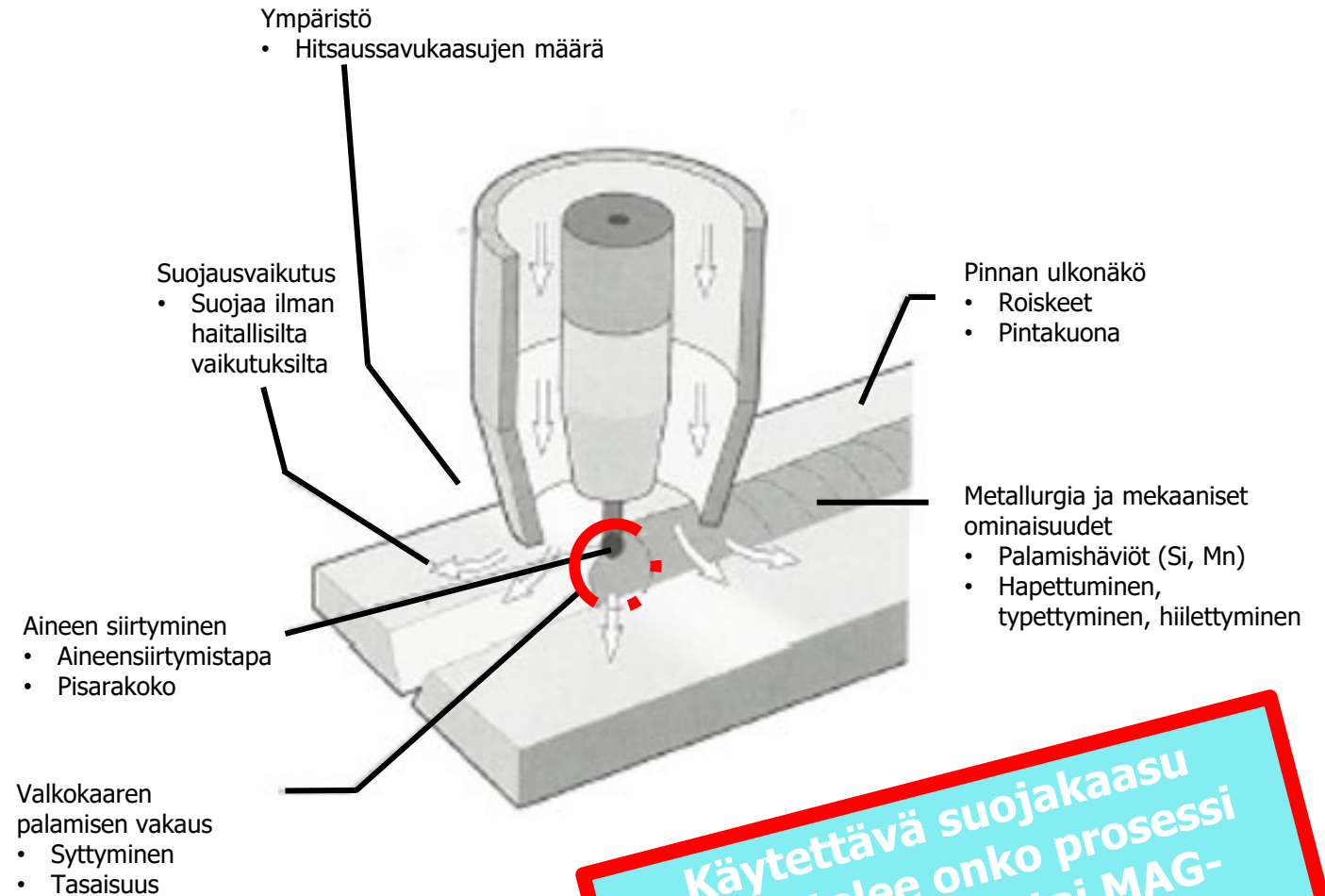
- MIG-/MAG-hitsauksessa ulottuvuutta voidaan parantaa langansyötön lisälaitteilla/-varusteilla



MIG/MAG-hitsaus

Suojakaasu

MIG- ja MAG-hitsauksessa suojakaasun tehtävä on suojata hitsisulaa ilmassa olevan hapen ja typen haitallisilta vaikutuksilta. Lisäksi sillä saadaan vaikutettua valokaareen, jotta se palaa toivotulla tavalla. Suojakaasun tehtävänä on myös jäähdyttää hitsauspoltinta.



Käytettävä suojakaasu
määrittelee onko prosessi
MIG-hitsausta tai MAG-
hitsausta



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus - Suojakaasuista

Argon (Ar) on inertti kaasu, joka ei reagoi kemiallisesti hitsisulan kanssa. Argon on jalokaasua, jota on ilmassa 0,932 %.

Helium (He) on inertti kaasu, joka ei reagoi kemiallisesti hitsisulan kanssa. Helium on jalokaasu, jota on ilmassa 0,0005 %. Heliumin yleisin saantilähde on maakaasu. Erottaminen maakaasusta tapahtuu nesteyttämällä muut kaasut seoksesta pois.

Hiilidioksidi (CO₂) on aktiivinen kaasu (hapettava), joka reagoi hitsisulan kanssa. Hiilidioksidi on hiilen ja hapen kemiallisen yhdiste, hiilen palamisessa syntyvä kaasu, jota syntyy esim. hengityksessä, käymisprosessissa ja öljyn polttamisessa. Hitsauksessa käytettävää hiilidioksidia erotetaan mm. alkoholin (spriin) valmistuksessa syntyvästä käymiskaasusta.

Happi (O₂) on hapettava kaasu, joka reagoi hitsisulan kanssa. Happi on kaikkein yleisin ja runsaimmin luonnossa esiintyvä alkuaine. Happi on hyvin aktiivinen, mutta aktiivisuus tulee esille parhaiten vasta korkeissa lämpötiloissa. Silloin useimmat aineet yhtyvät happeen ja palavat. Tavallisissa lämpötiloissa hapettuminen tapahtuu hitaasti. Happi valmistetaan teknisesti ilmasta tislamalla.

Vety (H₂) on pelkistävä kaasu, joka reagoi hitsisulan kanssa. Vety on palava kaasu ja siten kemiallisesti muihin aineisiin yhtyvä ja niistä erotettavissa oleva kaasu. Vety erotetaan vedestä (H₂O) sähkövirran avulla elektrolyytisesti.

Typpi (N) on reagoimaton kaasu, mutta korkeimmissa lämpötiloissa sillä on typettävä vaikutus. Typeä on luonnossa sekä vapaana alkuaineena, että kemiallisina yhdisteinä. Vapaana se muodostaa pääaineen (78 %) ilman tilavuudesta. Typeä valmistetaan ilmasta tislamalla.



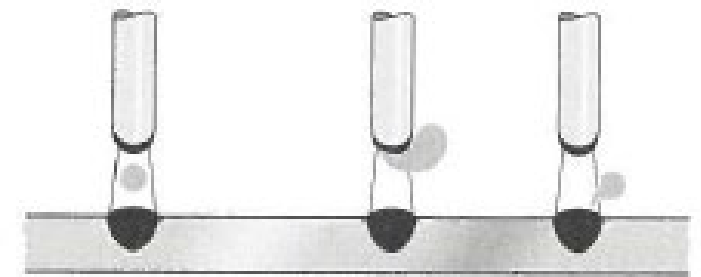
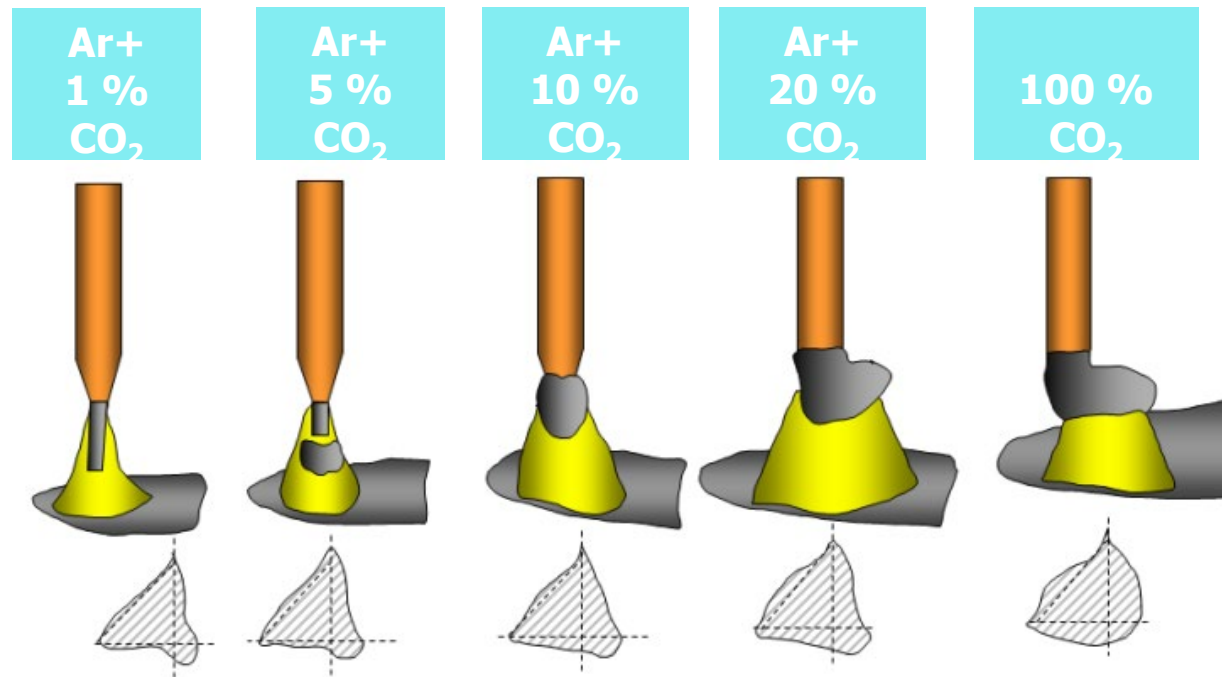
Suojakaasun virtauksen tarkastusmittaus
kannattaa tehdä kaasusuuttimen päästä rotametrillä



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus - Suojakaasuista

- Esimerkki suojakaasun vaikutuksesta ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) pitoisuuden mukaan.



Aineen siirtyminen käytettäessä suojakaasun hiilidioksidia (CO_2).



MIG/MAG-hitsaus - Suojakaasuista

Työympäristö

Suojakaasu vaikuttaa hitsaushuurujen ja savujen muodostumiseen.

Suojavaikutus

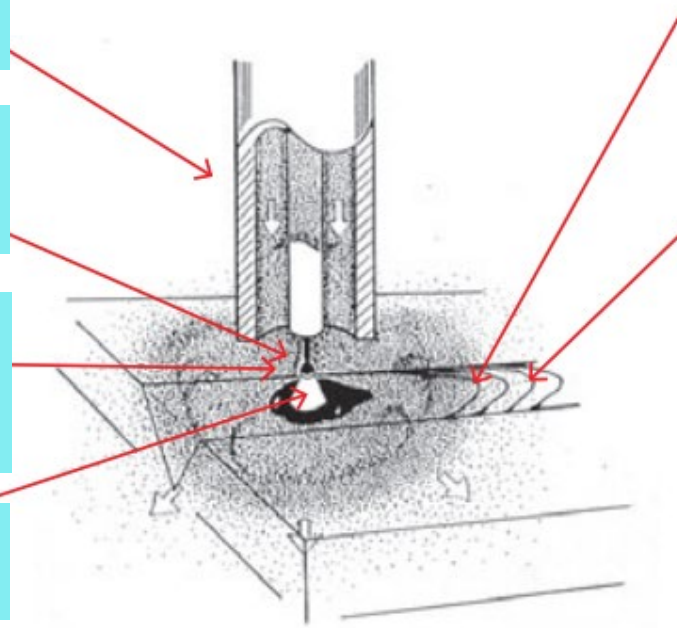
Suojakaasuvaippa suojaa hitsisulaa ja kuumaa metallia ympäröivän ilman vaikutukselta.

Aineen siirtyminen

Suojakaasu vaikuttaa voimakkaasti aineensiirtymistapaan, kuten myös pisarakokoon ja pisaroihin vaikuttaviin voimiin valokaaressa.

Kaaren vakaus

Suojakaasu vaikuttaa kaaren vakauteen ja valokaaren syttymiseen.



Hitsin ulkonäkö

Suojakaasu vaikuttaa oleellisesti roiskeiden ja kuonan määrään.

Metallurgia ja mekaaniset ominaisuudet

Suojakaasu vaikuttaa seosaineiden palamishäviöihin sekä hapen, typen, vedyn ja hiilen liukenemiseen hitsisulaan. Tällä on vaikutusta hitsin mekaanisiin ominaisuuksiin ja korroosio-ominaisuuksiin.

Hitsiprofiilin muoto

Suojakaasu vaikuttaa hitsikuvun korkeuteen, hitsin tunkeumaan, hitsautumissyvyyteen ja sen liittymiseen perusaineeseen.

Hitsausnopeus

Suojakaasun valinta vaikuttaa hitsausnopeuteen ja tätä kautta hitsauksen kokonaiskustannuksiin.

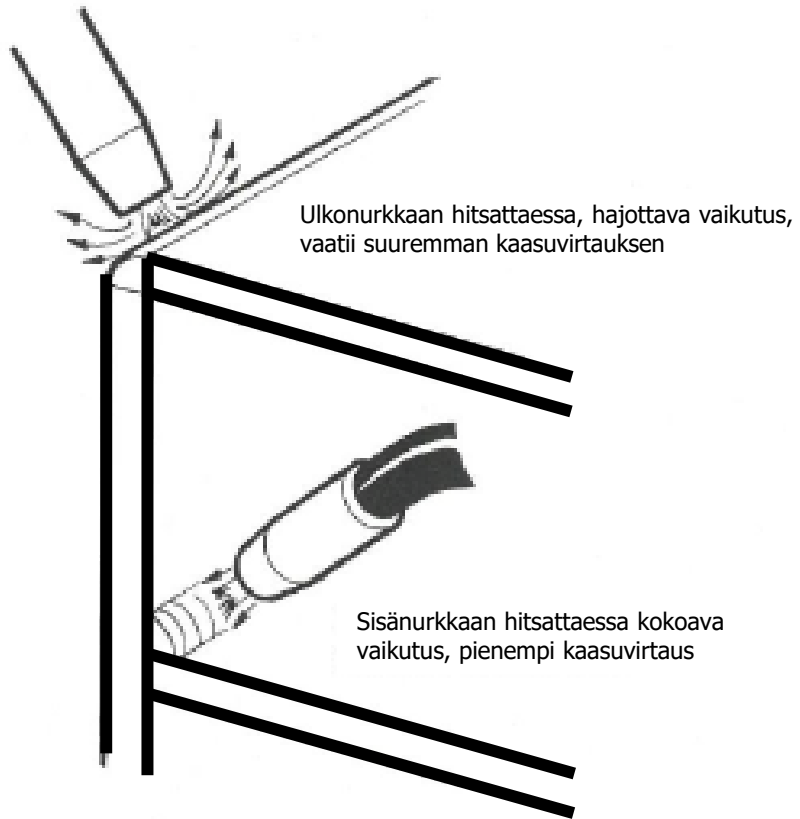
- Suojakaasun vaikutus MIG-/MAG-hitsauksessa.

Kuvalähde (referoitu) AGA Suojakaasukäsikirja



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus – Suojakaasun virtauksesta



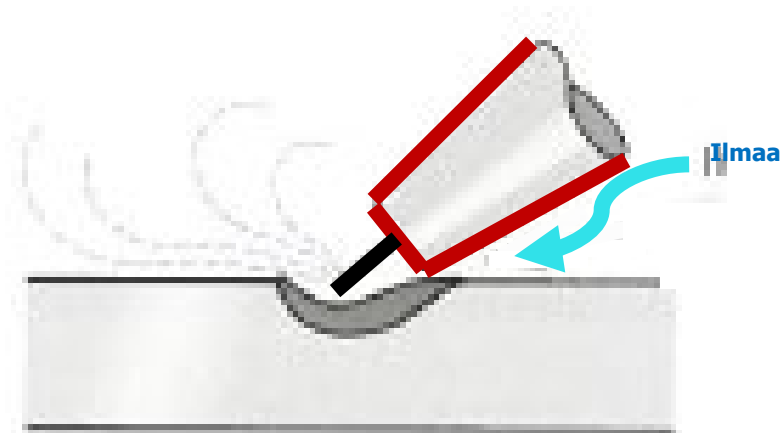
Liitostyyppi ja rakenne vaikuttavat tarvittavaan suojakaasun virtausmäärään.

Hitsausohje WPS huomioi nämä molemmat, joten on syytä käyttää WPS:n mukaisia virtauksia.

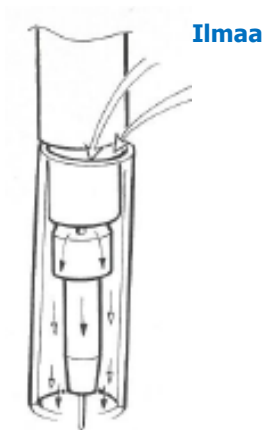
Ulkonurkassa suojakaasu on myös alttiimpi ilmavirtauksille.



MIG/MAG-hitsaus – Suojakaasun virtauksen ongelmia



Polttimen liian suuressa kallistuskulmassa voi kaasunvirtaus aiheuttaa imua polttimen alapuolelle, jolloin ilmaa sekoittuu suojakaasuun.



Kaasusuuttimen virheellinen asento voi aiheuttaa sen, että ilmaa pääsee sekoittumaan suojakaasuun.

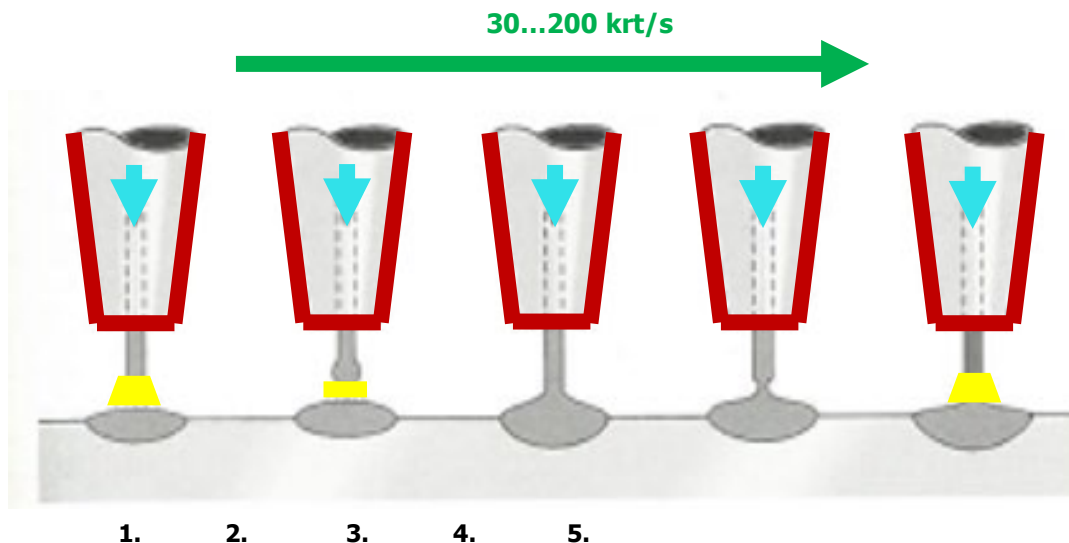


Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus – Kaarialueet (lyhytkaarihitsaus)

kortbågsvetsning (r), short arc welding (en) kurzlichtbogenschweissen (s)

- **Lyhytkaarihitsauksessa valokaari sammuu** jaksoittain lisäainelangan ja perusaineen välillä syntyvien oikosulkujen aikana. Kaarijännite on lyhytkaarihitsauksessa niin alhainen verrattuna lisäainelangan syöttönopeuteen, ettei valokaaren teho ehdi sulattamaan lisäainetta, vaan lanka ehtii törmätä välillä perusaineeseen, aiheuttaen mainitun oikosulun.
- Oikosulku- ja valokaarivaiheet tapahtuvat nopealla taajuudella 30...200 kertaa/sekunti.



Lyhytkaarihitsauksen kulku ja lisäaineen siirtyminen

1. Valokaari palaa, sulattaen perusaineen.
2. Valokaari lyhenee.
3. Valokaari sammuu lisäainelangan törmätessä hitsisulaan.
4. Langan pää kuroutuu poikki sulaessaan ja siirtyy sulaneena hitsisulaan.
5. Valokaari syttyy uudelleen.

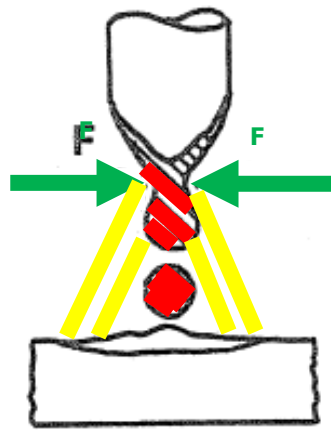


Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus – Kaarialueet (kuumakaarihitsaus)

kspraybågsvetsning (r), spray arc welding (en) spruhlichtbogenschweissen (s)

- **Kuumakaarihitsauksessa kaariteho** on niin suuri, että valokaari palaa jatkuvasti, ilman oikosulkuvaihteita. Kaaritehon kasvaessa siirtyvän lisäaineen pisarakoko pienenee. Riittävän tehon nostaminen saa aikaan Ar-seosteisilla kaasuilla lisäaineen pään muodostumisen kartiomaiseksi pisaroiden siirtyessä suihkumaisena hitsisulaan.
- Kuumakaaren käyttö vaatii suuren hitsaustehon, joka taas johtaa suureen lisäainemäärään aikayksikössä sekä suureen tunkeumaan. Suuren hitsisulan vuoksi **kuumakaarihitsaus ei sovellu asentohitsauksiin**, eikä päittäisliitosten pohjapalkojen hitsaukseen.



Kuumakaarihitsauksessa aineen siirtyminen on suihkumaista. Tärkein vaikuttava voima (F) on pinch-voima, joka kuroo pisarat irti ennen langan päästä pisaran irti ennen kosketusta ja sinkoaa sen hitsisulaan.

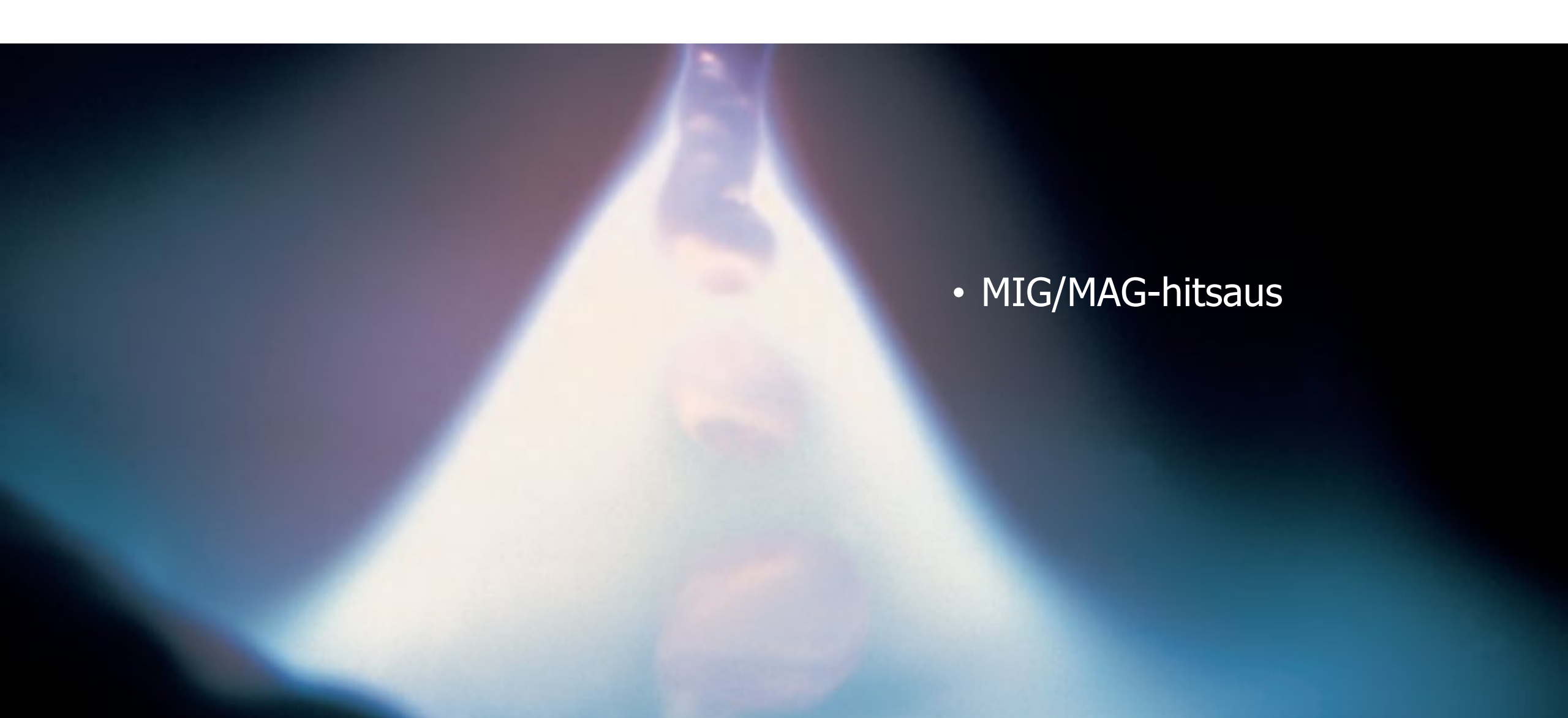
Pinch-voima 300 A hitsausvirralla

= ~

$$\frac{300^2}{2}$$



Euroopan unionin
osarahoittama

- 
- MIG/MAG-hitsaus



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus – Kaarialueet (sekakaarihitsaus t. välikaari)

- **Sekakaaresta** käytetään myös nimitystä välikaari, puolikuumakaari, siirtymäkaari, tai ylimenokaarihitsaus. Yksinkertaistettuna tämä kaarialue on kuumakaaren ja lyhytkaaren välissä. Aineen siirtyminen on yhdistelmä oikosulkusiirtymisestä ja suihkumaisesta siirtymisestä.
- Tätä kaarialuetta pyritään välttämään, koska suuripisarainen aineen siirtyminen, oikosulut ja kaarivoimat aiheuttavat runsaasti roiskeita. Toisinaan sitä kuitenkin joudutaan käyttämään, milloin lyhytkaari on liian kylmä ja pienitehoinen sekä kuumakaari liian kuuma ja suuritehoinen työkohteeseen. Yleisin kohde on pystyhitsaus ylhäältä alaspäin sekä vaakahitsaus.

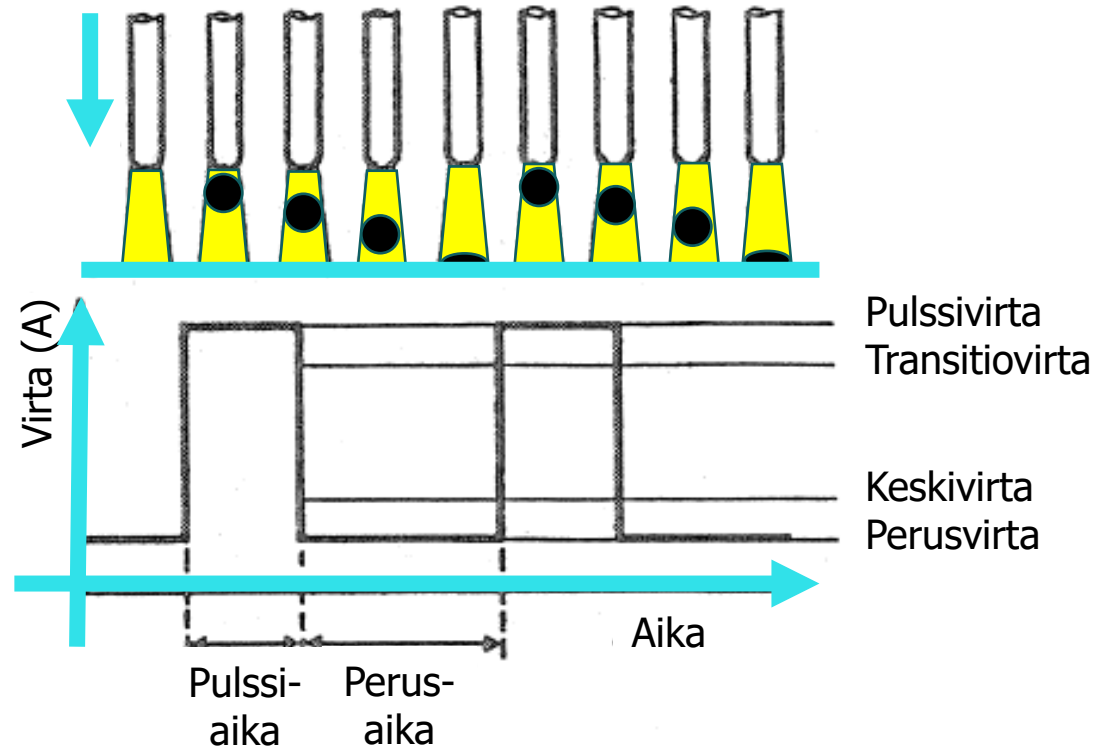


MIG/MAG-hitsaus – Kaarialueet (pulssikaari t. Pulssi MIG-/MAG-hitsaus)

- **Pulssikaarihitsauksessa** ohjataan aineensiirtymistä pulssivirran eli sykkivän virran avulla. Sillä saadaan aikaan suihkumainen aineen siirtyminen, eli kuumakaari, vaikka se ei muuten käytetyllä langanhalkaisijalla ja keskimääräisellä hitsausvirralla olisi mahdollista, vaan hitsaus näillä parametreilla olisi lyhytkaari- tai sekakaarihitsausta.
- Pulssikaarihitsauksessa valokaari palaa täysin ilman oikosulkuja. Tehoalue koostuu pienistä ja suurista tehoista. Pulssikaari edellyttää inerttiä suojakaasua (argon, helium) tai argonvaltaista seoskaasua. Seostamattomassa teräksessä hiilidioksidipitoisuus saa olla korkeintaan 20 %. Käytettäessä enemmän hiilidioksidia sisältävää suojakaasua, sulapisaraa takaisin työntävä voima ylittää pinch-voiman.
- Pulssikaari saadaan aikaan syöttämällä korkeampia virtapulsseja tiheällä taajuudella perushitsausvirran päälle. Tapahtumassa perusvirta sulattaa langan pään sekä pitää hitsin sulana ja pulssivirta irrottaa pienet pisarat (suihkumaiset). Optimitilanne on silloin, kun yksi pisara irtoaa virtapulssia kohti.



MIG/MAG-hitsaus – Kaarialueet (pulssikaari t. Pulssi MIG-/MAG-hitsaus)

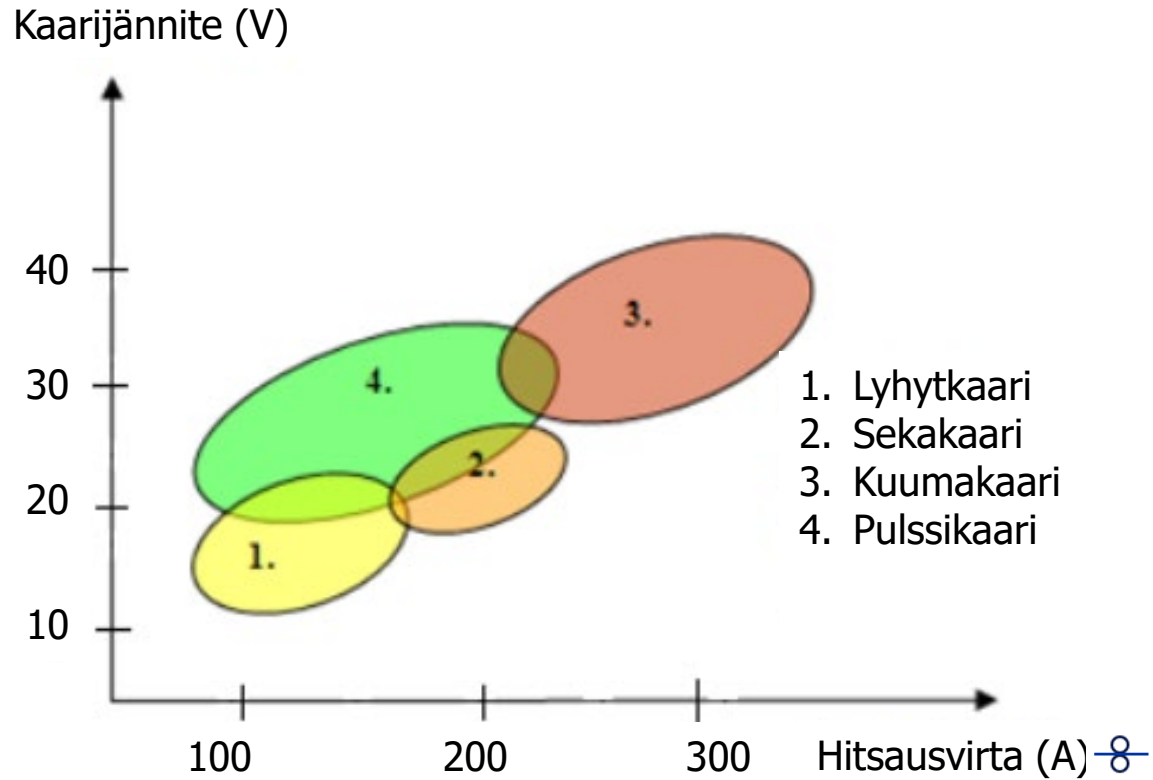


Pulssikaarihitsauksen sähköinen periaate ja aineen siirtyminen virtapulsseissa



Euroopan unionin
osarahoittama

MIG/MAG-hitsaus - Kaarialueet

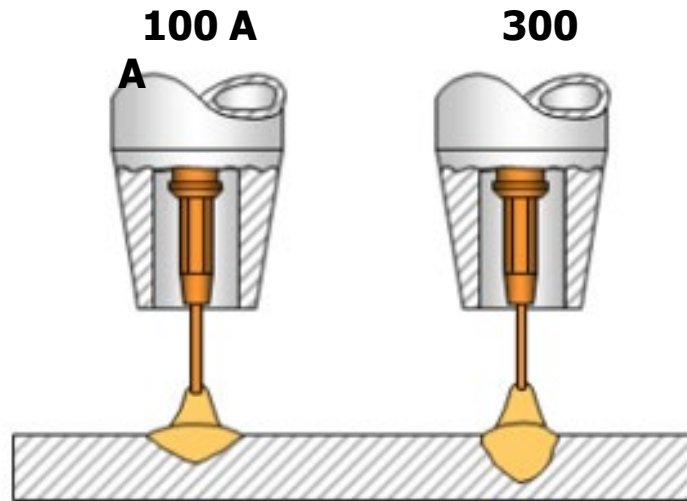


MIG/MAG-hitsaus - Suoritustekniikasta

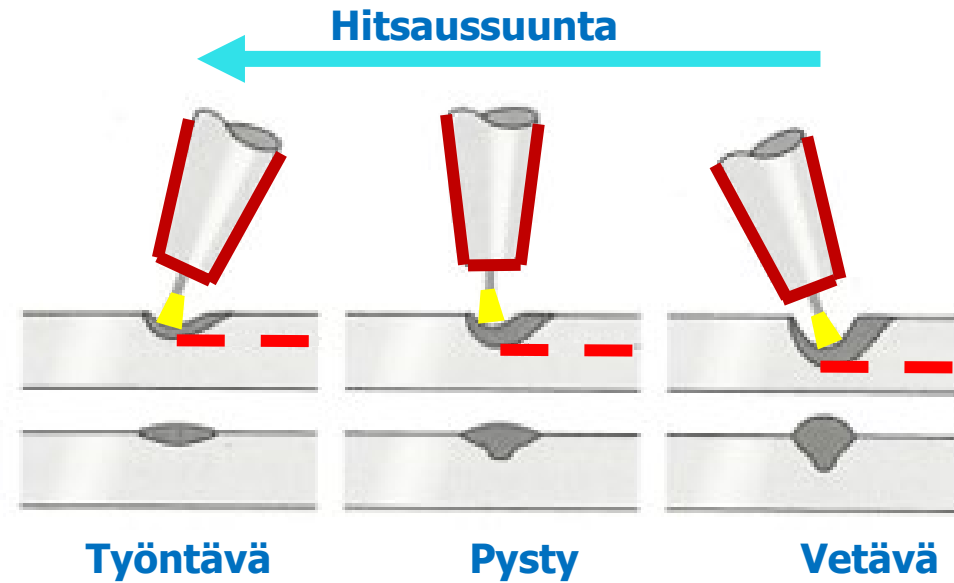
- MIG-/MAG-hitsauksessa on useita säädettäviä parametrejä, jotka vaikuttavat hitsin muotoon, hitsausominaisuuksiin ja hitsiaineen tuottoon. Näitä ovat mm:
 - Kaarijännite
 - Langansyöttönopeus/hitsausvirta
 - Hitsausnopeus
 - Suojakaasu
 - Lisäainelangan halkaisija
 - Vapaalangan pituus ja kosketussuuttimen etäisyys
 - Hitsauspolttimen asento
 - Hitsauspolttimon kohdistus
 - Hitsausasento
- Seuraavilla sivuilla joitakin oleellisia muuttujia.



MIG/MAG-hitsaus - Suoritustekniikasta



Hitsausvirran suuruuden vaikutus tunkeumaan



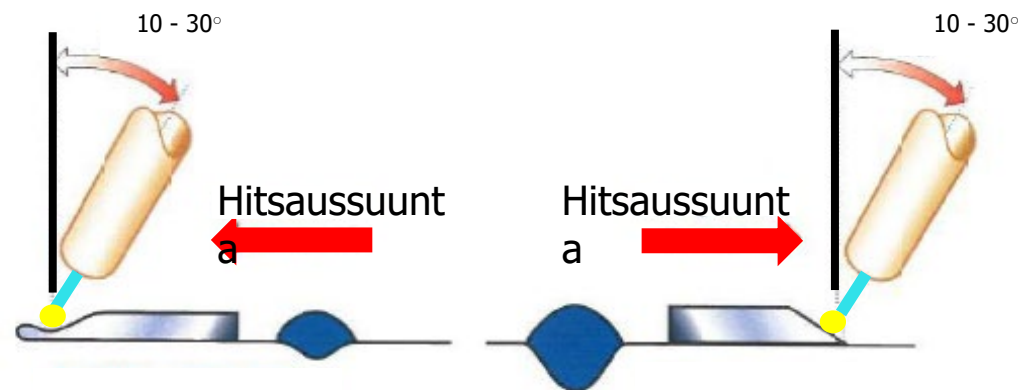
Polttimen kuljetuskulman ja suunnan vaikutus tunkeumaan



MIG/MAG-hitsaus - Suoritustekniikasta



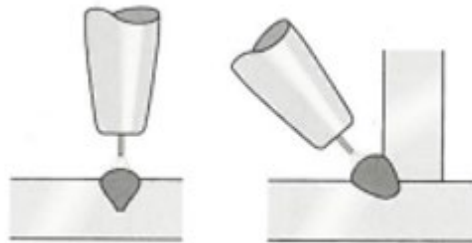
Polttimen virheellinen kohdistaminen vaikuttaa hitsautumissyvyyteen



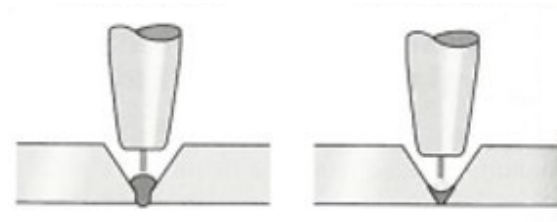
Polttimen asennon vaikutuksesta tunkeumaan.



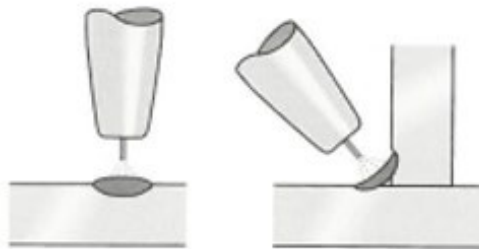
MIG/MAG-hitsaus - Suoritustekniikasta



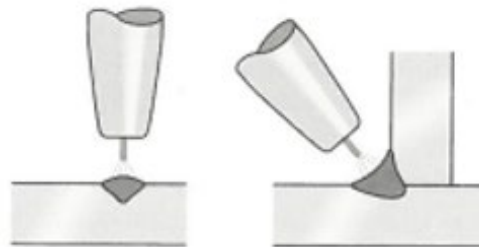
Pieni kaarijännite



Pieni kaarijännite Suuri kaarijännite

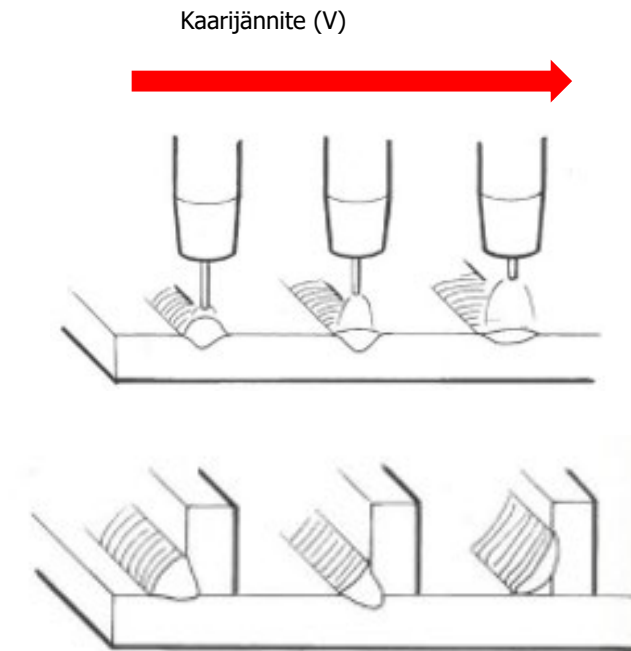


Suuri kaarijännite



Oikea kaarijännite

**Kuva: Kaarijännitteen ja vapaalangan vaikutus hitsiin.
Samanlainen vaikutus on, jos vapaalankaa pidennetään**



Kuva: Kaarijännitteen vaikutus hitsiin



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Alumiinin MIG-hitsaus

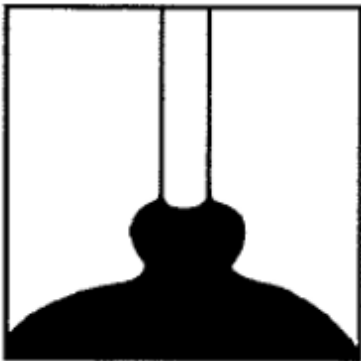
- Alumiinin kuten muidenkin ei rautametallien hitsaus on MIG-hitsausta (prosessi 131), koska käytettävä suojakaasu on inerttiä (argon tai argon ja helium seoskaasua).
- **Alumiinin MIG-hitsauksen etuja** ovat tehokkuus, tuottavuus, helppo mekanisoitavuus, kuonaton sekä juoksutteeton hitsausprosessi ja hyvä valokaaren pintapuhdistuskyky. Lisäksi hitsaus on kyseisellä prosessilla mahdollista kaikissa hitsausasennoissa.
- **MIG-hitsauksen haittoina** voidaan mainita, että prosessi on suhteellisen arka kosteudelle, luoksepäästävyys hitsauskohteeseen voi olla rajoitettu ja ohuiden materiaalien hitsaus on rajallinen. Alumiinin MIG-hitsauksen **kuumakaaren käyttöalue** alkaa noin 3 mm aineenvahvuudesta ylöspäin. **MIG-pulssikaarihitsaus mahdollistaa** vähän pienemmät aineenvahvuudet $n. \geq 1$ mm. Pulssikaarihitsaus on myös 2-3 kertaa nopeampi hitsausprosessi kuin TIG-hitsaus (141), jolloin lämmöntuonti ja lämmön aiheuttamat muodonmuutokset jäävät pienemmiksi.



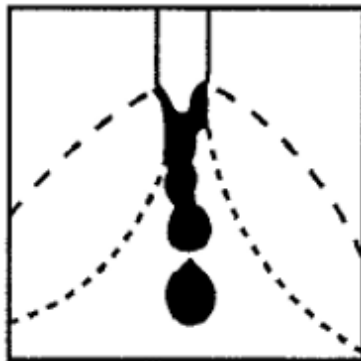
Alumiinin MIG-hitsaus

- **Alumiini MIG-hitsauksessa** käytetään **tasavirtaa** ja hitsauslanka (elektrodi) kytkettynä + napaan (DC+) tämän ansiosta valokaarella on **luontaisesti hyvä oksidin pintapuhdistuskyky**.
- Aineensiirtyminen tapahtuu pieninä pisaroina joko oikosulkujen kautta (lyhytkaarihitsaus) tai ilman oikosulkuja (kuumakaarihitsaus ja pulssikaarihitsaus)

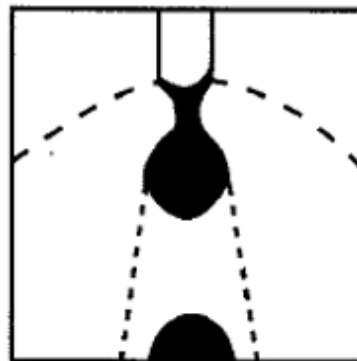
- **Lyhytkaari**



- **Kuumakaari**



- **Pulssikaari**



Kuumakaarihitsauksessa aineensiirtyminen tapahtuu ilman oikosulkuja ja aineensiirtyminen on hyvin hienopisaraista - sumumaista. Tällä kaarityypillä työkappaleeseen siirtyvä lämpömäärä on suuri, joten kuumakaarihitsaus ei sovellu asentohitsauksiin, eikä pohjapalkojen hitsaukseen. Suuren hitsisulan vuoksi sen käyttöalue rajoittuu väli- ja pintapalkojen hitsaukseen jalkoasennossa sekä alapienahitsaukseen. Kuumakaarihitsauksessa kaari on pehmeä ja vakaa, roiskeita syntyy vähän ja hitsin pinta on tasaisen sileä.



Alumiinin MIG-hitsaus

- Alumiinin MIG-hitsauksessa **transitiovirtaan** vaikuttaa hitsattava alumiiniseos ja langanhalkaisia.
 - Transitiovirrat noin:
 - 100 A, 0,8 mm lisääainelangalla
 - 130 A, 1,2 mm lisääainelangalla
 - 170 A, 1,6 mm lisääainelangalla

Transitiovirta on se hitsausvirta, jonka alapuolella hitsaus on lyhytkaarihitsausta ja yläpuolella kuumakaarihitsausta.



Alumiinin MIG-hitsaus - kaarityypeistä

- **Lyhytkaarihitsauksen etuna** voidaan pitää hyvää sulan hallittavuutta asentohitsauksessa, pohjapaloissa ja mahdollisuutta hitsata ohuita aineenvahvuuksia.
- **Lyhytkaarihitsauksen haittoina** voidaan mainita suuri huokostaipumus, roiskeet sekä karkea hitsin pinta
- **Kuumakaarihitsauksen etuna** voidaan mainita suuri tunkeuma ja hitsiaineentuotto sekä hyvä hitsin tiiveys
- **Kuumakaarihitsauksen haittoina** voidaan pitää rajoitettua asentohitsausmahdollisuutta, huonoa soveltuvuutta ohuille aineenvahvuuksille sekä ohuiden lisäainelankojen käyttöä tehoalueen alapäässä.



Alumiinin MIG-hitsaus – Suoritustekniikkaa (lyhyesti)

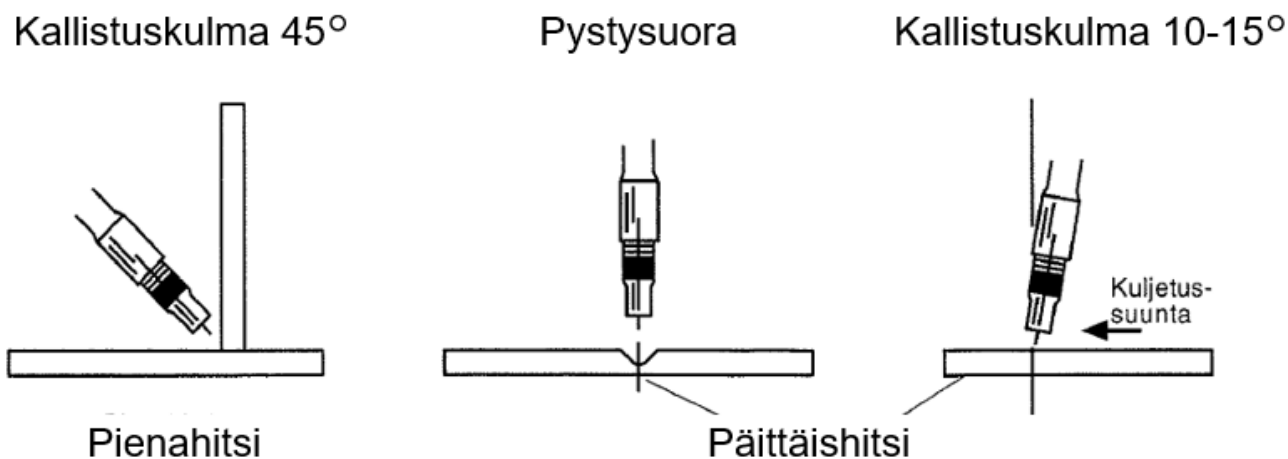
- Hitsauksen aloitus
 - Jos ei käytetä aloituspalaa, **hitsaus aloitetaan** noin 25 mm edessä ja palataan lähtökohtaan. Tämä vaikuttaa esikuumennuksen tavoin ja parantaa tunkeumaa sekä vähentää liitosvirheiden sekä huokosvirheen vaaraa kylmässä aloituskohdassa.
 - **Nykyaikaisissa koneissa** on erialisia toimintoja hitsauksen aloittamiseen: suojakaasun esivirtaus, ryömintäaloitus, kuumasytytys



Alumiinin MIG-hitsaus – Suoritustekniikkaa (lyhyesti)

- **Kuljetus**

- **Hitsauspistoolia kuljetetaan** hieman työntävässä asennossa eli kallistettuna valmiiseen hitsiin max. 15° . Liian työntävä kuljetusasento huonontaa kaasusuojaa ja kaaripaine työntää hitsisulaa eteenpäin valokaaren alle ja eteen, mistä seuraa helposti liitosvirheitä



Alumiinin MIG-hitsaus – Suoritustekniikkaa (lyhyesti)

- **Hitsauksen lopetus**
 - **Hitsauksen lopetukseen** syntyy lopetuskraatteri. Lopetuksessa lisätään kuljetusnopeutta niin että hitsisulan koko pienenee. Juuri ennen valokaaren sammumista tuodaan valokaarta hieman takaisin.
 - Nykyaikaisissa hitsauskoneissa on erilaisia toimintoja hitsauksen lopettamiseen, kuten suojakaasun jälkivirtaus, kraatterintäyttö, jälkipaloajansäätö



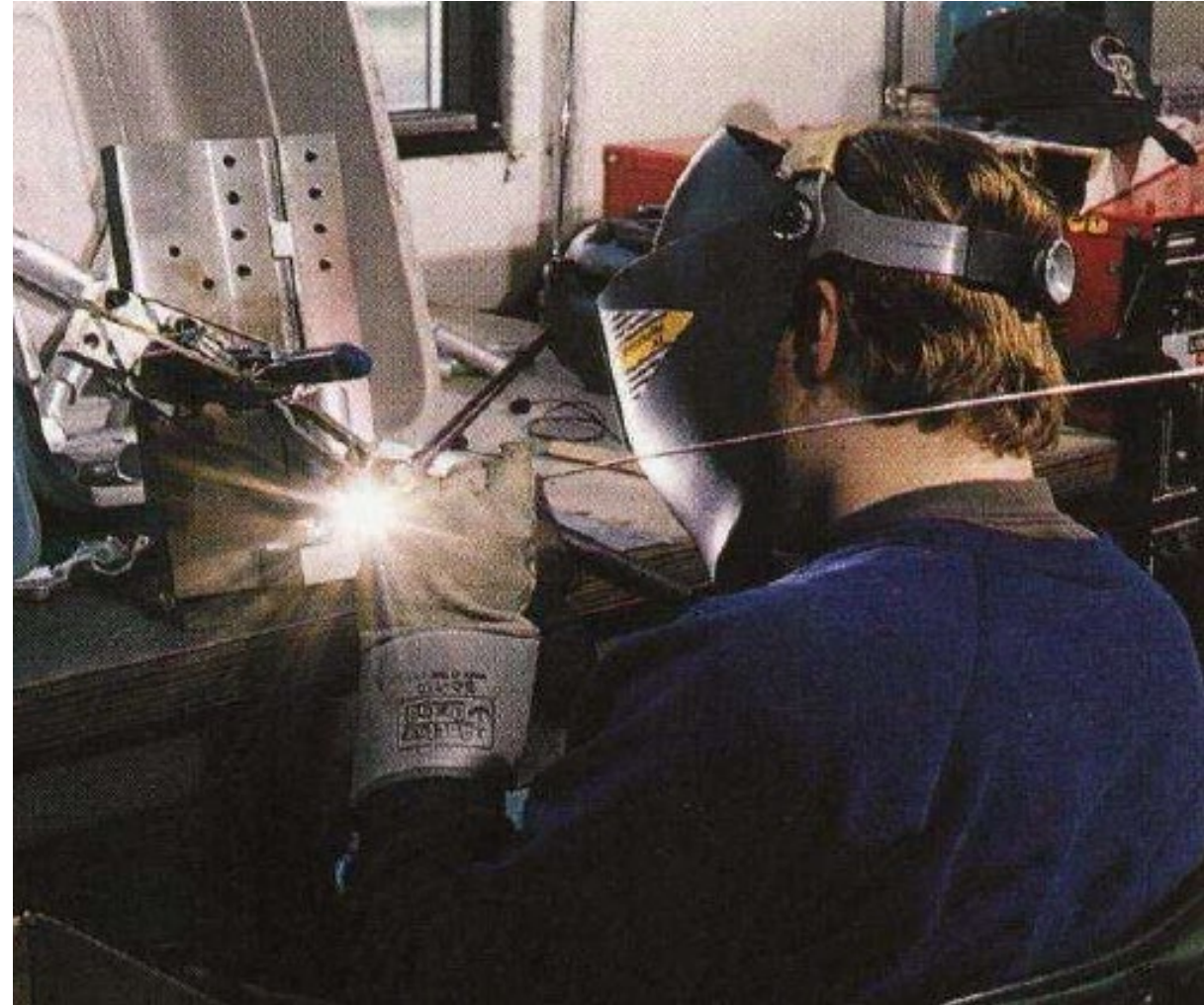
Alumiinin MIG-hitsaus — Lisäaineiden varastointi ja käsittely

- Lisäaineiden varastoinnissa ja käsittelyssä on aina noudatettava valmistajan vähimmäisohjeita
 - Varastoitava alkuperäispaketeissa.
 - Kuiva ja tasalämpöinen varastotila.
 - Optimi: Lämpötila 18-25 °C ja kosteus alle 50 %.
 - Langat eivät saa olla liian "vanhoja", esim. alle 1 vuosi.
 - Kylmän langan päälle ilman kosteus tiivistyy helposti.
 - Kylmät lankapaketit riittävän ajoissa (esim. 1 vrk) tuotantotilaan lämpötilan tasaantumiseksi ja kosteuden tiivistymisen estämiseksi

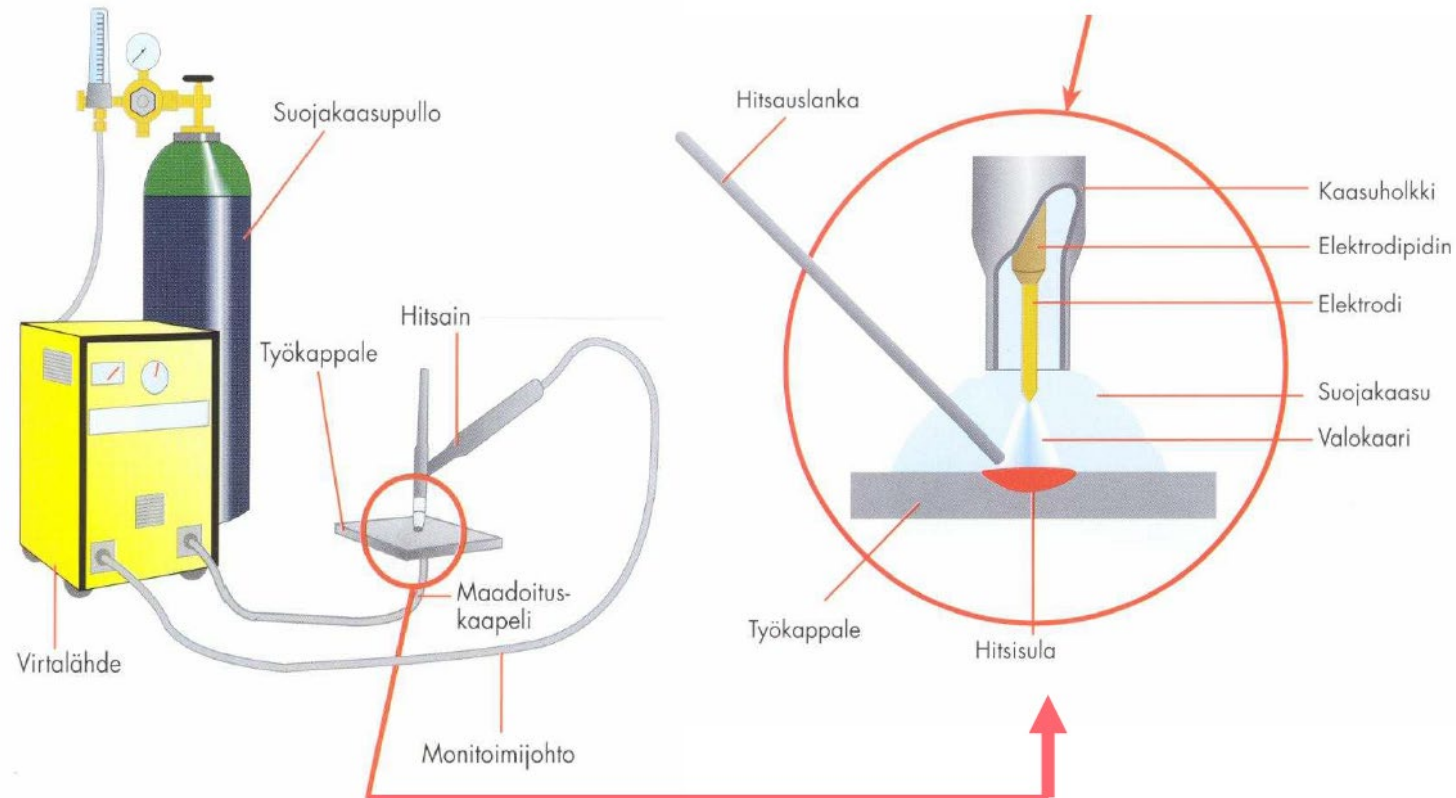


TIG-hitsaus

- TIG = Tungsten Inert Gas
- Volframikaasukaarihitsaus sulamattomalla elektrodilla.
- Nimityksiä muilla kielillä:
 - Ruotsi: TIG-svetsning
 - Engl. (Eurooppa/EN): Tungsten inert gas welding, TIG welding, (TIG)
 - Engl. (USA/AWS): Gas tungsten arc welding, (GTAW)
 - Saksa: Wolfram-Inertgasschweissen, WIG-Schweissen, (WIG)



TIG-hitsaus - Toimintaperiaate

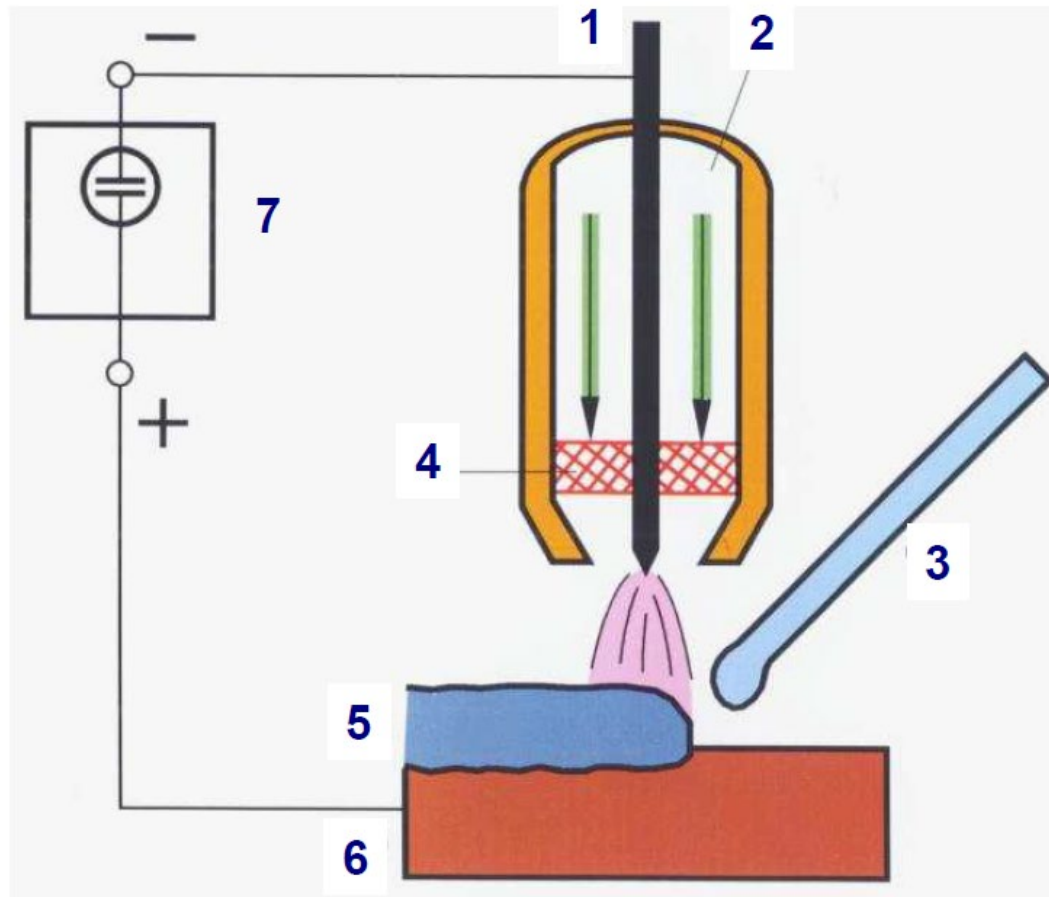


Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus - Kaaviomallinen toimintaperiaate



- 1. Volframielektrodi
- 2. Suojakaasu
- 3. Lisäainelanka
- 4. Kaasulinssi
- 5. Hitsi
- 6. Työkappale
- 7. Virtalähde

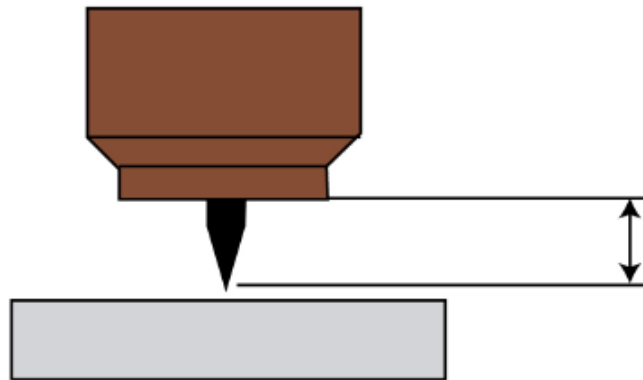
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

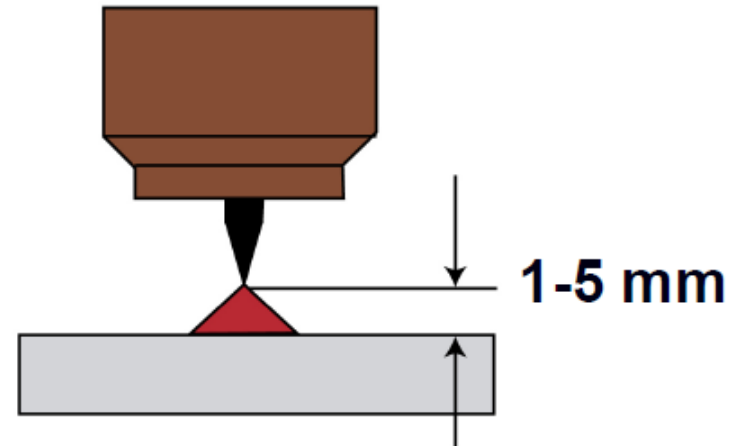
TIG-hitsaus - perusteet

Elektrodin ulkonema



3-5 mm

Valokaaren pituus



1-5 mm

= 2...3 * elektrodin halkaisija

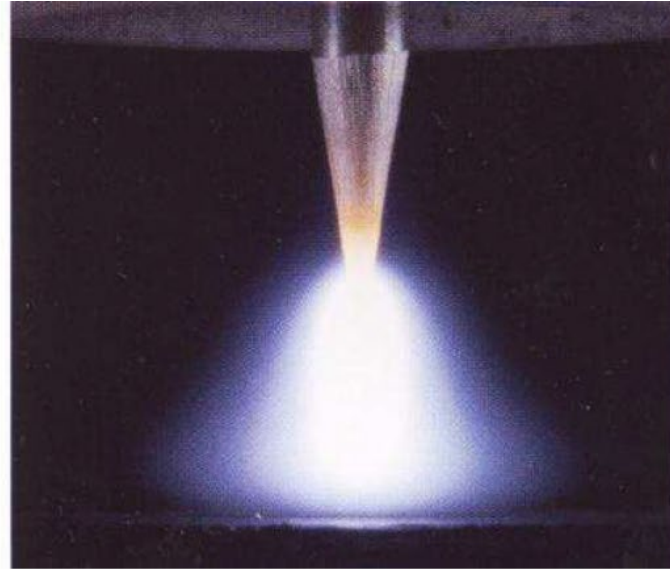
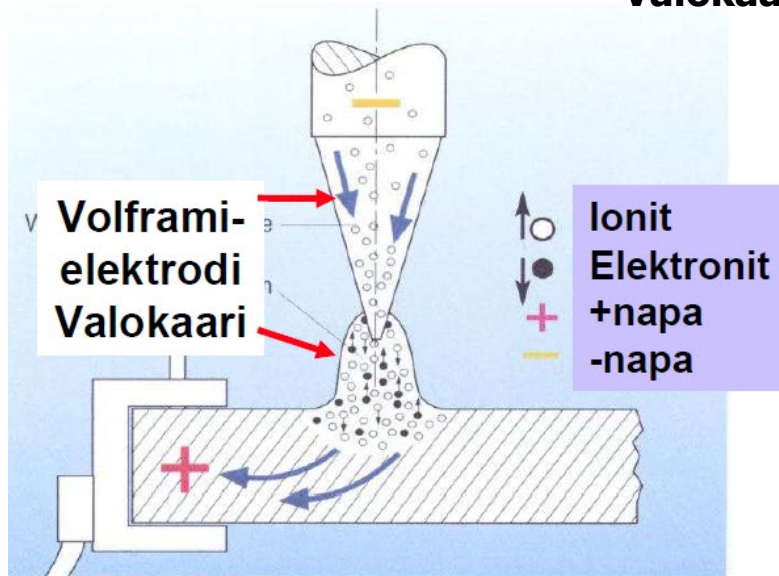
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



**Euroopan unionin
osarahoittama**

TIG-hitsaus - perusteet

Valokaari



Valokaaren sytytyksessä elektrodin ja työkappaleen välissä oleva tila (napojen väli) on saatava sähköä johtavaksi eli ionisoitava.

Valokaaren **sytytystapa**

1. **Kipinäsytytys** (yleisin)
2. **Kontaktisytytys**
3. **Raapaisusytytys**

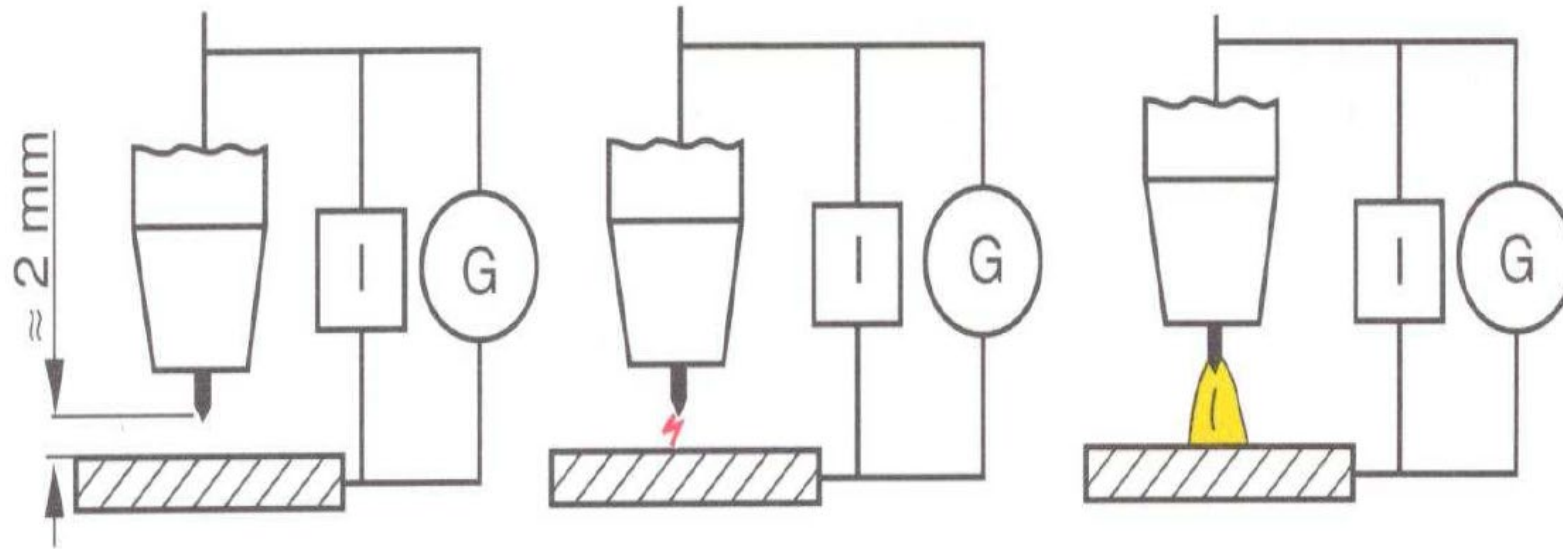
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus - perusteet

Kipinäsytytyslaite (pulssigeneraattori) antaa jännitepulssin napojen väliin, joka **ionisoi** kaarivälin ja



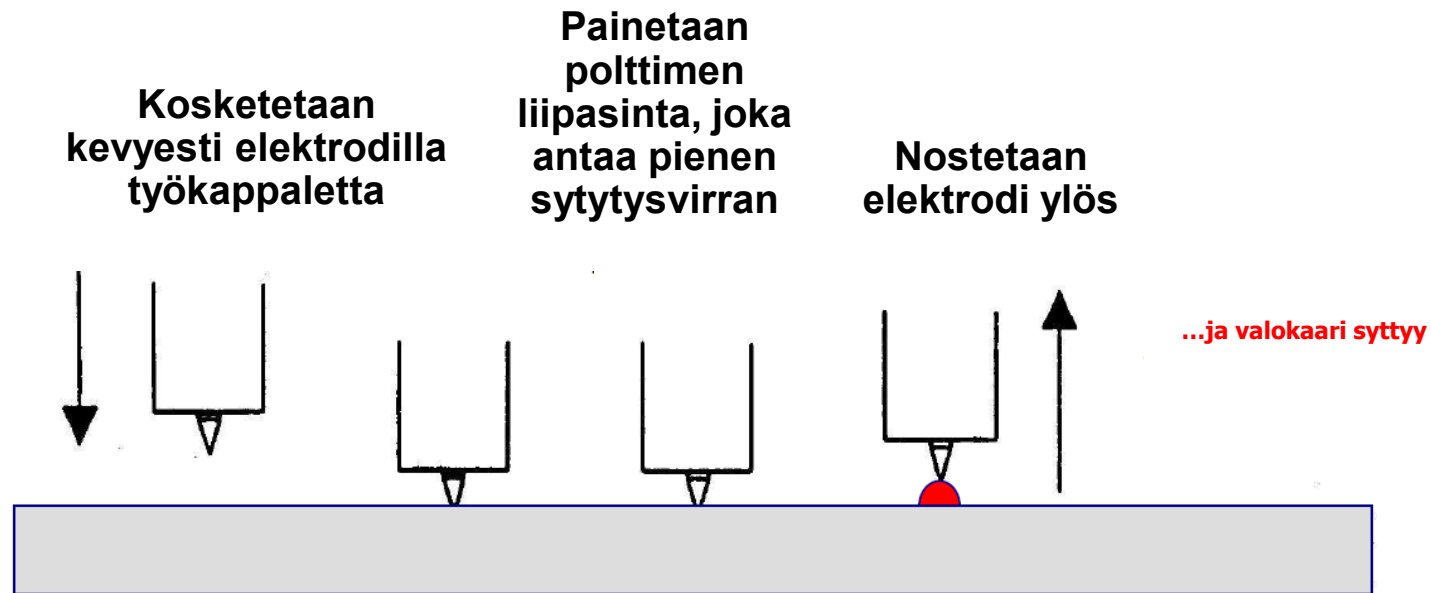
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus - perusteet

Kontaktisytytyksessä (ns. Lift-arc -sytytys)



Kuvalähde: IW-koulutusaineisto

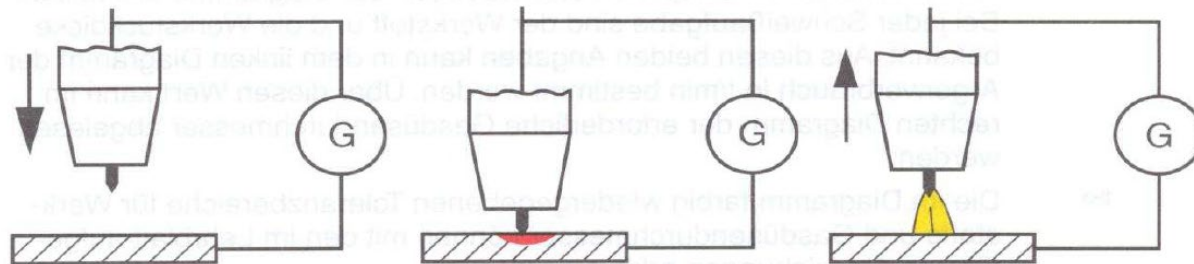


Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus - perusteet

Raapaisusytytyksessä

Kosketetaan elektrodilla työkappaletta ja nostetaan sen jälkeen poltin "normaaliin" kaaripituuteen



Kuvalähde: IW-koulutusaineisto

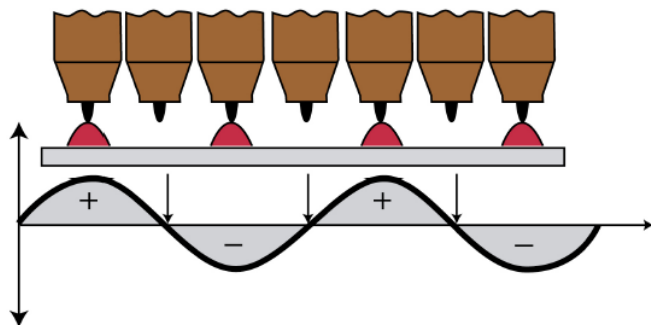


Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus - perusteet

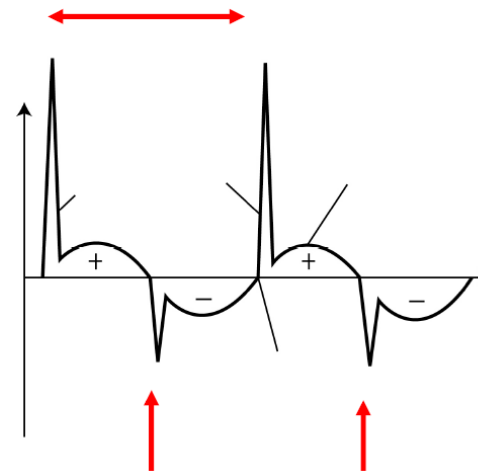
Valokaaren sytytys - vaihtovirta

Sytytys jokaisen puolijakson jälkeen



Perinteellinen siniaalto.

sytytyskipinä



Uudet kanttiaallot (suorakaideaallot)
eivät tarvitse kipinää
joka puolijakson jälkeen.

Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus

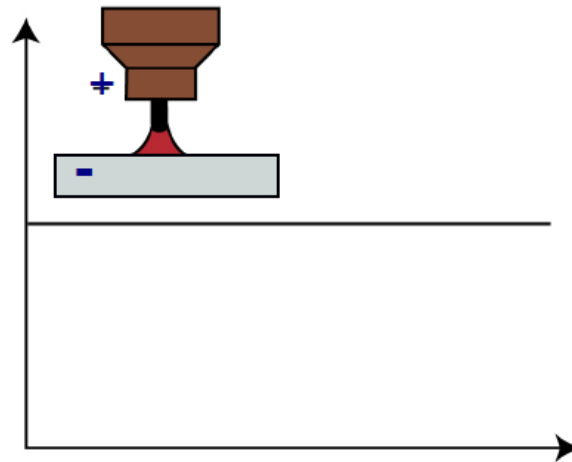
- **Virtalajit**
 - • **Tasavirta:** Direct current, DC
 - • **Tasavirta ja -napa:** DC- (= TIG-hitsaus, paitsi alumiini)
 - • Direct current and straight polarity "*tasavirta suora napaisuus*"
 - • **Tasavirta ja +napa:** DC+ (= hyvin harvoin)
 - • Direct current and reverse polarity "*tasavirta käänteinen napaisuus*"
 - • **Vaihtovirta:** Alternating current, AC
 - • **alumiinin** TIG-hitsaus
 - • käytännössä TIG-kone on usein "AC/DC-kone"



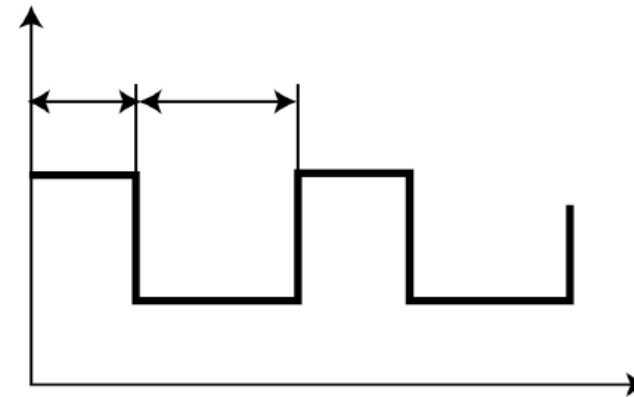
TIG-hitsaus

- Hitsausvirtalajit

Tasavirta (DC)
Vakiovirta



Pulssivirta
Tasavirralla (DC)



Tasavirralla hitsattaessa napaisuus lähes aina (-)-napa
(vain poikkeustapauksessa (+) -napa)

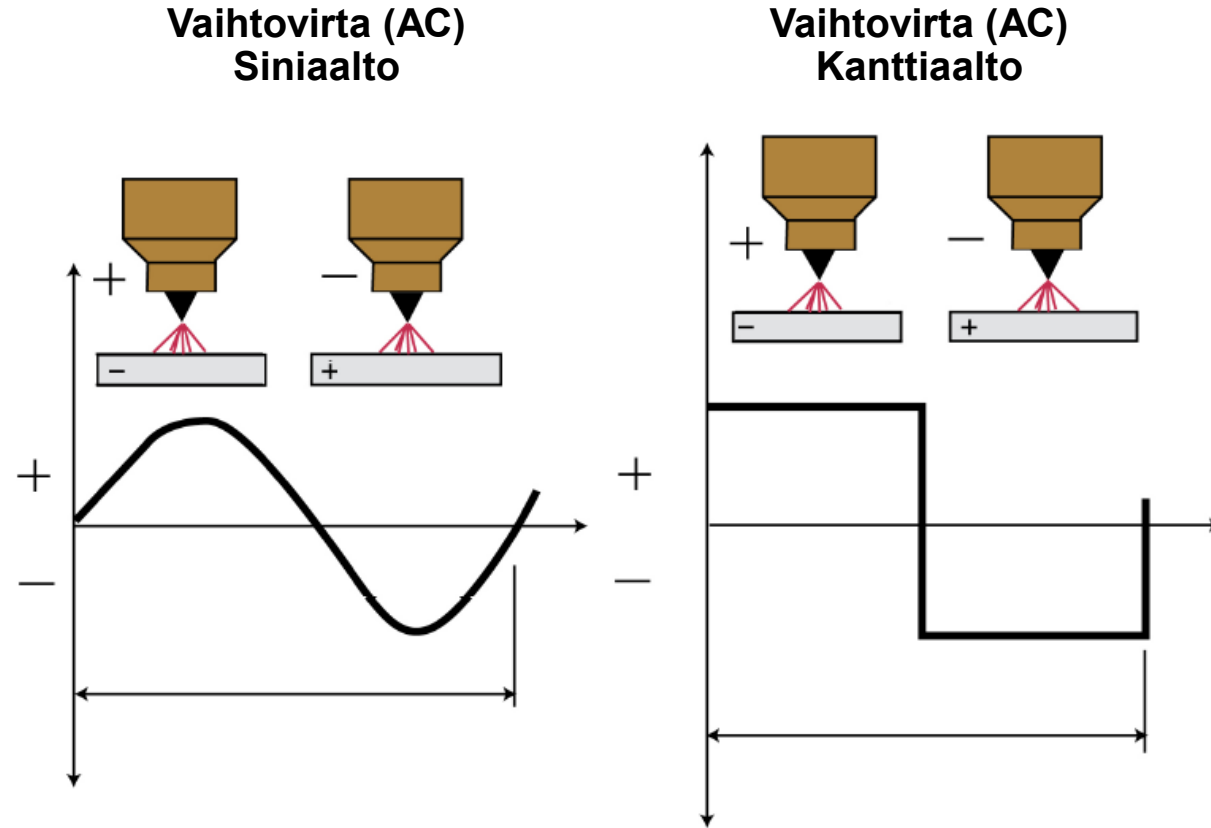
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus

- Hitsausvirtalajit



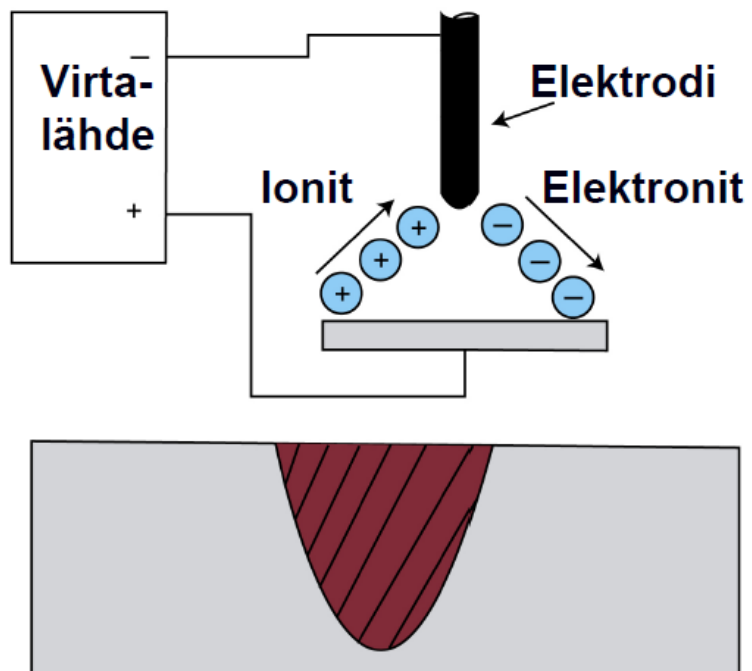
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

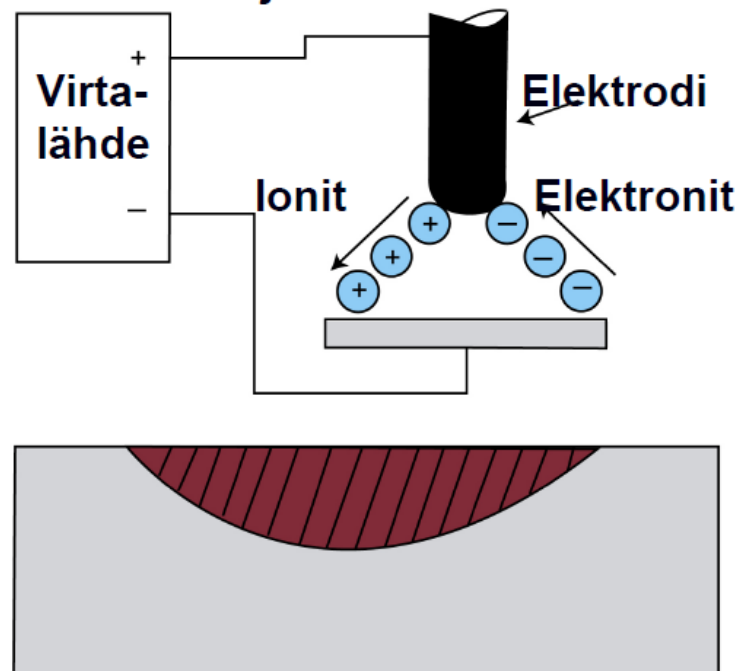
TIG-hitsaus – Napaisuuden vaikutu

Tasavirta (DC) elektrodi (-)-navassa



Kapea ja syvä tunkeuma

Tasavirta (DC) elektrodi (+)-navassa



Leveä ja matala tunkeuma



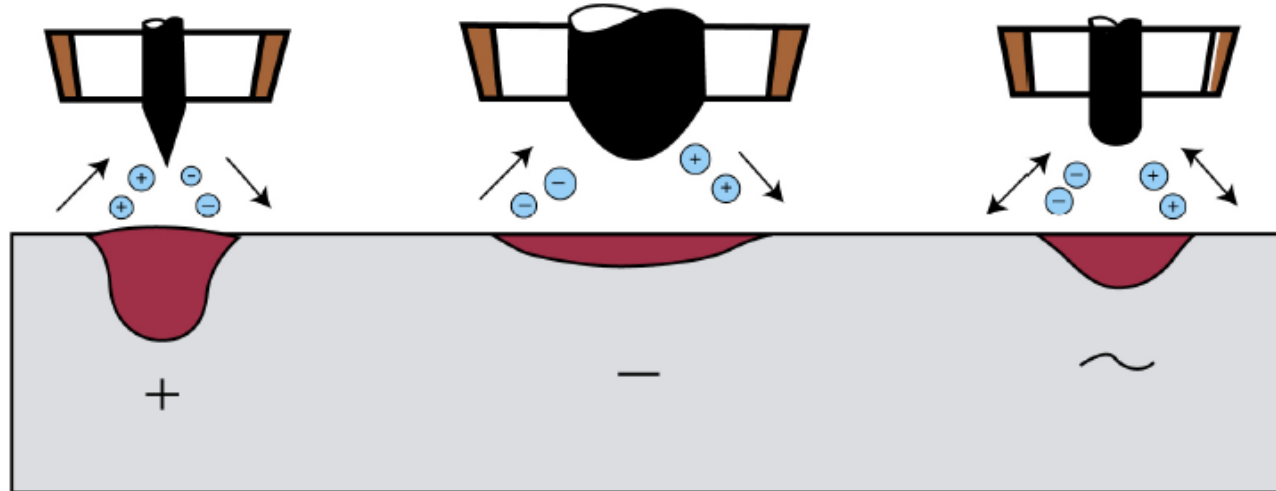
TIG-hitsaus - Hitsausvirran ja napaisuuden vaikutus

Virtalaji ja napaisuus
Hitsausvirta
Elektrodi
Lämpömäärä elektrodiin

Tasavirta (DC-)
125 A
1,5 mm
1/3-osa

Tasavirta (DC+)
125 A
6,4 mm
2/3-osa

Vaihtovirta (AC +/-)
125 A
2,4 mm
1/2-osa



Lämpömäärä työkappaleeseen
Valokaaren puhdistusvaikutus

2/3
Ei

1/3-osa
Kyllä

1/2-osa
Kyllä

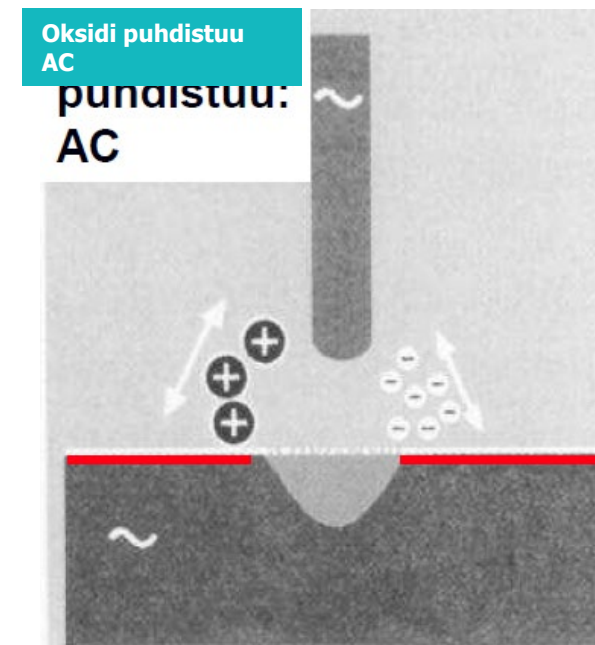
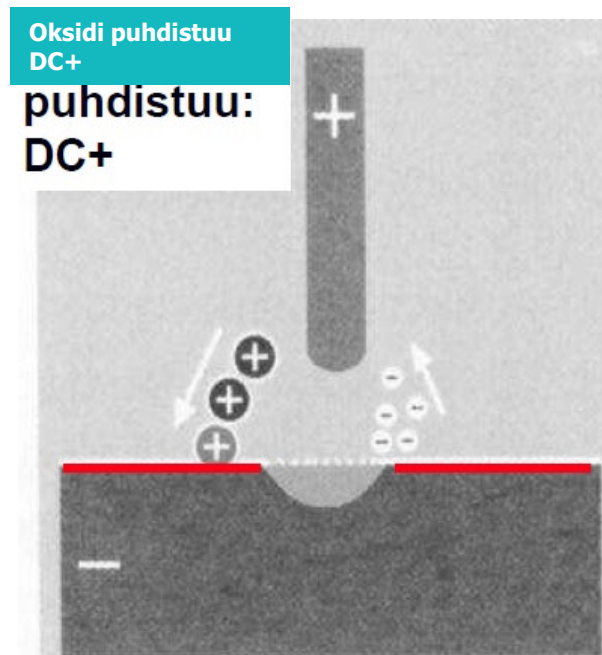
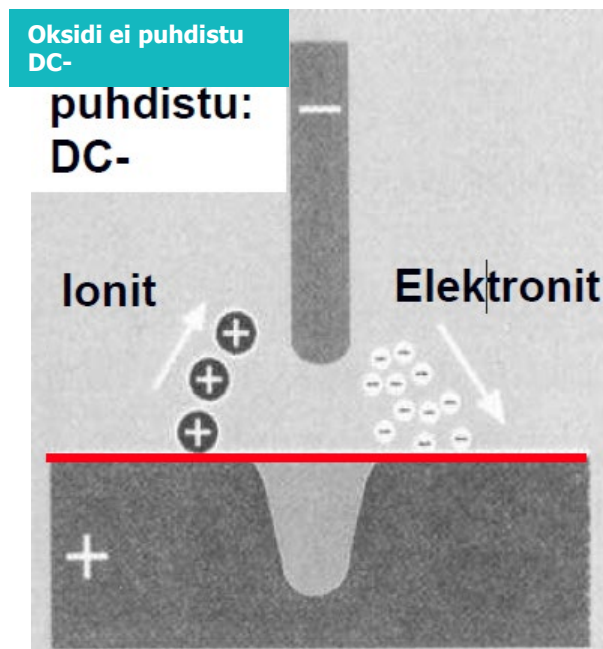


Euroopan unionin
osarahoittama

Kuvalähde: IW-koulutusaineisto

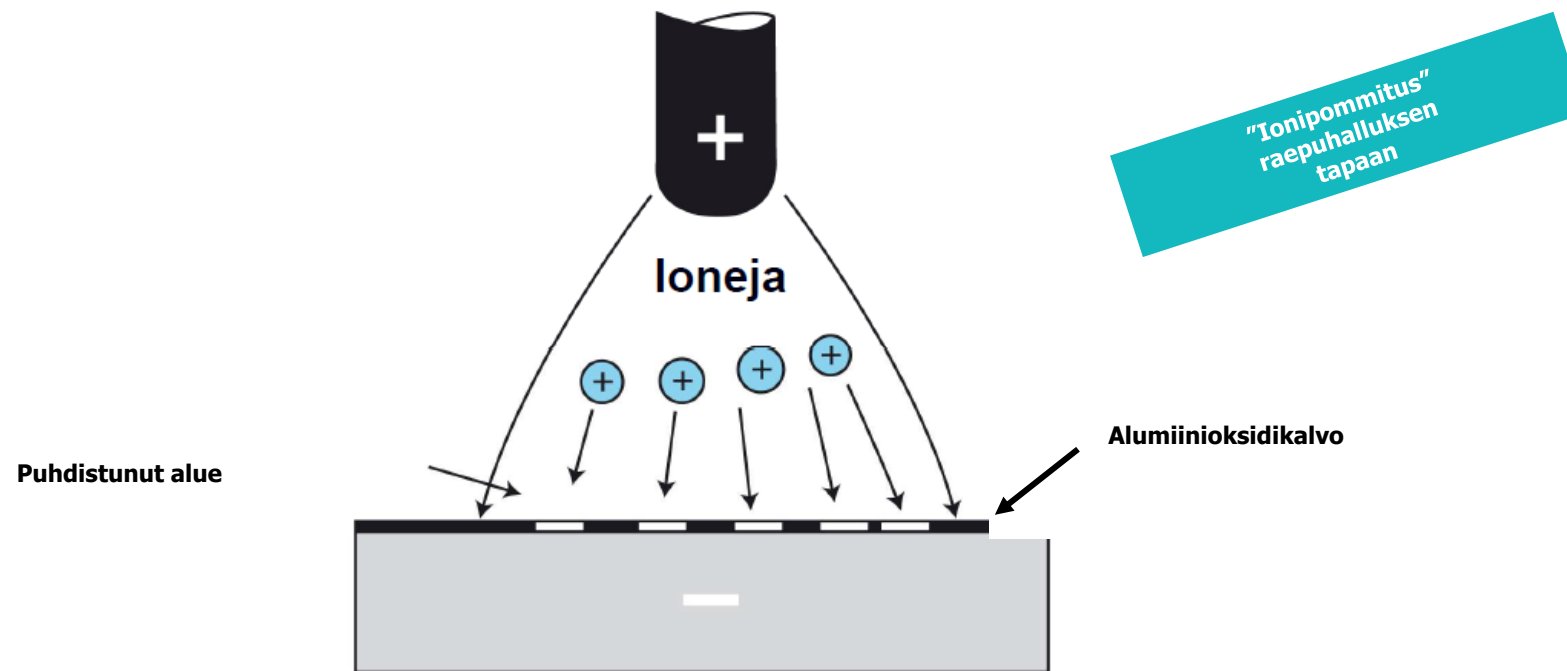
TIG-hitsaus – Valokaaren puhdistusvaikutus

Alumiinin pinnalla on vaikeasti sulava (yli 2000 °C) oksidikalvo, joka on poistettava, jotta hitsaus onnistuu. Puhdistusvaikutus esiintyy, kun elektrodi on +navassa (DC+ tai AC).



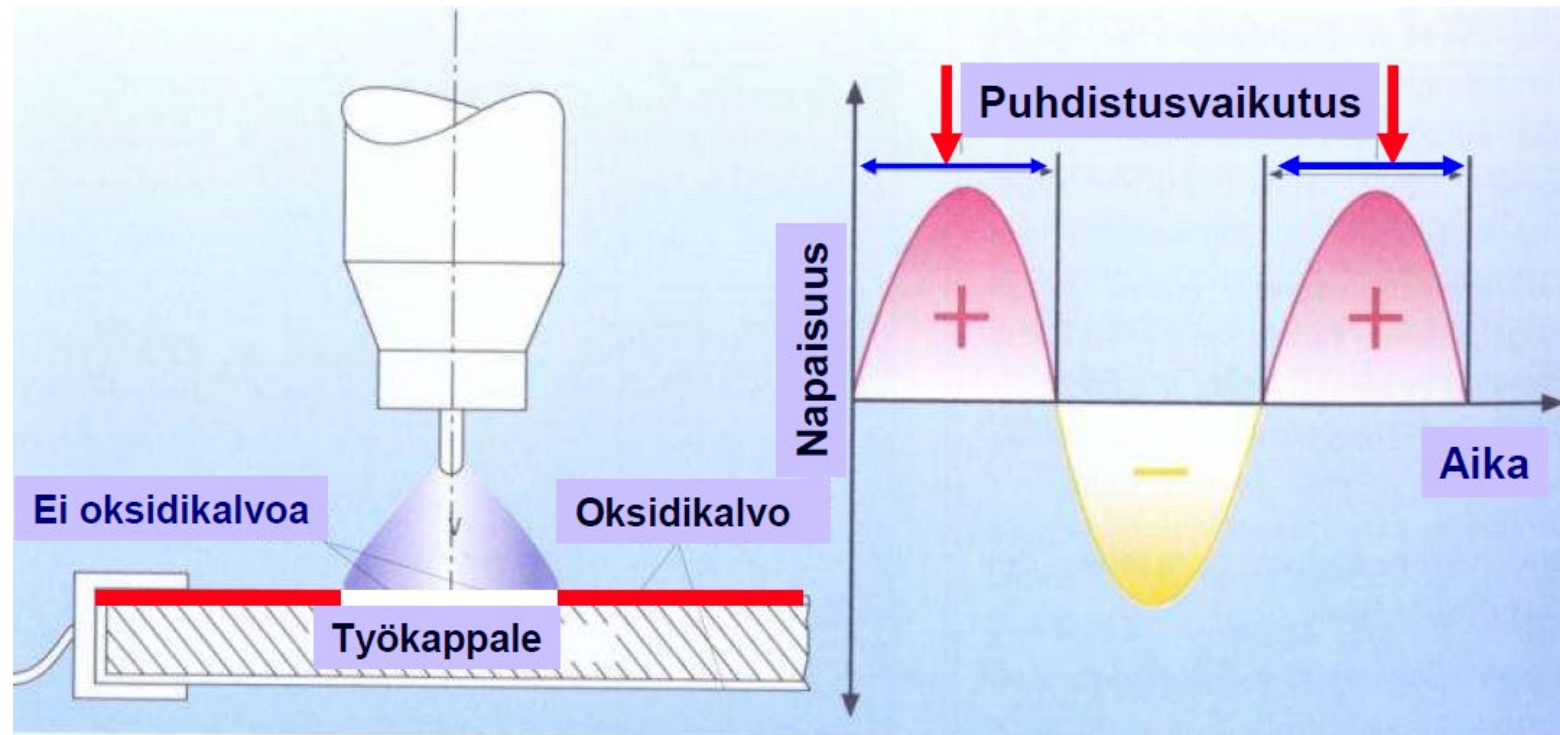
TIG-hitsaus – Valokaaren puhdistusvaikutus

Puhdistusvaikutus perustuu nykykäsityksen mukaan - ionien (+) törmäykseen alumiinin pinnalle



TIG-hitsaus – Valokaaren puhdistusvaikutus

Valokaaren puhdistusvaikutus vaihtovirralla



"Ionipommitus"
Alueella kun napaisuus on (+)

Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

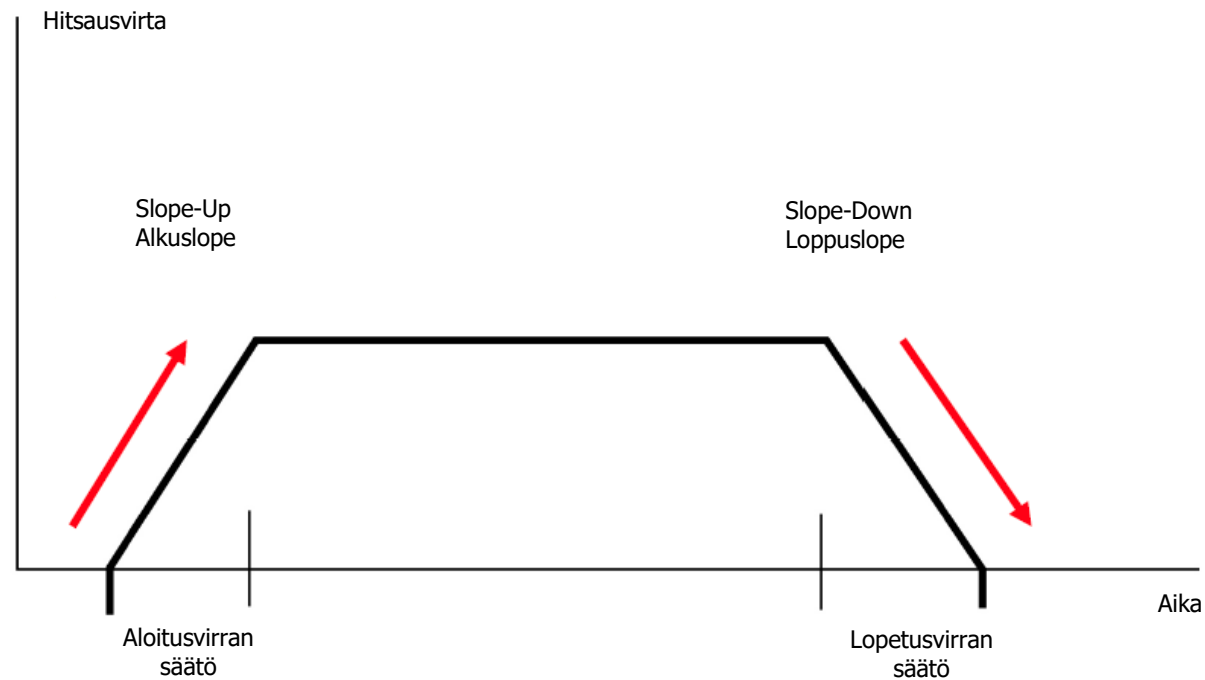
TIG-hitsaus – Virtalajien soveltuvuus eri materiaaleille

Hitsattava materiaali (huomioitu materiaalit, joita voidaan käyttää vetysäiliöiden ja vetyputkistojen valmistamiseen)	Tasavirta		Vaihtovirta
	Elektrodi (-)-navassa	Elektrodi (+)-navassa	
Alumiini ja alumiiniseokset $t \leq 2,5$ mm	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Paras
Alumiini ja alumiiniseokset $t > 2,5$ mm	Hyväksyttävä	Ei suositella	Paras
Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset	Paras	Ei suositella	Ei suositella
Ruostumattomat teräkset	Paras	Ei suositella	Ei suositella
Ei vetysäiliöiden ja putkistojen varsinaisissa rakenteissa			
Magnesium ja magnesiumseokset	Ei suositella	Hyväksyttävä	Paras
Kupari	Paras	Ei suositella	Ei suositella
Pronssi	Paras	Ei suositella	Hyväksyttävä
Alumiinipronssi	Hyväksyttävä	Ei suositella	Paras
Piipronssi	Paras	Ei suositella	Ei suositella
Nikkeli- ja nikkeliseokset	Paras	Ei suositella	Hyväksyttävä
Titaani- ja titaaniseokset	Paras	Ei suositella	Hyväksyttävä



TIG-hitsaus – Lämmöntuonnin säätely

Aloituss- ja lopetusvirran säätö



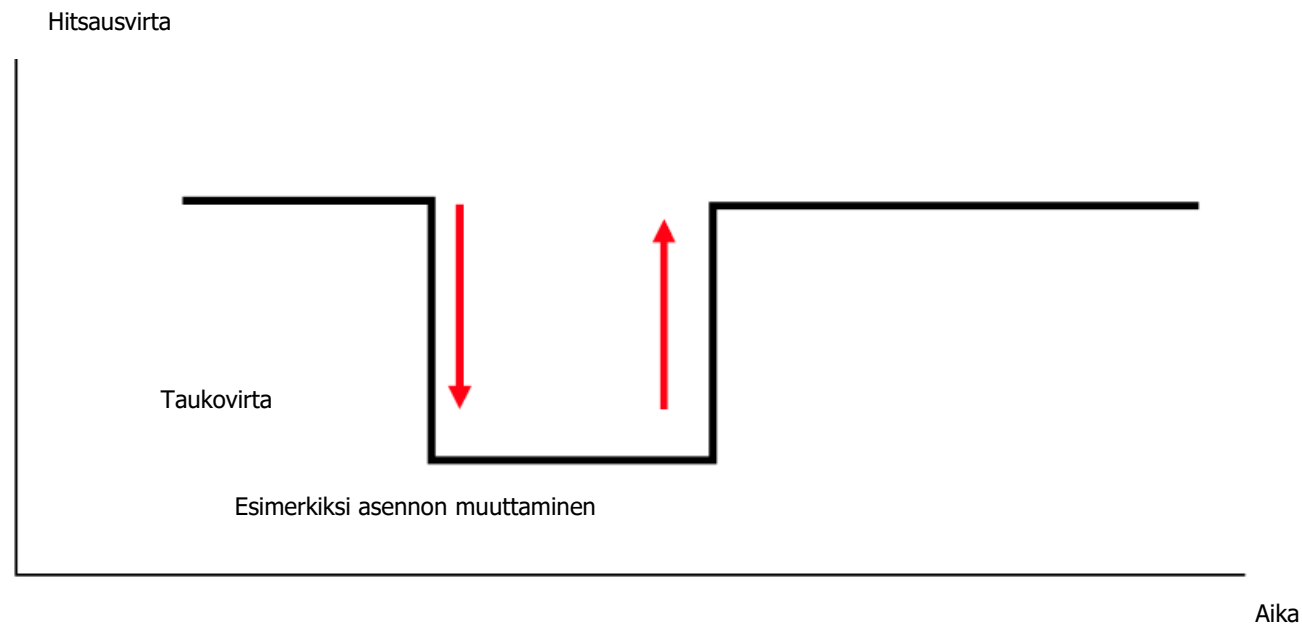
Kuvalähde: IW-koulutusaineisto



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Lämmöntuonnin säätely

Taukovirtatoiminto



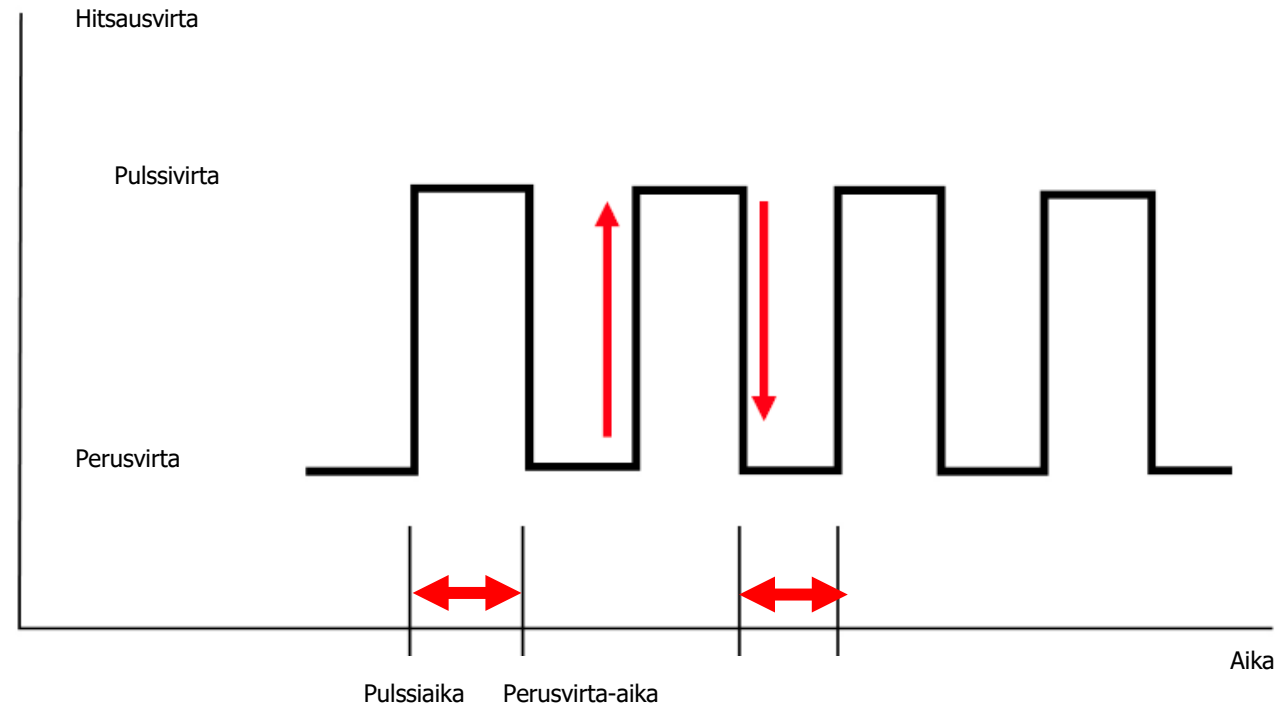
Kuvalähde: IW-koulutusaineistosta "referoitu"



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Lämmöntuonnin säätely

Pulssihitsaus

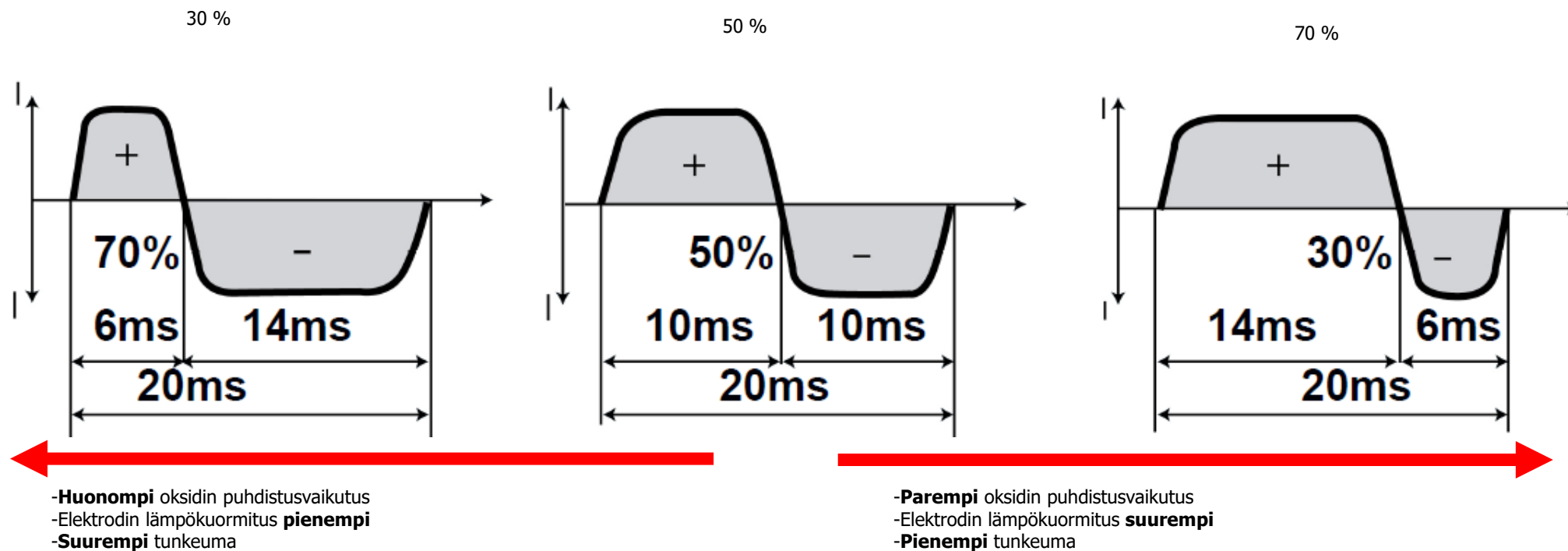


Kuvalähde: IW-koulutusaineistosta "referoitu"



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Vaihtovirran balanssisäätö

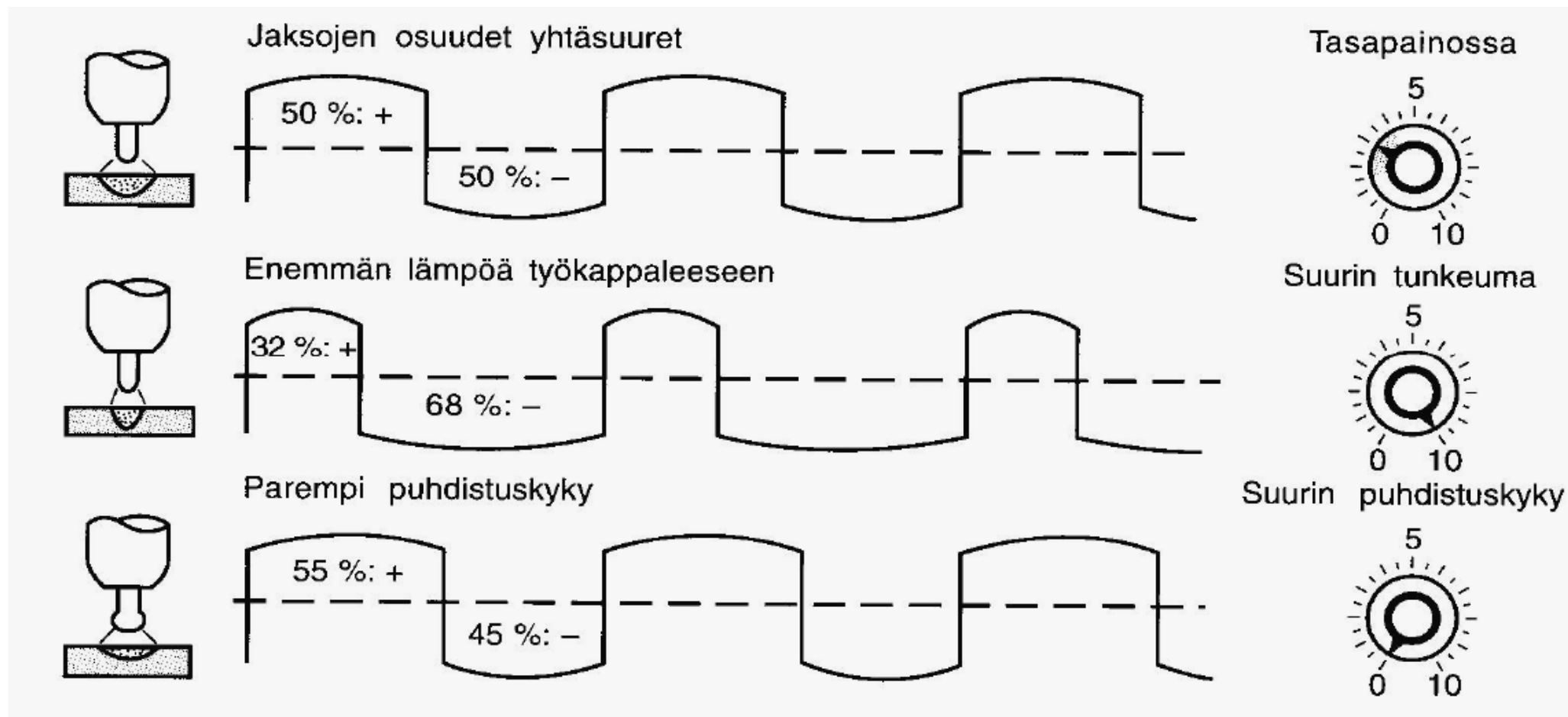


Kuvalähde: IW-koulutusaineistosta "referoitu"



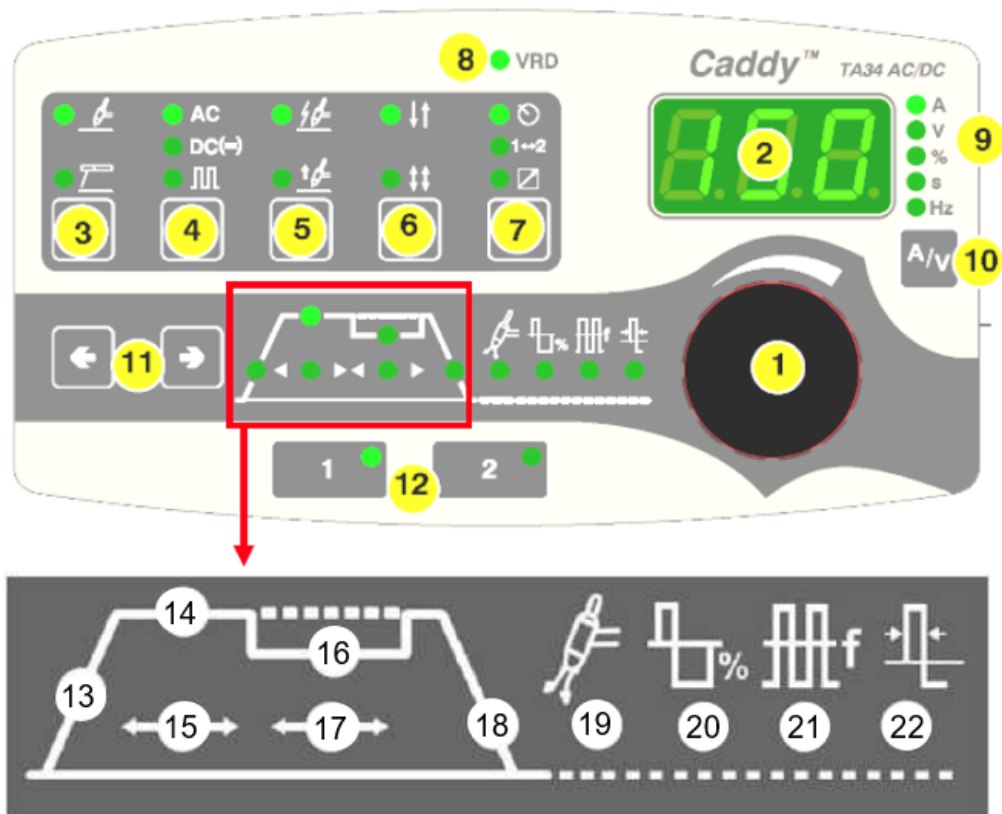
Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Vaihtovirran balanssisäätö



TIG-hitsaus – Hitsausvirtalähteen säätöpaneeli

Esimerkki hitsausvirtalähteen säätöpaneelistä



1. Valitun parametrin säätö
2. Näyttö
3. Prosessin valinta (tässä 141/111)
4. Virtalajin valinta
5. Sytytystavan valinta
6. Polttimen toimintovalinta 2T/4T
7. Säädetävän valinta
8. Alennettu puikkohitsauksen tyhjäkäyntijännite
9. Näytön yksikkö
10. Virta/jännitteenäytön valinta
11. Parametrien valinta/piilotoiminnot
12. Muistipaikat

13. Hitsausvirran nousuaika
14. Hitsausvirta
15. Pulssaika
16. Taukovirta
17. Taukovirta-aika
18. Hitsausvirran laskuaika
19. Kaasun jälkiirtaus
20. AC-balanssi
21. AC-taajuus
22. Elektrodiin esilämmitys (Positiivisen aloitusjakson säätö)

Huom! Merkki- ja mallikohtaisesti säätöpaneelissa poikkeavuuksia, mutta symbolit tai irtalähteen manuaali tarkentaa asiaa



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Hitsauspoltin (hitsain, hitsauspistooli)

- Tässä aineistossa **käytetään nimitystä hitsauspoltin**
 - Hitsauspoltin on **volframielektrodin pidin**
 - Hitsauspolttimessa ”kohtaavat” hitsausvirta, suojakaasu ja sytytysvirta
 - Hitsauspolttimia on useita kokoja ja eri malleja (< 100 A -> n. 500 A saakka)
 - Hitsauspoltin on varustettu toiminnan ohjausta varten käyttökytkimellä
 - Hitsauspoltin voi olla kaasu- tai vesijäähdytteinen
 - Kaasujäähdytteiset n. < 220...250 A saakka
 - Vesijäähdytteiset n. > 220...250 A ylöspäin
 - Hitsauspolttimen virrankestävyys
 - 35 % ED ja DC- : 130 A AC: 100 A
 - 60 % ED ja DC- : 90 A AC: 70 A



TIG-hitsaus – Hitsauspoltin



DC- 40 %:
Jäähdytys:

max. 300 A
vesi

220 A
kaasu

350 A
vesi

250 A
vesi



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Hitsauspoltin

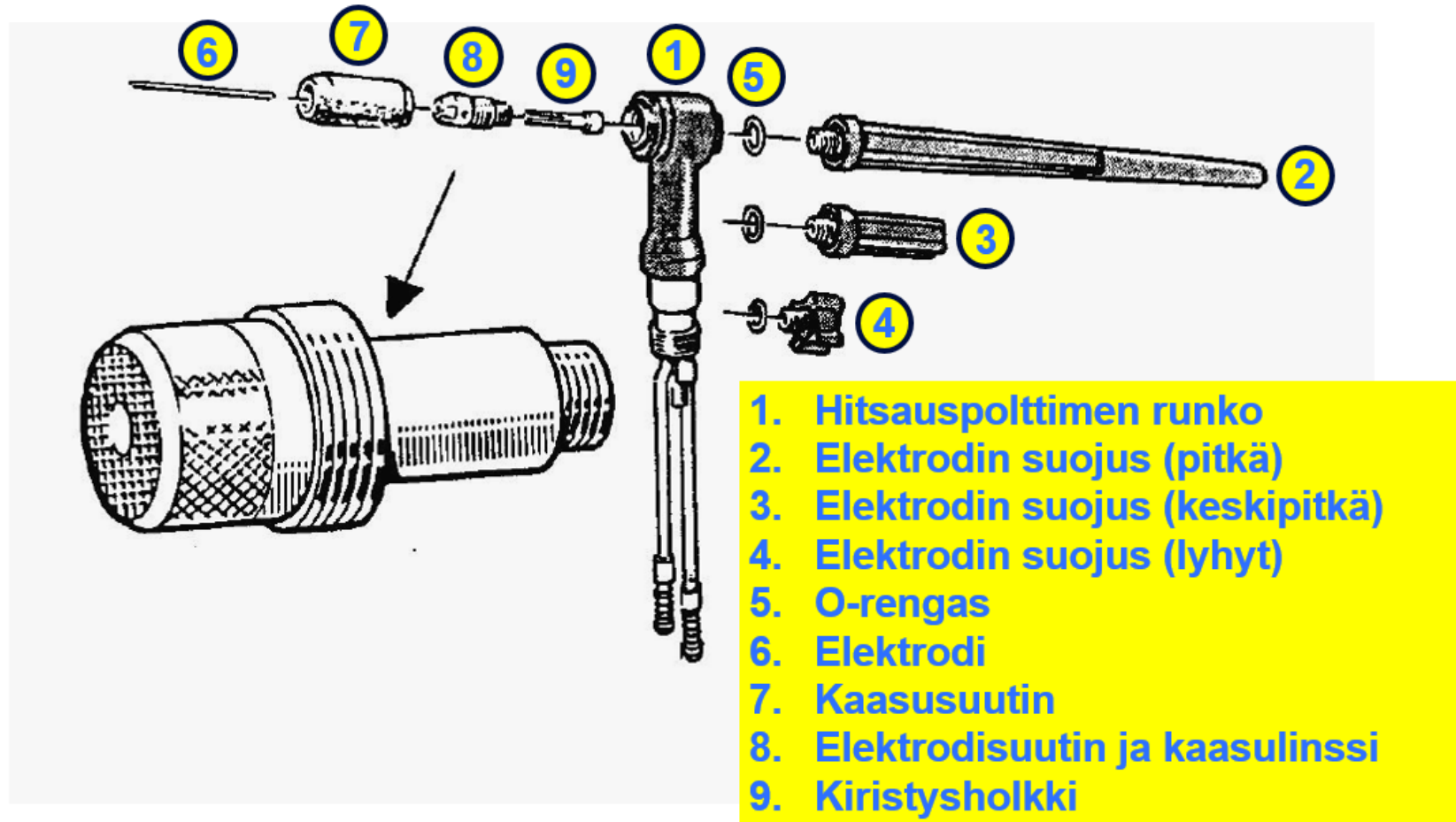


TIG-hitsaus mielletään usein käsinhitsausprosessiksi, mutta prosessi voidaan varustaa langansyöttölaitteella.



Euroopan unionin
osarahoittama

TIG-hitsaus – Hitsauspoltin



TIG-hitsaus – Hitsauspoltin

- Hitsauspolttimen kaasulinssi



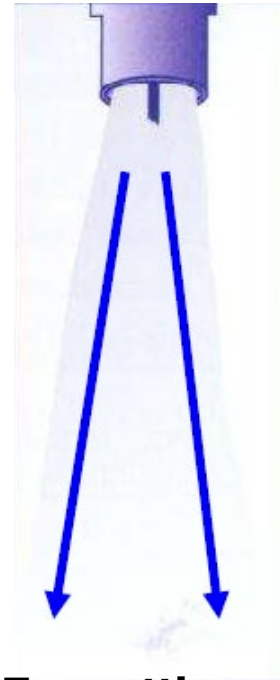
TIG-hitsaus – Hitsauspoltin

- Hitsauspolttimen kaasulinssi – tarkoitus tai merkitys

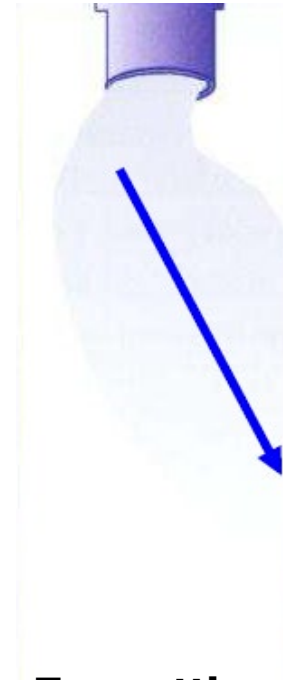
Hitsauspolttimen kaasulinssi parantaa kaasunvirtausta

Kaasulinssi helpottaa ahtaiden railojen hitsausta

Kaasulinssi pienentää kaasunvirtaustarvetta



**Teoreettinen
suojakaasun virtaus
kaasulinssin kanssa**



**Teoreettinen
suojakaasun virtaus
ilman kaasulinssiä**



TIG-hitsaus – Prosessin edut ja haitat

TIG-hitsausprosessin etuja

- Hitsaustapahtuma hyvin nähtävissä
- Hyvä hitsaussulan ja tunkeuman hallinta
- Lämmöntuonti hyvin hallittavissa (säädetävissä)
- Hitsaus mahdollista myös ilman lisäainetta
- Ohuiden aineiden hitsaus
- Hyvin ”pienimuotoinen” hitsaus
- Metallurgisesti puhdas hitsiaine
- Kuonaton prosessi
- Hitsin juuren puoli puhdas kun käytetään juurikaasua
- Hitsaushuurujen määrä pieni
- Hitsin ulkonäkö hyvä ja hitsi on roiskeeton
- Pieni jälkikäsittelytarve
- Hitsausparametrien säätö helppoa
- Mahdollista hitsata myös hyvin pienillä parametreilla
- Mahdollistaa lähes kaikkien metallien hitsauksen

TIG-hitsausprosessin haittoja

- Hidas paksujen materiaalien ja isojen railojen hitsauksessa
- Arkuus vedolle
- Arkuus epäpuhtauksille
- Juuren suojaustarve



TIG-hitsaus – Käyttökelpoisuus

TIG-hitsausprosessin käyttökelpoisuus

- **Materiaalit: kaikki hitsattavat metallit**
- **Hitsausasennot: kaikki**
- **Aineenpaksuudet: kaikki (usein kuitenkin alle n. 10 mm)**
- **Olosuhteet: sisätilat**
- **Mekanisoitavuus: helppo mm. orbitaali**



TIG-hitsaus – Käyttökohteita

TIG-hitsausprosessin käyttökohteita

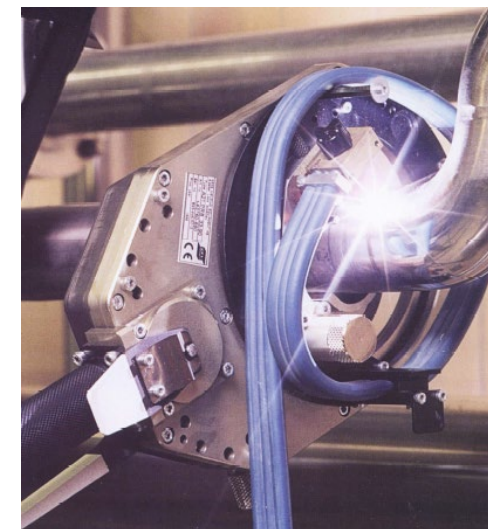
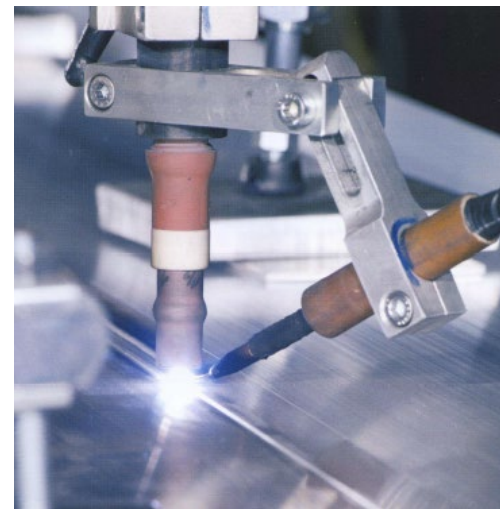
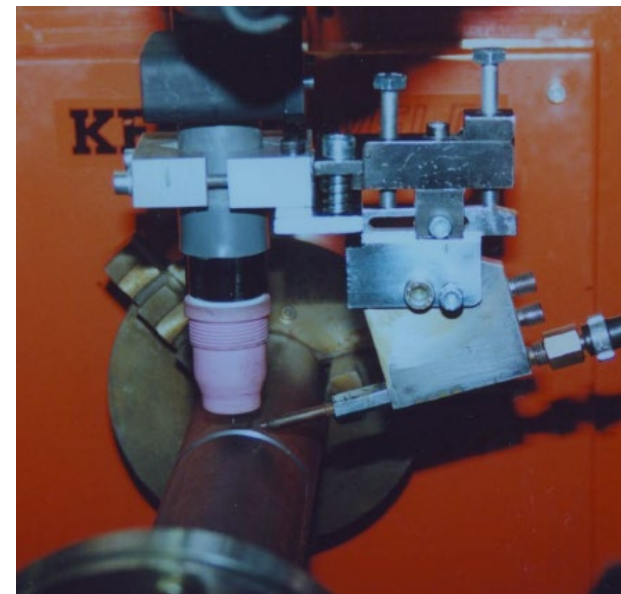
- Vaativien putkien hitsaus, esim. paine- ja prosessiputket
- Putkien pohjapalkojen hitsaus, täyttö esim. puikolla
- Ohuet aineenpaksuudet, n. 0,1 mm ylöspäin
- Ohuiden ruostumattomien terästen hitsaus
- Alumiinin hitsaus
- Erikoismetallien hitsaus, esim. titaani
- Lentokone- ja avaruusteollisuus
- Pienimuotoinen hitsaus
- Pienimuotoinen korjaushitsaus



TIG-hitsaus – Prosessisovelluksia

TIG-hitsausprosessin variaatioita

- Pulssi-TIG-hitsaus
- Orbitaalihitsaus (putkien mekanisoitu hitsaus)
- Kapearailo-TIG-hitsaus
- Kuumalanka-TIG-hitsaus
- Kylmälanka-TIG-hitsaus
- A-TIG-hitsaus
- Monielektrodi-TIG-hitsaus



TIG-hitsaus – Hitsausaineet

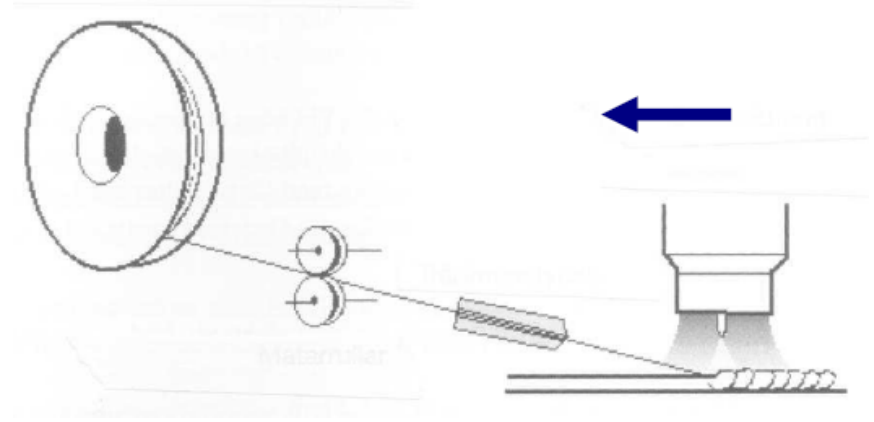
TIG-hitsausprosessin hitsauslisäaineet

- TIG-hitsaus käyttäen lisäainetta:
- Käsinhitsaus: Määräpituinen lanka ”hitsaussauva”
- Käytetään myös nimityksiä: Hitsauslanka, lisäainelanka ja TIG-lanka
- Käsinhitsauksessa myös mahdollista koneellinen langansyöttö lankakelalta, käyttäen erikoisrakenteista hitsauspoltinta, johon lanka syötetään



Koneellinen hitsaus: Jatkuva lanka (lankakela)

- Koneellinen langansyöttö
- Langat ovat samoja kuin MIG/MAG-langat



TIG-hitsaus – Lisäainelangat



**Käsinhitsauksessa hitsauslankojen halkaisijat ovat 1,6 mm, 2,0 mm, 2,4 mm ja 3,2 mm
Yleisin pituus on 1000 mm**

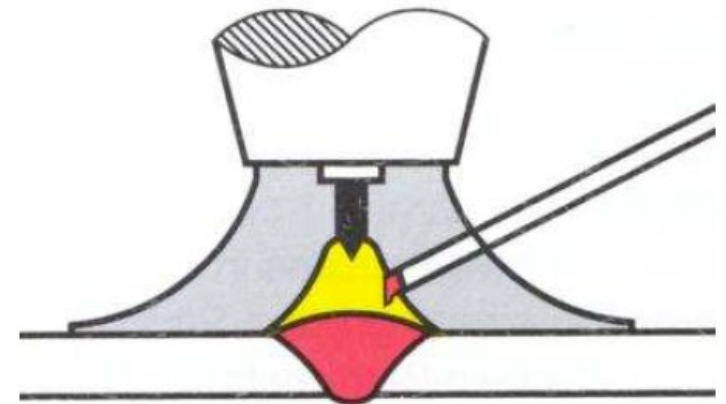
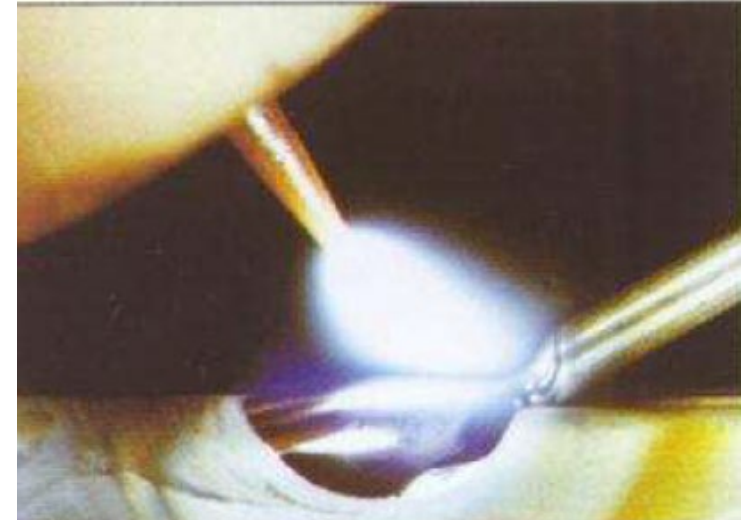


**Euroopan unionin
osarahoittama**

TIG-hitsaus – Hitsausaineet

TIG-hitsausprosessin suojakaasut

- TIG-hitsausprosessissa suojakaasun tehtävä on:
 1. Suojata kuuma elektrodi hapettumiselta
 2. Suojata hitsisula atmosfääriltä, eli ilmassa olevan hapen ja typen haitallisilta vaikutuksilta
- Suojakaasujen fysikaalisilla ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa myös moniin ominaisuuksiin:
 1. Valokaaren lämpöteho
 2. Valokaaren syttyvyys
 3. Tunkeuma
 4. Hitsausnopeus
 5. Hitsin pinnan puhtaus
 6. Hitsiaineen mikrorakenne



Puikkohitsaus (111)

Metallikaarihitsaus sulavalla elektrodilla ja ilman suojakaasua.

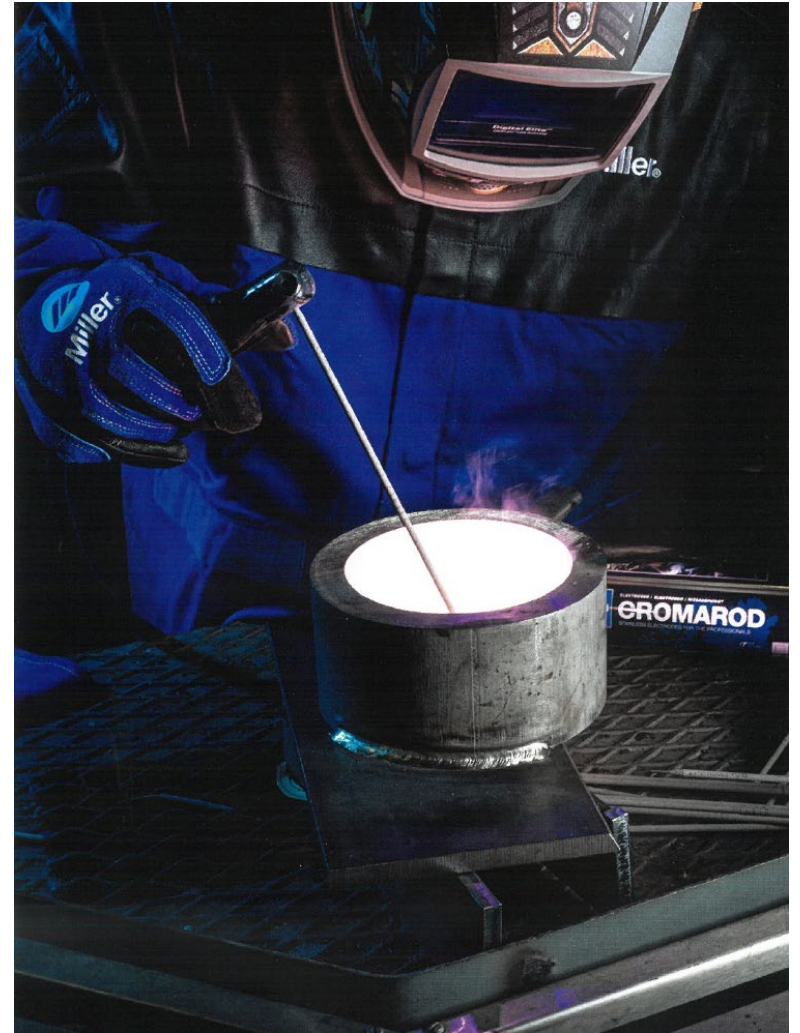
Nimityksiä muilla kielillä:

Ruotsi: Metallbågsvetsning med belagd elektrod

Engl. (Eurooppa/EN): Manual metal arc Welding (MMA)

Engl. (USA/AWS): Shielded metal arc Welding (SMAW)

Saksa: Lichtbogenhandschweissen

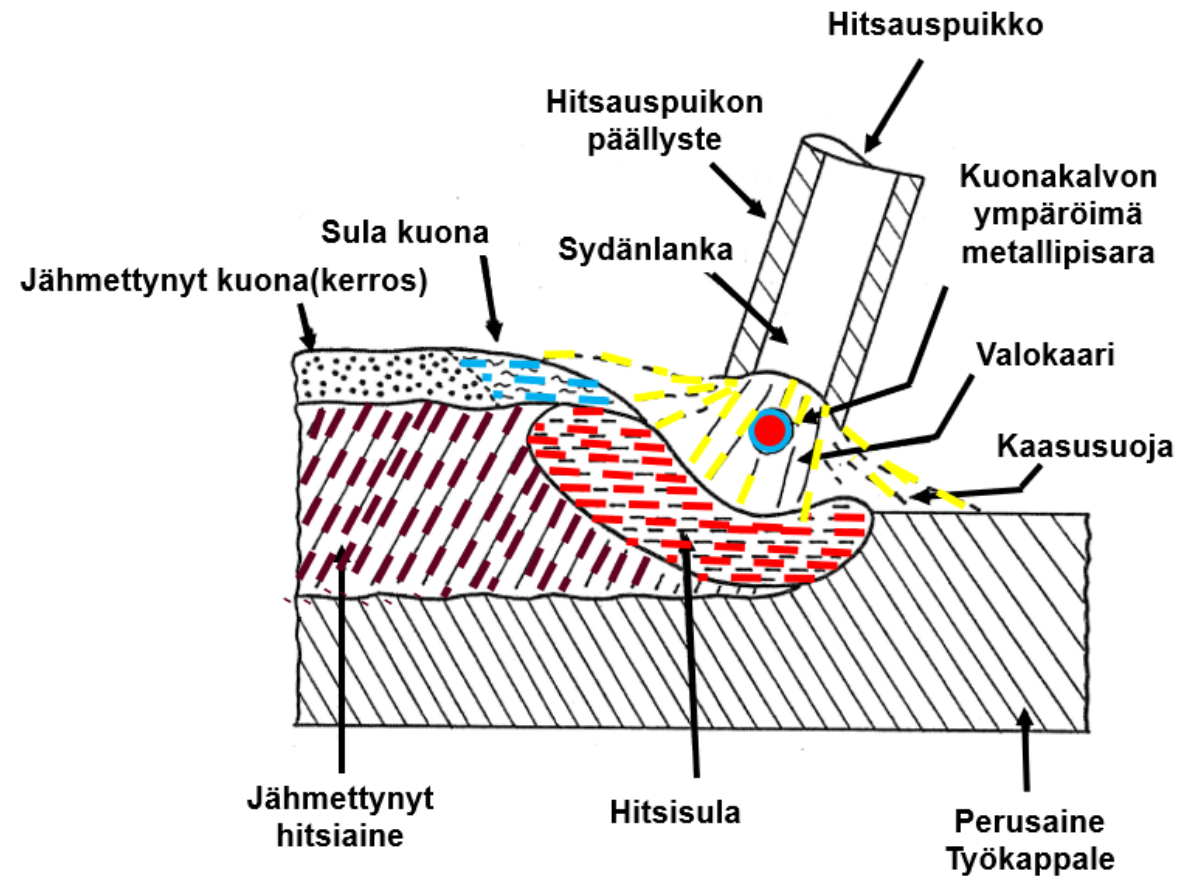


Euroopan unionin
osarahoittama

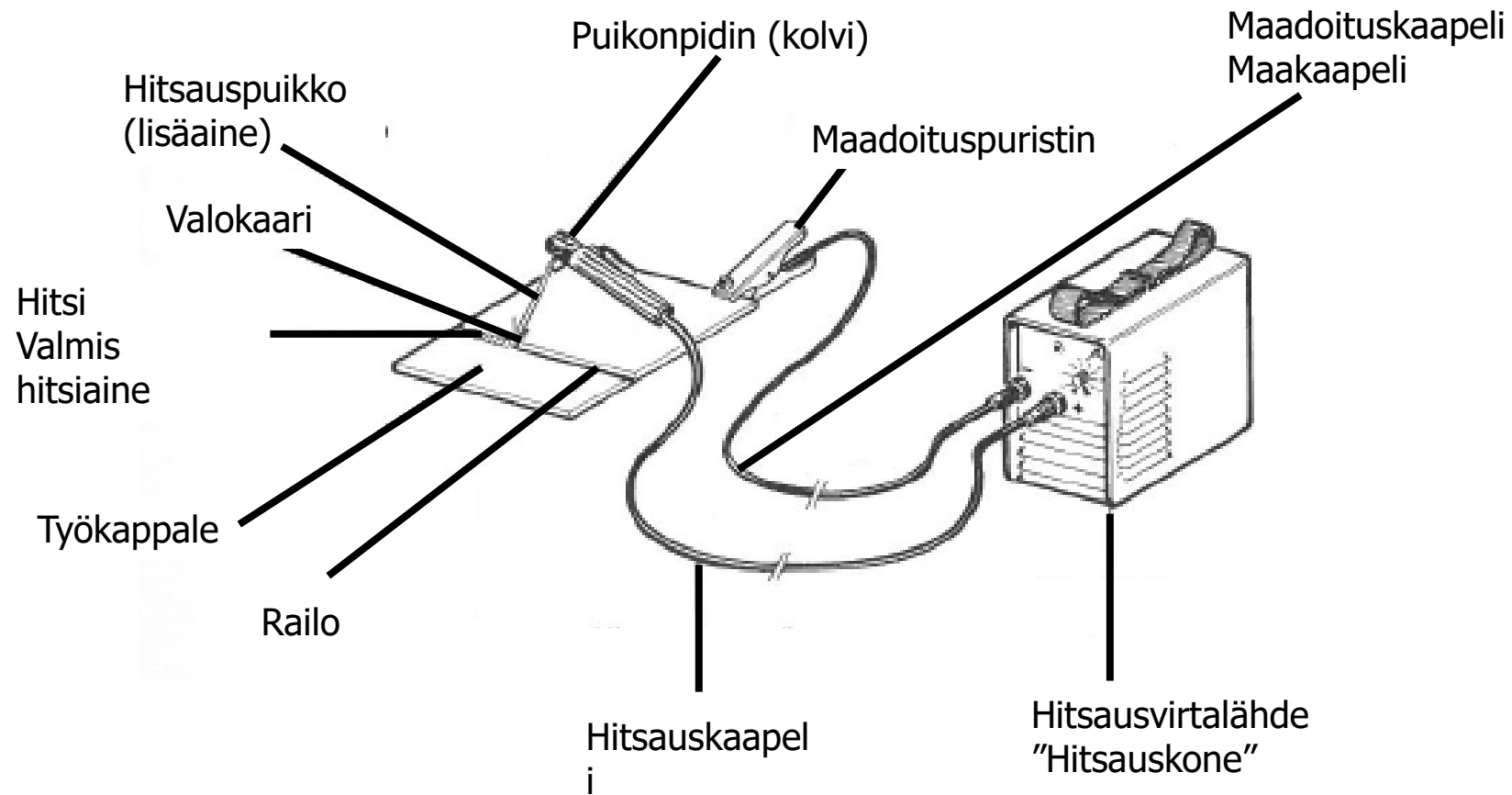
Puikkohitsaus

Puikkohitsauksessa valokaari palaa hitsiaineeksi sulavan hitsauspuikon ja työkappaleen välissä. Sydänlanka sulaa ja muodostaa pääosan hitsiaineesta. Metalli siirtyy sulan kuonan ympäröimänä hitsisulaan. Puikon päällysteen sulaessa, siitä muodostuu myös hitsisulaa suojaavaa kaasua. Päällyste on keraamista materiaalia, joka sulaa vähän hitaammin kuin sydänainelanka, muodostaen puikon päähän kraatterin. Päällysteeseen on lisätty myös metallijauhoa, seostamaan hitsausainetta ja parantamaan tuottavuutta.

Valokaaren lämpötila on noin 5000-6000 °C



Puikkohitsaus



Kuva: Puikkohitsauksen periaatekuva

Kuvalähde (muutettu ja referoitu: Lepola&Makkonen, Hitsaus ja teräsrakenteet 1998)



Euroopan unionin
osarahoittama

Puikkohitsaus – puikon päällysteet

- Hitsauspuikoilla on monta päällystetyyppiä, joita ovat (lyhenne):
 - Hapan päällyste (A)
 - Emäspäällyste tai –täyte (B)
 - Selluloosapäällyste (C)
 - Rutiilipäällyste tai täyte -hitaasti jähmettyvä kuona (R)
 - Hapan rutiilipäällyste (RA)
 - Emäs-rutiilipäällyste (RB)
 - Selluloosa-rutiilipäällyste (RC)
 - Paksupäällysteinen rutiilipäällyste (RR)
- Yleisimmät puikonpäällysteet ovat emäspäällysteinen ja rutiilipäällysteinen puikko. **Emäspäällysteisellä** puikoilla hitsattaessa lisäaine siirtyy hitsiaineeseen **suurina pisaroina** ja **rutiilipuikoilla** hitsattaessa **pieninä pisaroina**.



Puikkohitsaus

- Hitsauspuikot voidaan ryhmitellä monin eri tavoin:
- *Hitsausvirran mukaan vaihtovirta- tai tasavirtapuikko
 - *Käytön mukaan, joko liitoshitsaus tai päällehitsauspuikko
 - *Päällysteen paksuuden mukaan joko ohut- tai paksupäällysteinen puikko
 - *Päällystetyypin mukaan, joista yleisimmät emäspäällyste, rutiilipäällyste ja hapanpäällyste.



Puikkohitsaus - Päälystetyypeistä

Emäspäälyste (B)

- *Päälyste kalkkia ja fluorisälpää
- *Päälysteestä emäksinen kuona
- *Lisäaine siirtyy suurina pisaroina
- *Lisäaineen sekoittuminen perusaineeseen vähäistä
- *Kuumahalkeamien vaara pieni
- *Käytetään vaativien rakenteiden hitsauksessa
- *Imee herkästi kosteutta, jonka seurauksena huokosia ja vetyhaurautta
- *Kuivattava ennen käyttöä

Rutiilipäälyste (R)

- *Päälysteessä luonnon rutiilia tai titaanioksidia ja sen yhdisteitä
- *Ohutpäälysteiset kylmästi hitsaavia
- *Ohutpäälysteiset sopivat hyvin asentohitsaukseen
- *Paksupäälysteiset kuumasti hitsaavia ja muodostuu paljon herkkäliikkeistä kuonaa – vain jalkoasentohitsaukseen
- *Soveltuvat ohuiden rakenteiden liitoshitsaukseen
- *Sekä vaihto- että tasavirralla
- *Soveltuvat myös ylhäältä alaspäin hitsaukseen

Hapan päälyste (A)

- *Päälyste kvartsia
- *Päälyste muodostaa sulaessaan hapanta kuonaa
- *Kuumasti hitsaava
- *Lisäaine siirtyy pieninä pisaroina (suihkumaisena)
- *Voidaan hitsata suurella teholla
- *Suuri sulamisnopeus ja sileä hitsin pinta
- *Alaspäin hitsaukseen (PA ja PB)
- *Suuri tunkeuma
- *Kuumahalkeamavaara
- *Sekä vaihto- että tasavirralla
- *Käyttö vähäistä



Puikkohitsaus - Hitsauspuikot

Tyypillisiä hitsauspuikkoja – mitat (Halkaisija * pituus)

2,0 mm * 300 mm (vasemmalla)

2,5 mm * 350 mm (keskellä)

3,2 mm * 450 mm (oikealla)

Hitsauspuikko on metallilanka, jonka nimellismitat (koko) määräytyy sydänlangan halkaisijan ja pituuden mukaan.

Sydänlangan kemiallinen koostumus on yleensä lähellä sitä, millaista hitsiainetta tavoitellaan. Päälysteen tehtävä on parantaa hitsausominaisuuksia, mutta päälysteeseen lisätyillä seosaineilla voidaan lisätä myös valmiin hitsiaineen seostusta ja puikon riittoisuutta.



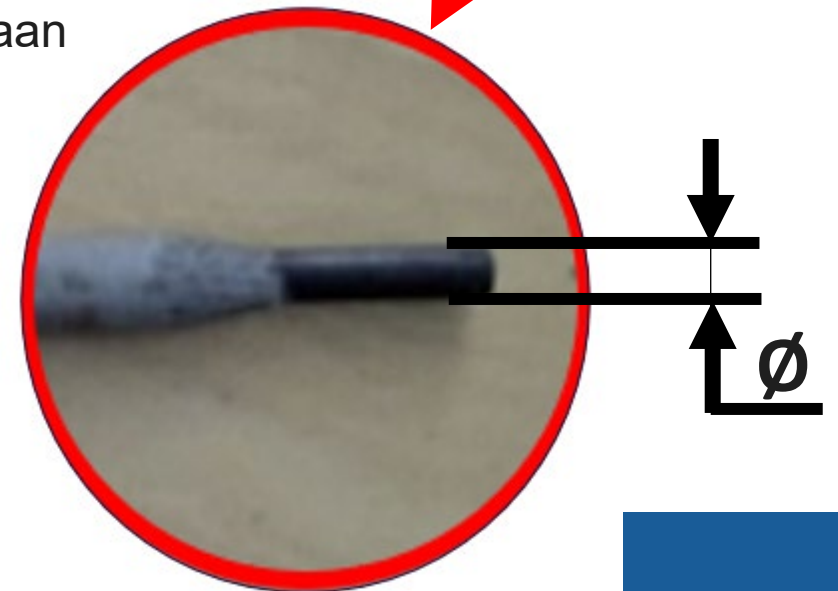
Kuvalähde: Elga lisääinekäsikirja

Puikkohitsaus



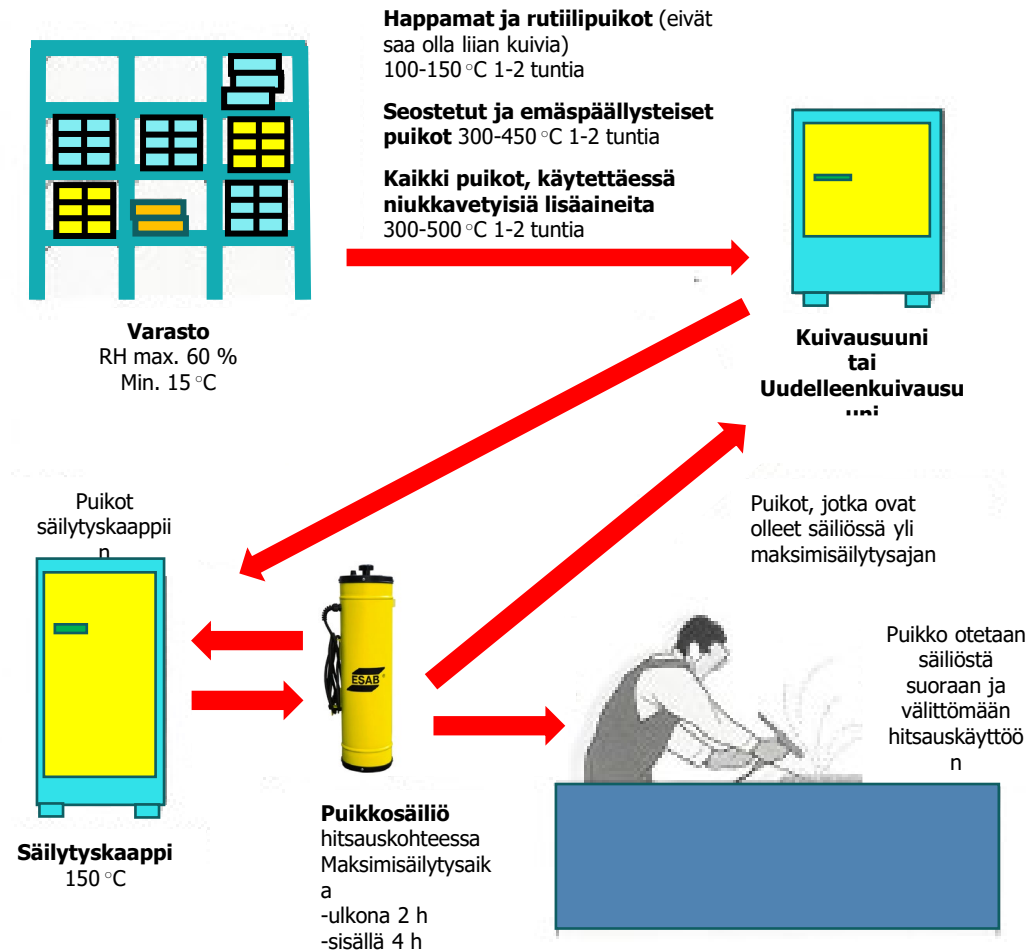
Ø Puikon halkaisija ilmoitetaan sydänainelangan halkaisijan mukaan

L Puikon pituus ilmoitetaan sydänainelangan kokonaispituutena



Euroopan unionin
osarahoittama

Puikkohitsaus – lisäaineiden käsittely



Puikkohitsausprosessi soveltuu käytettäväksi erilaisissa olosuhteissa, kuten esimerkiksi vetyputkistotyömaalla maasto-olosuhteissa.

Tuottaakseen hyvää hitsiä, poikkeuksellisissa olosuhteissa on kuitenkin noudatettava hitsauspuikkojen varastointi- ja säilytysohjeita. Aina se ei ole mahdollista ja silloin on käytettävä ns. vakuumiin pakattuja hitsauspuikkoja ja pelkkää puikkosäiliötä.



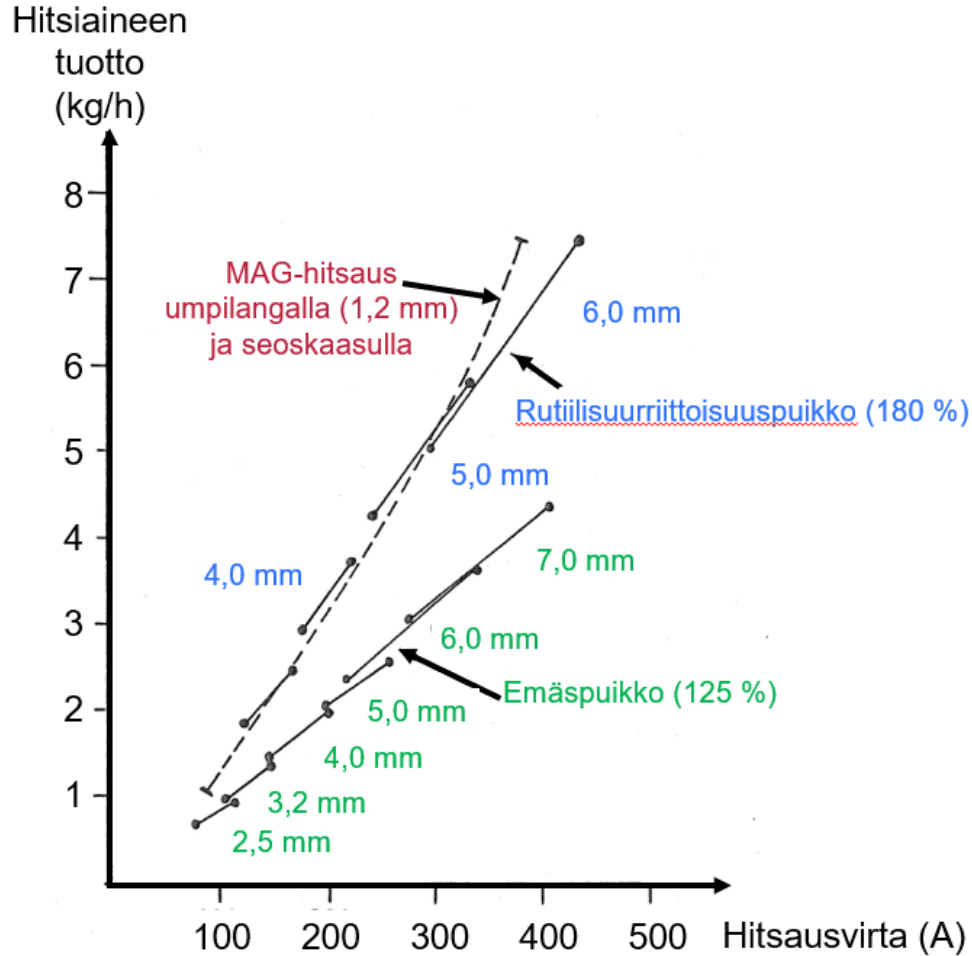
Hitsauspuikkojen käsittely varastosta hitsauskohteeseen.

**Euroopan unionin
osarahoittama**

Kuvalähde (muutettu ja referoitu: Lepola&Makkonen, Hitsaus ja teräsrakenteet 1998 ja Esab Oy sekä Elga Oy)



Puikkohitsaus – hitsiaineen tuotto



Kuvassa hitsiaineen tuoton vertailua rutiilisuurriittoisuuspuikoilla, emäspäällysteisillä puikoilla sekä **MAG-umpilankahitsauksella**.

Suurriittoisuuspuikoilla päästään likimain samaan hitsiaineentuottoon kuin **MAG-umpilankahitsauksessa**, mutta vetyputkiä hitsattaessa rutiilisuurriittoisuuspuikot eivät kuitenkaan tule kysymykseen.



Euroopan unionin
osarahoittama

Puikkohitsaus

• Puikkohitsauksen edut:

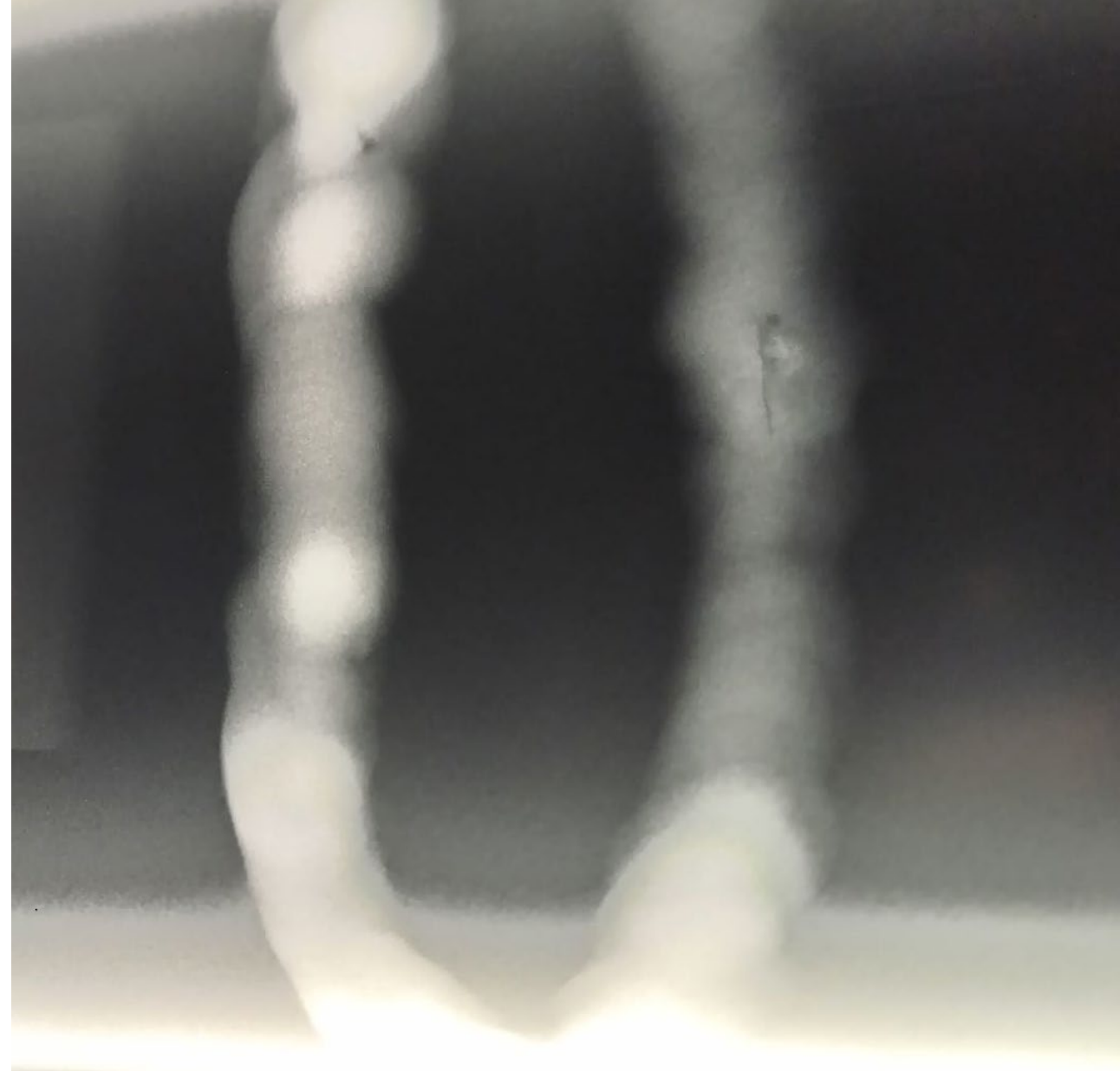
- Monipuolinen ja joustava
 - Toimivuus kaikissa olosuhteissa
 - Laaja lisäainevalikoima
 - Yksinkertaiset virtalähteet, jotka helppo siirtää
 - Helppo virtalähteen säädettävyys
 - Pitkä ulottuvuus
 - Hyvä luoksepäästävyys
 - Hyvä hitsin laatu
 - Hitsauslaitteita ja osaavaa työvoimaa saatavissa
 - Suuri tuottavuus suurriittoisuuspuikoilla
- Esimerkiksi **vetyputkien asennustyömaalla**, huonoissa sääolosuhteissa puikkohitsaus on hyvä valinta.

Puikkohitsauksen haitat:

- Huono tuottavuus pl. suurriittoisuuspuikot
- Huono mekanisoitavuus
- Lisäaineena suhteellisen lyhyt puikko, jolloin aloitus-/lopetuskohtia tulee runsaasti
- Hitsaushuuruja suhteellisen paljon
- Hitsauspuikot herkästi kostuvia, jolloin edellytetään säilytys-, kuivaus- ja käsittelyprosessia työkohteissa

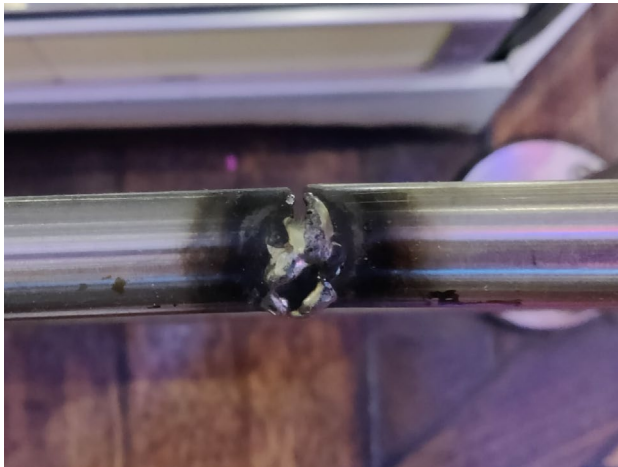


Hitsausvirheet, niiden luokittelu ja tarkastus



Euroopan unionin
osarahoittama

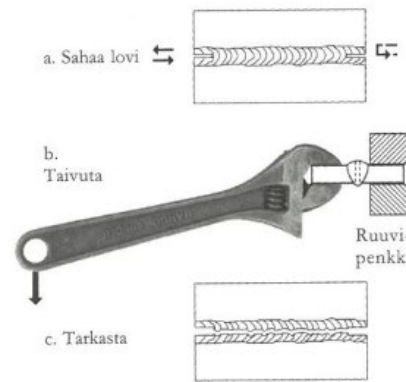
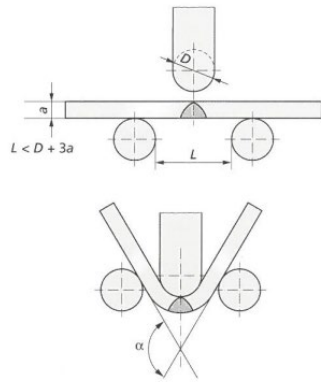
Olisiko kannattanut varmistaa ennakkoon hitsaajan osaaminen?



Euroopan unionin
osarahoittama

Hitsausliitosten tarkastuksista

- Hitsausliitosten tarkastus voidaan jakaa ”karkeasti” kahteen osaan:
 1. Rikkomaton tarkastus (NDT - Non-Destructive Testing)
 2. Rikkova aineenkoestus (DT - Destructive Testing)



Hitsausliitosten tarkastuksista

- 1. Rikkomaton tarkastus** (NDT - Non-Destructive Testing), soveltuu valmiille tuotteelle
 - Silmämääräinen tarkastus (laajuus 100 %)ss
 - Tunkeumanestetarkastus
 - Röntgentarkastus
 - Ultraäänitarkastus
 - Magneettijauhetarkastus
- 2. Rikkova aineenkoestus** (DT - Destructive Testing), ei yleensä valmiille tuotteelle - joskus "koepaloja"
 - Taivutuskokeet
 - Murtokokeet
 - Vetokokeet
 - yms.

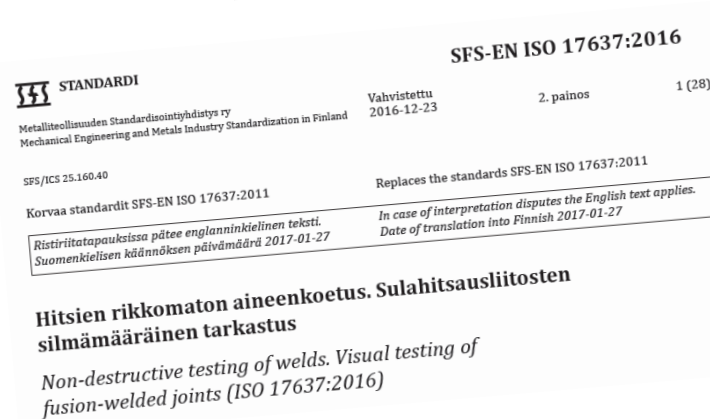
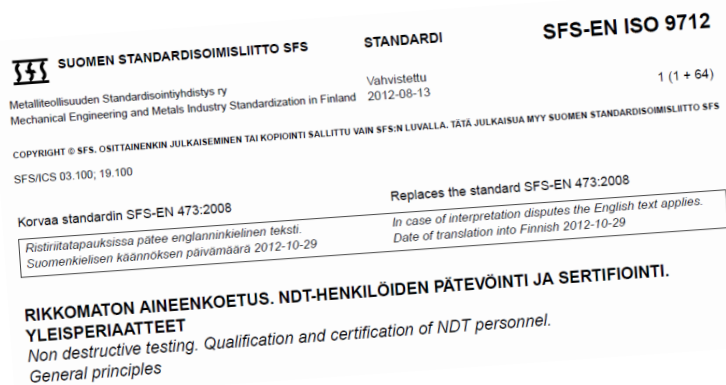
Yleisesti hitsauksen suunnittelu, toteutus, tarkastus yms. on yllättävän tarkasti säädeltyä toimintaa

Yleensä, joskus tai aina tarkastustoiminta myydään riippumattomalle kolmannelle osapuolelle. Usein kolmannelta osapuolelta vaaditaan riippumattomuuden suhteen akkreditointia.



Hitsausvirheet ja niiden luokittelu

- Hitsausvirheet on määritelty standardissa SFS-EN ISO 6520-1 ja hitsausvirheiden luokittelu teräsrakenteille standardissa SFS-EN ISO 5817



Euroopan unionin
osarahoittama

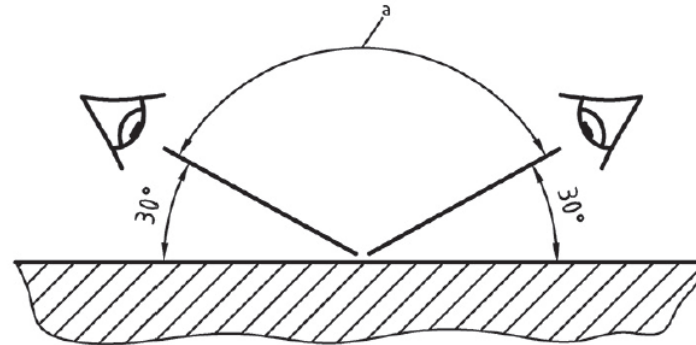
Tarkastuslaajuus

- **Tarkastuslaajuus määritellään** viittaamalla sovellusstandardiin tai sopimusosapuolten (esimerkiksi tilaaja ja toimittaja) välisellä sopimuksella.
- Tarkastajalla tulee olla saatavilla tarvittavat tarkastus ja tuotantoasiakirjat = Tieto vaatimustasosta (tai tuntemus).
- Hitsit tarkastetaan ennen jälkikäsittelyä, kun fyysinen luoksepäästävyys on mahdollinen. Toisinaan on tarpeen tarkastaa myös pinnan käsittely.



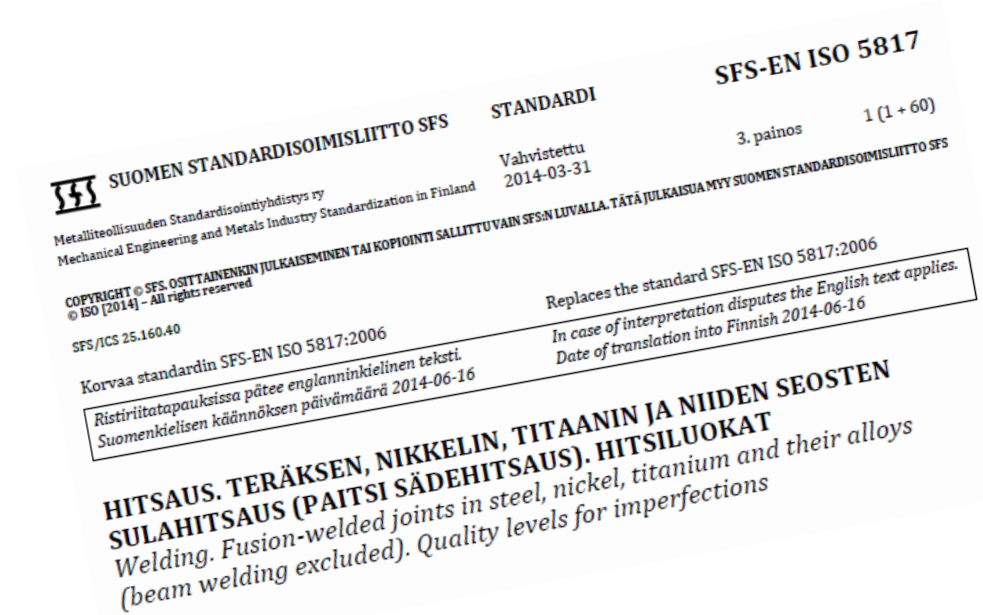
Tarkastusolosuhteet

- Tarkastusolosuhteet
 - Valaistusvoimakkuus
 - Valaistusvoimakkuuden on oltava pinnalla vähintään 350 lx; käytettäessä värjättyjä suojalaseja (esim. suojaavia aurinkolaseja) valaistusvoimakkuuden on oltava suurempi. Suositeltava valaistusvoimakkuus on 500 lx.
 - Luoksepäästävyys
 - Suorassa tarkastuksessa luoksepäästävyys on oltava riittävä, jotta tarkastusetaisyys on korkeintaan 600 mm tarkastettavasta pinnasta ja, ettei kulma ole pienempi kuin 30°



Hitsausvirheet ja niiden luokittelu

- Hitsausvirheet ja niiden luokittelu (nimitykset) on määritelty standardissa **SFS-EN ISO 6520-1** ja hitsausvirheiden hitsiluokat teräsrakenteille standardissa **SFS-EN ISO 5817** (Alumiinin ja alumiiniseosten hitsiluokat standardissa SFS-EN ISO 10042)



- **Hitsiluokka ”tulee” tekemällä**

1. Käyttämällä päteviä hitsaajia (SFS-EN ISO 9606)
2. Käyttämällä hyväksyttyjä hitsausaineita (SFS-EN ISO 15609)
3. Tekemällä työkokeita
4. Täyttämällä hitsauksen laatuvaatimukset (SFS-EN ISO 3834)
5. Nimeämällä hitsauskoordinoijia (SFS-EN ISO 14731)

- Hitsiluokkia on perinteisesti käytetty teräsrakenteiden valmistuksen yhteydessä.
- Hitsiluokkien käyttö on yleistynyt myös muille aloille, kuten painelaitteet.
- Hitsaajan pätevyyskokeen ja hitsausliitoksen menetelmäkokeen hitsausvaatimukset ovat määritetty hitsiluokkien mukaan.

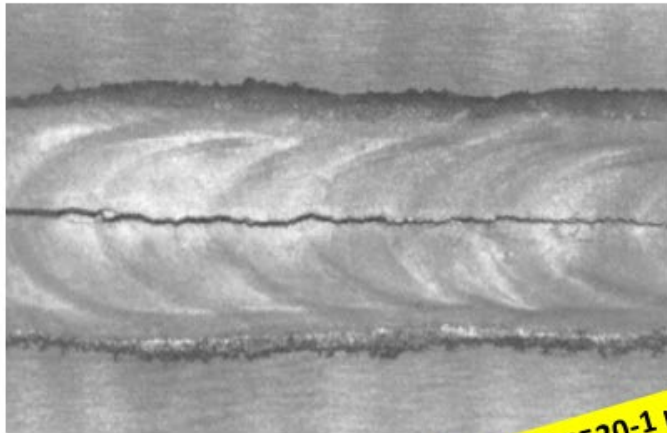


- **Hitsausvirheiden ryhmittely** mitoituksellisten arvojen perusteella standardin SFS-EN ISO 5817 mukaisesti hitsiluokkiin
- **Hitsiluokka D**
 - - Rakenteille, joilla pieni vaurioitumismahdollisuus
 - - Vaurioista johtuva haitta pieni
- **Hitsiluokka C**
 - - Staattisesti kuormitetuille rakenteille
 - - Painelaitteille ????? (Metstan määritelmä)
- **Hitsiluokka B**
 - - Väsymiskuormituksen alaisille rakenteille
 - - Rakenteille, joissa haurasmurtumariski
 - - Rakenteille, joissa vaurioista johtuva haitta suuri



Esimerkki hitsausvirheen luokittelusta SFS-EN ISO 6520-1 mukaan ja virherajojen määrittämisestä SFS-EN ISO 5817 mukaan

- Halkeama 100



Halkeama ISO 6520-1 mukaan:
Kiinteässä aineessa tapahtunut paikallinen murtuma, jonka voi aiheuttaa jäähtyminen tai jännitykset.

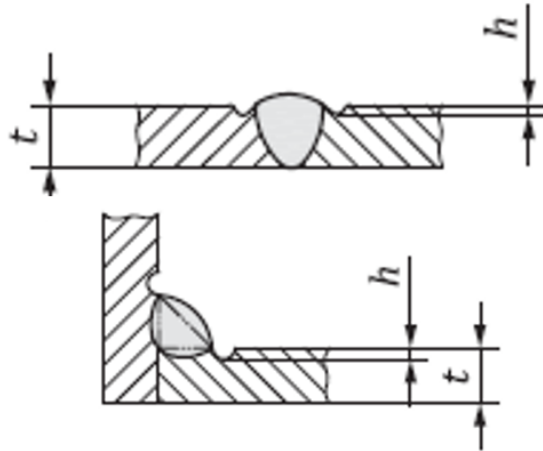
Luokittelu EN ISO 5817

t mm	Hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot		
	D	C	B
≥ 0,5	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita



Esimerkki hitsausvirheen luokittelusta SFS-EN ISO 6520-1 mukaan ja virherajojen määrittämisestä SFS-EN ISO 5817 mukaan

Jatkuva reunahaava 5011



Jatkuva reunahaava ISO 6520-1 mukaan:
Tietyn mittainen yhtäjaksoinen
reunahaava.

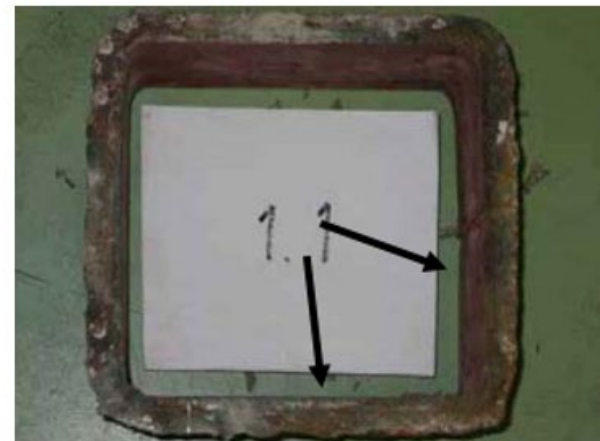
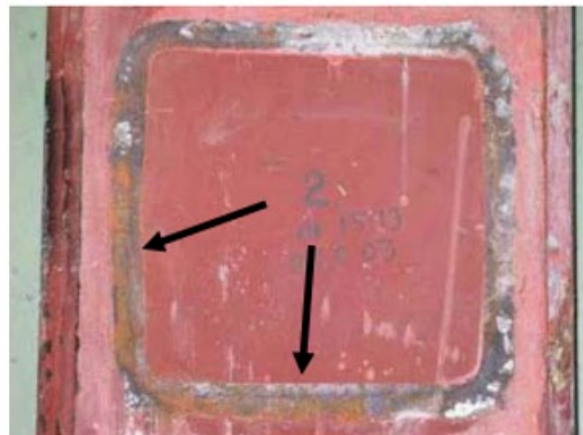
Luokittelu EN ISO 5817

t mm	Hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot		
	D	C	B
0,5-3	Lyhyt: $h \leq 0,2 t$	Lyhyt: $h \leq 0,1 t$	Ei sallita
> 3	$h \leq 0,2 t$, enintään 1 mm	$h \leq 0,1 t$, enintään 0,5 mm	$h \leq 0,05 t$, enintään 0,5 mm

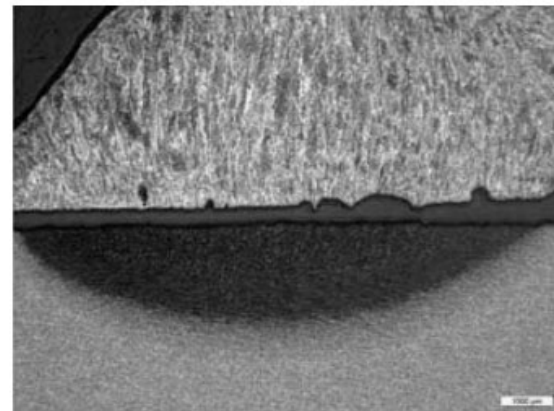
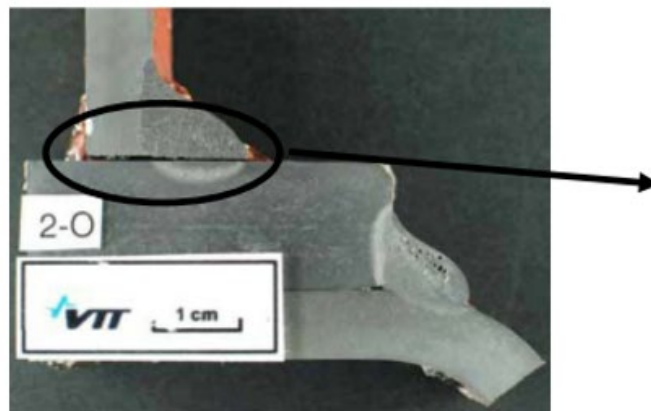
3.2 lyhyt hitsausvirhe; <Vähintään 100 mm pitkät hitsit> Hitsausvirhe, jonka kokonaispituus on enintään 25 mm 100 mm hitsin pituudella, joka sisältää eniten hitsausvirheitä.

3.3 lyhyt hitsausvirhe; <Alle 100 mm pitkät hitsit> Hitsausvirhe, jonka kokonaispituus on enintään 25 % hitsin pituudesta.





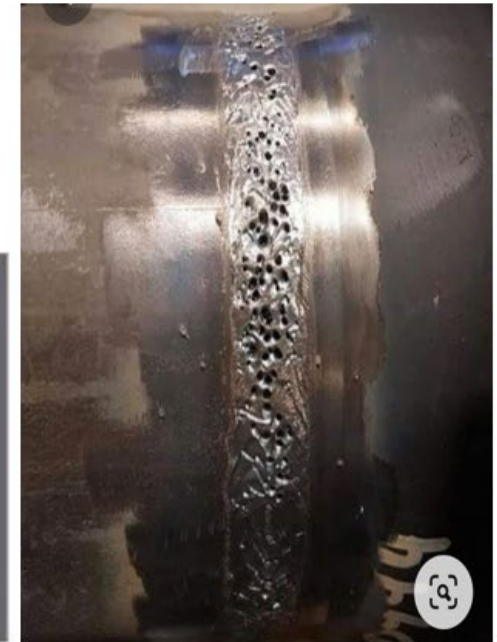
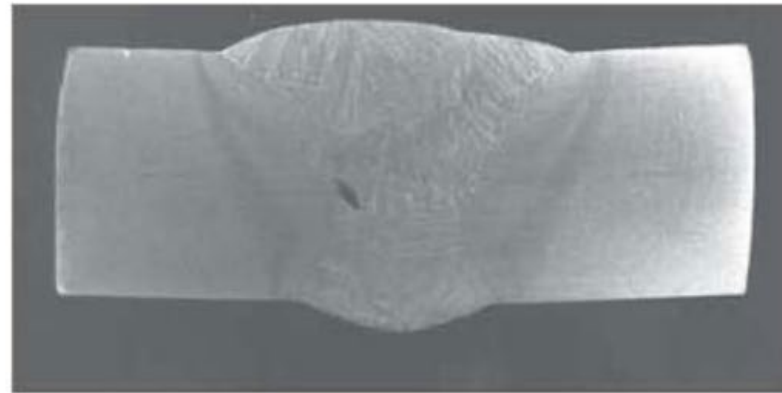
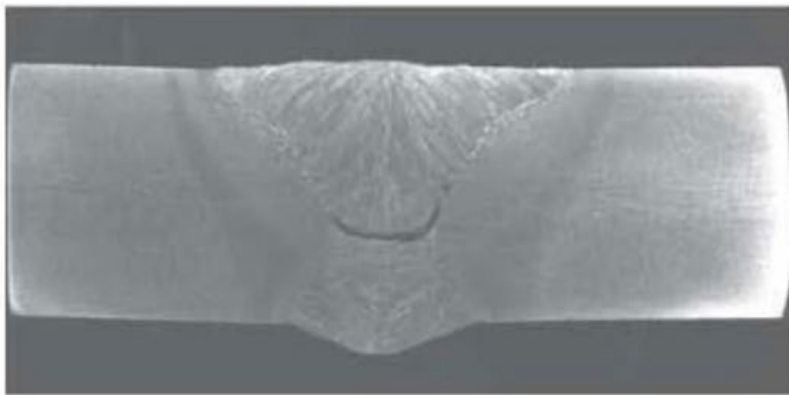
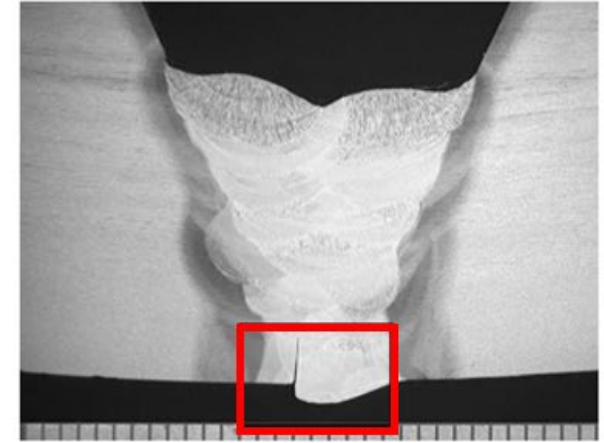
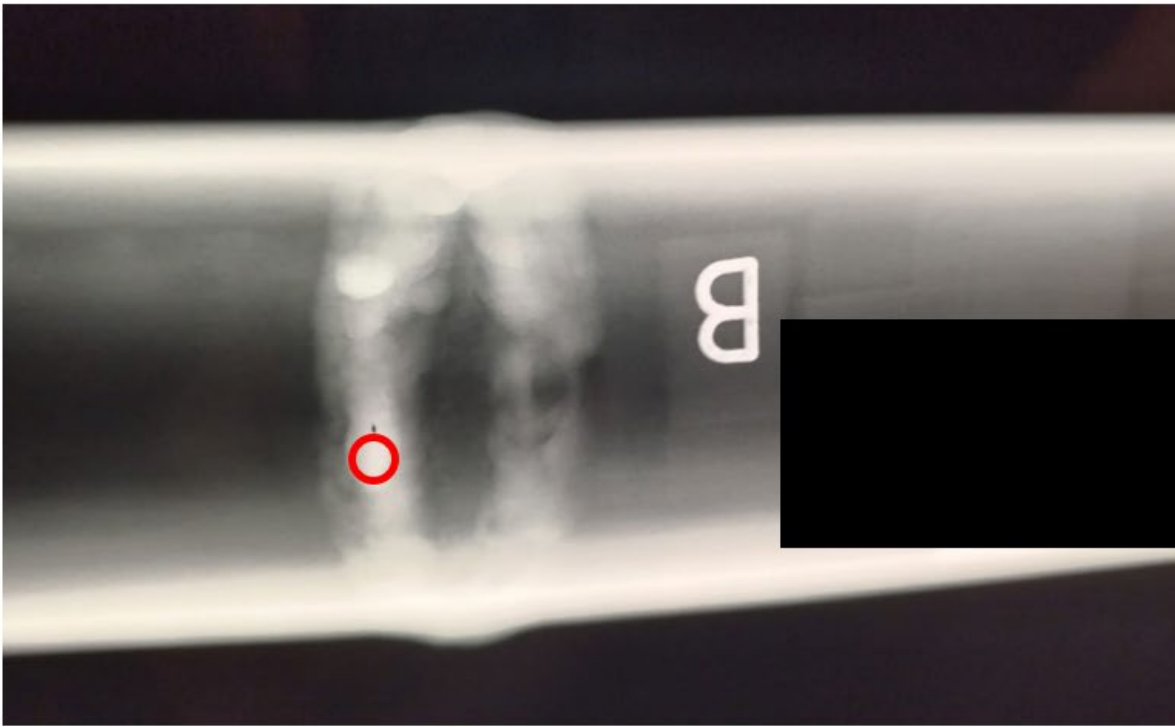
Eräässä onnettomuustapauksessa ruostejälkien perusteella voidaan havaita, että liitos ei ollut paikoin tarttunut lainkaan vahvikelevyyn (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004 ja Matti Peltola 2012)



Makrohieestä ja sen suurennoksesta hitsausliitoksen tarttumattomuus on selkeästi havaittavissa (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004 ja Matti Peltola 2012)



Euroopan unionin
osarahoittama



Euroopan unionin
osarahoittama

ESIM. HITSAUSVIRHEIDEN VAIKUTUKSISTA

- Tuottavuus
 - Jälkityö
 - Korjaushitsaus
 - Muodonmuutokset
 - Roiskeiden poisto
 - Hionta
 - Uudelleen tarkastus
 - Jne..



Virheellinen hitsi aiheuttaa aina vähintään kaksinkertaiset kustannukset, mutta usein moninkertaiset.



Yleisesti vedyn turvallisuudesta – Vetyturvallisuuden erityispiirteet

1. Vety on erittäin helposti syttyvä

- Syttyvyysalue ilmassa on laaja: 4–75 % vetyä tilavuudessa.
- Leimahduspiste on erittäin alhainen – vety voi syttyä staattisesta sähköstä tai pienestä kipinästä.
- Sytytysenergia on vain noin 0,02 millijoulea (verrattuna metaaniin ~0,29 mJ).

2. Vety on erittäin kevyt

- Se nousee nopeasti ilmakehässä ylöspäin, mikä voi pienentää räjähdysriskiä ulkotiloissa.
- Mutta suljetuissa tai huonosti tuuletetuissa tiloissa kaasuvuoto voi kerääntyä katonrajaan ja muodostaa räjähdysvaaran.

3. Vety palaa näkymättömällä liekillä

- Liekki ei ole helposti havaittavissa silmin (sinivalkoinen UV-liekki).
- Tämä vaikeuttaa palon havainnointia ja sammutusta.



Yleisesti vedyn turvallisuudesta – Vetyturvallisuuden erityispiirteet

4. Vetymolekyyli on erittäin pieni

- Vety diffundoituu helpommin metallien, muovien ja tiivisteiden läpi kuin muut kaasut.
- Tämä tekee vuotojen havaitsemisesta ja estämisestä haastavaa.

5. Vetyräjähdys on voimakas

- Jos vety sekoittuu ilmaan tietyssä suhteessa ja syttyy, paineaalto voi olla merkittävä.
- Erityisesti rakennusten sisällä tai suljetuissa tiloissa tämä voi olla vaarallista.

6. Vetymetallirappeuma (embrittlement)

- Vety voi tunkeutua tiettyihin metalleihin ja heikentää niiden mekaanisia ominaisuuksia, erityisesti hitsausliitoksissa ja suurpaineekomponenteissa.
- Tämä voi johtaa rakenteiden murtumiin ilman ulkoista kuormitusta.



Vety + happi = räjähdysherkkä kaasuseos

Reaktio: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energiaa}$ (räjähdys tai palo)

Vety-happi-seoksen ominaisuudet:

Erittäin alhainen sytytysenergia (n. 0.02 mJ)

Hyvin laaja syttyvyysalue:

Vety: 4–75 % ilmassa

Happi: kun pitoisuus kasvaa yli normaalin 21 %, riski kasvaa räjähdysmäisesti

Vakavin seos: n. stoikiometrinen seos (~29,5 % vetyä, ~70,5 % happea) on maksimaalisesti räjähtävä



Miksi happi on kriittinen tekijä turvallisuudessa?

Happi on hapetin – se mahdollistaa palamisen

Ilman happea (tai muuta hapetinta, kuten klooria, fluorikaasuja) vety ei pala.

Puhtaassa vetyssä (esim. paineastioissa, putkistoissa) ei ole palovaaraa, kun happi on poissuljettu.

Ilmavuoto tai vetylaitteen vuoto voi aiheuttaa hapen pääsyn järjestelmään

Vety vuotaa ulos → sekoittuu ilmaan → muodostuu räjähtävä seos

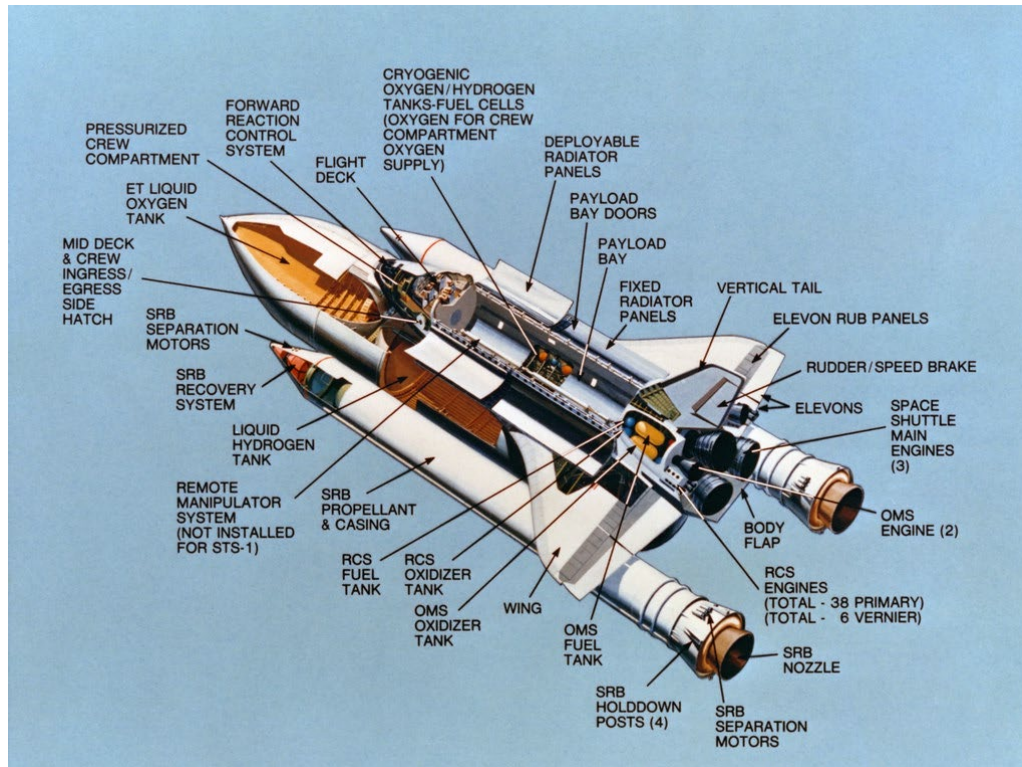
Tai ilma pääsee takaisin vetylaitteistoon, jos esimerkiksi takaiskuventtiili pettää tai järjestelmässä on alipaine

Puhdas happi lisää riskitasoa entisestään

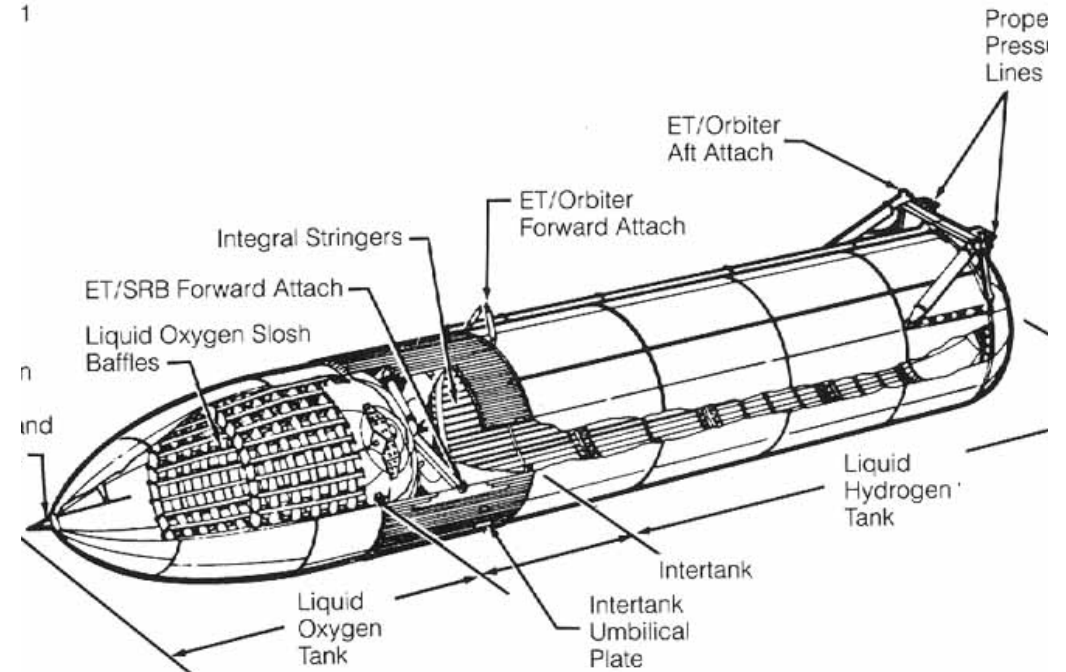
Esimerkiksi hitsauksessa, vety-happisekoitetta (oxy-hydrogen) käytetään tarkoituksella leikkaamiseen ja polttamiseen – se on hyvin energiatehokas, mutta myös äärimmäisen vaarallinen, jos hallinta pettää.



Miksi happi on kriittinen tekijä turvallisuudessa?



1

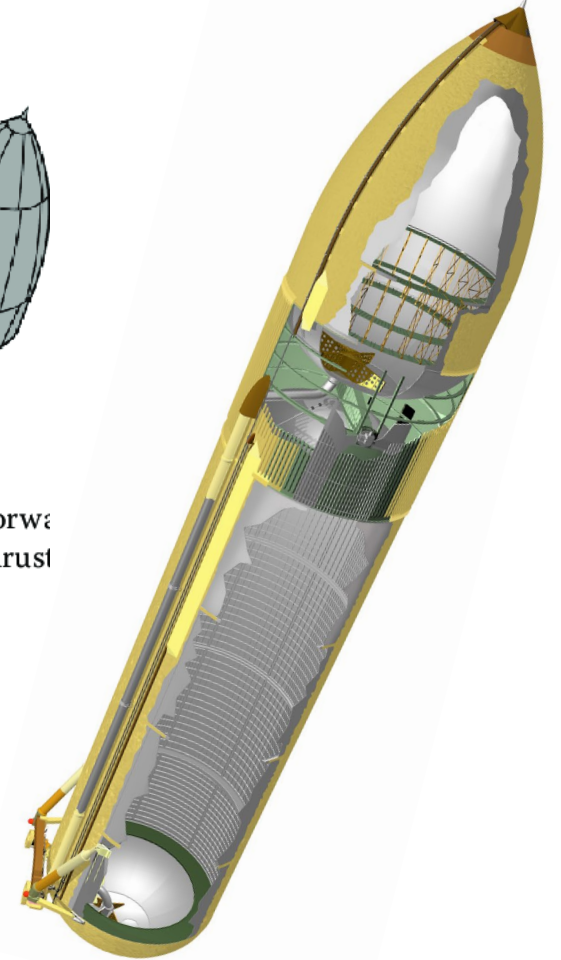
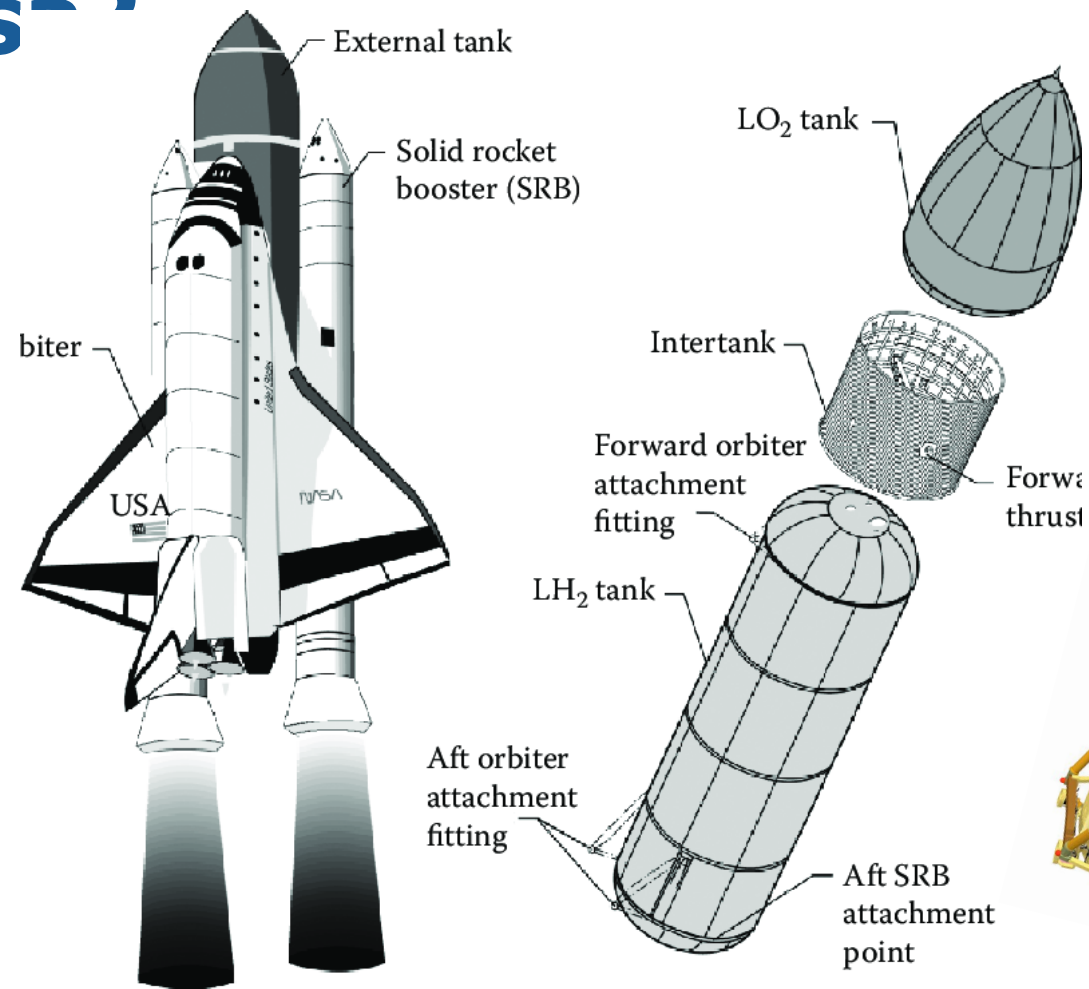
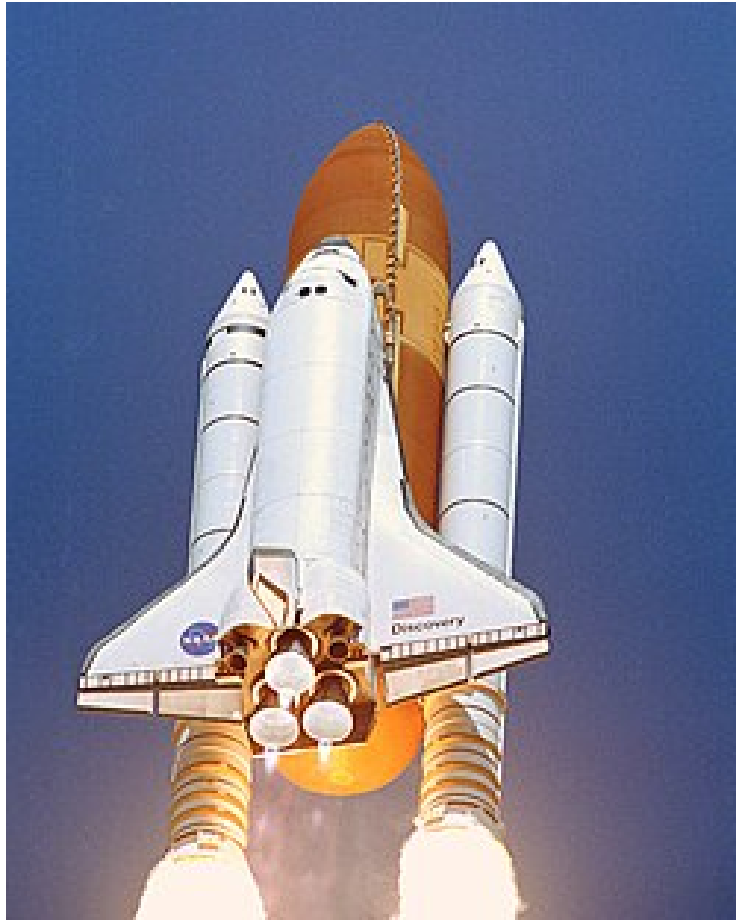


cutaway drawing of External Tank shows oxygen tank intertank to its right and hydrogen tank at right.



Euroopan unionin
osarahoittama

Miksi happi on kriittinen tekijä turvallisuudessa?



Euroopan unionin osarahoitama

Vetyturvallisuus hitsausliitosten näkökulmasta

Vetyturvallisuus vetyputkistojen ja -säiliöiden hitsausliitosten osalta on erittäin kriittinen osa vedyn käsittelyä ja infrastruktuurin rakentamista. Tässä kohtaa on otettava huomioon useita teknisiä, metallurgisia ja turvallisuuteen liittyviä seikkoja, sillä vety käyttäytyy poikkeuksellisesti muihin kaasuisiin aineisiin verrattuna



Euroopan unionin
osarahoittama

Vetyturvallisuus hitsausliitosten näkökulmasta

1. Vetymetallirappeuma (Hydrogen Embrittlement)

- Aikaisemminkin todettua, niin vety voi diffundoitua metallin rakenteisiin ja aiheuttaa haurastumista, erityisesti hitsausalueilla.
- Riskialttiita ovat erityisesti korkean lujuuden omaavat teräkset ja muut kovat materiaalit.
- Hitsausprosessin aikana lämpötilat voivat helpottaa vedyn diffuusiota metalliin, mikä voi johtaa mikrosäröihin ja myöhemmin murtumiin.

2. Materiaalivalinta

- Putkistojen ja hitsattavien osien materiaalin on oltava:
- H₂-yhteensopivaa
- Kestettävä alhaisia lämpötiloja ja painetta, joita esiintyy vetyjärjestelmissä
- Tyypillisiä valintoja: austenittiset ruostumattomat teräkset, eräät nikkeliseokset ja varsinkin pitkissä ja isoissa putkilinjoissa hiiliteräkset tietyin ehdoin.



Vetyturvallisuus hitsausliitosten näkökulmasta

3. Hitsausmenetelmät ja lisäaineet

- Hitsausprosessin valinta vaikuttaa ratkaisevasti laatuun ja turvallisuuteen.
- TIG- ja MIG-hitsaus ovat yleisiä, mutta myös manuaalinen puikkohitsaus (SMAW) tietyissä tapauksissa. Hitsauslisäaineiden on oltava yhteensopivia materiaalien ja vedyn kanssa – liian hauraat tai vetyriskiä kasvattavat lisäaineet on vältettävä.

4. Hitsausprosessin valvonta ja laadunvarmistus

- Kaikki liitokset on tarkastettava tarkasti NDT-menetelmin (esim. röntgenkuvaus, ultraääni, magneettijauhetestaus).
- Paineokeet vedyn sijaan tehdään usein inertillä kaasulla tai vedellä turvallisuussyistä.
- Post-weld heat treatment (PWHT) eli jälkilämpökäsittely voi olla tarpeen vetyriskin vähentämiseksi = jäädytyksen hidastaminen ja hitsauksessa syntyneen vedyn poistumisen varmistaminen.

5. Vuodonesto ja tiiviys

- Vety on hyvin pieni molekyyli ja voi vuotaa mikroskooppisista rakenteista, jotka eivät vaikuttaisi ongelmallisilta muille kaasuille.
- Hitsien huolellinen viimeistely ja testaus on pakollista.
- Käytetään myös pinnoitteita ja tiivistemateriaaleja, jotka estävät vetydiffuusiota.



Vetyturvallisuus hitsausliitosten näkökulmasta

Yhteenvedetöna vetyputkistojen hitsausliitokset ovat yksi keskeisimmistä vetyturvallisuuden osa-alueista. Väärin toteutettu hitsaus voi aiheuttaa:

- Vetyturtumia
- Vuotoja
- pahimmillaan vakavia onnettomuuksia.

Siksi turvallisuus edellyttää:

- Oikeaa materiaalivalintaa,
- Sertifioituja hitsausprosesseja,
- Laadunvalvontaa ja testauksia,
- Henkilöstön koulutusta vetyturvallisuuteen.



Lyhyt yhteenveto

Vetyatomi (H_2) "hajoaa" metalliputken katalyyttisen vaikutuksen seurauksena kahdeksi atomaariseksi vetyatomiksi ($2H = H+H$). Atomaarinen vetyatomi on pienikokoinen ja se tunkeutuu metallin sisään tai jopa läpi metallista. Jos se jää metallin sisään, niin kohdatessaan toisen atomaarisen vetyatomin (H), ne diffuusioituvat uudelleen vetymolekyyliksi (H_2), jolloin se laajenee "monisatakertaiseksi," aiheuttaen metallin sisällä paineen, joka ylittää myötörajan ja halkaisee metallin.

Hitsauksen laatuasiat kuntoon. Sen jälkeen on valmiudet toteuttaa vetysäiliö- ja putkistohankkeita, valitaan materiaaliksi sitten mikä hyvänsä hitsattava metallinen materiaali.

