

Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallennettu versio.
Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat
saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Kauppi, T., Björk, T., Anttila, S., Siltanen, J., Skriko, T., Ahola, A. & Kömi, J. 2019.
Erikoislujat teräkset tänään ja huomenna. Hitsaustekniikka. 71 (2), 54-60.



Erikoislujat teräkset tänään ja huomenna

Timo Kauppi, Timo Björk, Severi Anttila, Jukka Siltanen, Tuomas Skriko, Antti Ahola ja Jukka Kömi

Artikkelissa tarkastellaan erikoislujia matalaseosteisia hiiliteräksiä hitsauksen ja erityisesti teräsrakenteiden turvallisen käytön näkökulmasta. Lisäksi pohditaan standardien merkitystä. Aihealue on rajattu pääasiassa kuumavalssattuihin rakenneteräksiin ja kaarihitsaukseen. Tosin myös muita erikoisterästen käyttökohteita tuodaan esiin, mutta suunnittelunäkökulma pysyy edellä mainituissa teemoissa.

Johdanto

Teräsiiketoiminnan erikoistuminen on näkynyt erityisesti Euroopassa, jossa varsinkin valmistuskapasiteettia on leikattu rajusti. Tämä on seurausta sekä terästeollisuuden konsolidoitumisesta että Kiinan voimakkaasta pyrkimyksestä vallata markkinat. Kiina tuottaakin noin 50 % maailman teräksistä, mutta tämä osuus on pysynyt lähes ennallaan vuodesta 2014, eli voidaan sanoa, että kapasiteettiin perustuva laajentuminen on pysähtynyt. Toisaalta Suomen terästeollisuuden rakenteisiin muutokset ovat vaikuttaneet vain vähän, sillä erikoistuminen on tapahtunut jo aikaisemmin.

Tärkeätä on huomata, että kun mittareiksi otetaan tieteelliset julkaisut sekä uusien teräslajien kehitys ja näiden markkinaosuudet, Suomi ja Ruotsi ovat johtavat maat maailmassa tässä aihealueessa. Tällä

aihealueella on myös eniten potentiaalia, kun tarkastellaan Suomen hitsaavan teollisuuden toimintamahdollisuuksia ja tulevaisuuden liiketoimintapotentiaalia.

Kestävää kehitystä lujilla teräksillä

SSAB tuottaa kehittyneitä lujia, karkaistuja ja päästettyjä teräksiä sekä nauha-, levy- ja putkituotteita ja rakentamisen ratkaisuja. Teräslajeja ovat mm. kulutusta kestävä teräset, rakenne- ja kylmämuovattavat teräset, metalli- ja maalipinnoitetut nauha- ja levyteräset sekä teräsputket, -profiilit ja -paalut. Suomessa toimintaa on pääasiassa kahdella paikkakunnalla: Raahessa on teräksenvalmistus ja kuumavalssaamo ja Hämeenlin-

nassa kylmävalssaamo sekä putkituotanto. Putkia valmistetaan myös Oulaisissa, Pulkkilassa, Toijalassa ja Lappohjassa. Pohjoismaiden ja Pohjois-Amerikan kotimarkkinat ovat SSAB:n liiketoiminnan perusta ja tuotantokapasiteetti on 8,8 milj. tonnia vuodessa. Toisaalta strategiassa tähdätään globaaliin johtajuuteen maailmassa erikoislujissa teräksissä.

Lujat ja erikoislujat teräset ovatkin SSAB:n strategian keskiössä. Niiden avulla asiakkaat voivat parantaa energia- ja materiaalihokkuutta sekä samalla tehdä tuotteistaan vahvempia ja kevyempiä, edistään kestävä kehitystä. Tämä näkyy esimerkiksi pienempänä polttoainekulutuksena tai suurempana hyötykuormana ajoneuvoissa. Lujuus ei ole kuitenkaan ainoa merkittävä ominaisuus. Erikoisteräksiltä edellytetään myös erinomaista kulumiskestävyyttä, muovattavuutta, koneistettavuutta tai sitkeyttä.



Kuva 1. Erikoislujien rakenneterästen käyttökohteita.



Kuva 2. Lujien terästen ja putkien käyttökohteita ajoneuvoissa.

SSAB kehittää myös uusia funktionaalisia pinnoitteita, jotka pienentävät energiankulutusta ja ylläpitokustannuksia sekä pidentävät rakennusten elinikää.

Erikoislujat teräkset tänään

SSAB:n rakenneteräksiä käytetään runsaasti rakentamisessa ja infrastruktuurissa. Tuotteita ovat mm. katot, seinät, sadevesijärjestelmät, rakenneputket, teräspaalut, suojakaiteet, paineputket ja avoprofiilit. Erikoislujien rakenneterästen käyttökohteita ovat esimerkiksi mobiilinosturien puomit ja tukijalat, kuorma-autonkorit, maatalouskoneet ja öljynporaustalautat. SSAB:n erikoislujat rakenne- ja kylmämuovattavat teräkset kuuluvat Strenx-tuotemerkkiin, kuva 1. Uutena esimerkkinä on Strenx 1100 Plus -teräs, jossa hitsin alue säilyy perusaineen lujisena tavallista laajemmalla lämmöntuontialueella. Teräksestä on oma artikkeli toisaalla tässä lehdessä.

Autoteollisuuden materiaalit ovat ympäristömääräysten tiukentuessa muuttuneet merkittävästi. Runkorakenteiden pehmeät teräkset on korvattu kehittyneillä erikoislujilla teräksillä. Näin rakenteet kevenevät ja myös turvallisuus paranee. Lujien autoteollisuuden Docol-terästen ja putkien käyttökohteita ovat mm. puskurit, alusta, korin rakenteet, sivutörmäyssuojat, istuimet ja akkukotelot, kuva 2. Uusia Docol DH (dual phase high formability) teräksiä on saatavilla koe- ja hyväksyntäkäyttöön 600-800 MPa murtolujuusalueella. Nämä, ns. kolmannen sukupolven TRIP-avusteiset teräkset omaavat parantuneet muovattavuusominaisuudet menettämättä hitsattavuutta tai työstettävyyttä.

Kulutusterästen käyttökohteita ovat esimerkiksi koneiden kulutusosat, kuorma-auton rungot ja lavat, kontit, kauhat sekä louhinta- ja kierrätyslaitteet. Tunnetuimpia SSAB:n tuotemerkkejä ovat Hardox ja Raex -kulutuslevyt, kuva 3. Uuden sukupolven Hardox 500 Tuf on korkean kovuutensa (475-505HBW) ja

lujuutensa ohella myös erityisen sitkeä (taattu poikittainen iskusitkeys väh. 27J @ 20°C).

Muita teräksiä ovat esimerkiksi ajoneuvoissa ja rakennuksissa käytettävät Armox ja Ramor suojausteräkset sekä akseleissa, pitimissä, muoteissa ja valutyökaluissa käytettävät Toolox-työkaluteräkset. Näiden lisäksi SSAB:n muita tuotemerkkejä ovat Greencoat, SSAB Boron, SSAB Domex, SSAB Form, SSAB Laser, SSAB Weathering ja SSAB Multisteel.

Lujien terästen hitsauksesta

Modernien terästen ominaisuudet ovat seurausta huolellisesta valmistuksesta. Esimerkiksi termomekaanisesti valssattujen teräslajien peruslujuus tulee seostuksesta ja lisälujuutta saadaan kontrolloidulla valssauksella ja jäähtyksellä. Pienempi seostus parantaa yleensä hitsattavuutta ja tätä voi-

daan arvioida koostumukseen pohjautuvalla hiiliiekivalenttiarvolla. Hitsaus voi kuitenkin merkittävästi myös heikentää teräksen ominaisuuksia ja tämän vuoksi erikoisterästen hitsausprosessi on hieman monimutkaisempaa ja huolellisuutta vaativaa.

Erikoisterästen hitsauksen esivalmisteluissa tulee olla huolellinen. Ohuilla paksuuksilla (≤ 10 mm) teräksiä voidaan mekaanisesti leikata tai lävistätä hyväkuntoisilla työkaluilla. Myös laserleikkaus on käyttökelpoinen menetelmä. Paksuilla levyillä leikkauksessa käytetään tavallisesti koneistusta tai termistä leikkausta (poltto-, plasma- tai laserleikkaus). Termisen leikkauksen oksidikerroksen poistoa suositellaan ennen hitsausta. Erityisesti kulusteräksillä on vältettävä reunojen liiallista pehmenemistä ja säröjen muodostumista.

Ennen hitsausta ylimääräinen kosteus, öljy, ruoste ja lika on poistettava railon alueelta. Ohut öljykerros korroosiosuojatun teräksen pinnalla ei normaalisti haittaa kaarihitsauk-



Kuva 3. Kulusterästen käyttökohteita.

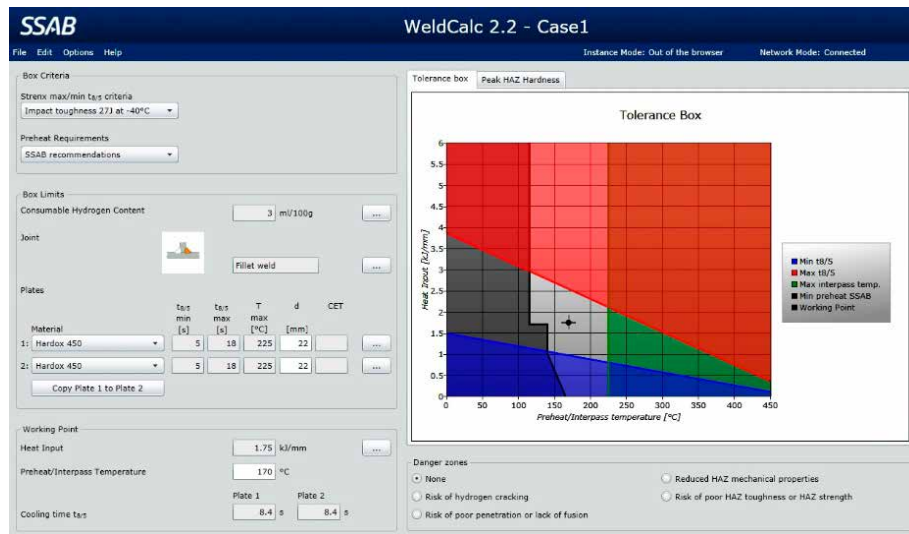
nessa, mutta pinnan muut epäpuhtaudet voivat altistaa hitsausvirheille. Mahdollinen sinkkikerros suositellaan poistettavaksi kaarihitsauksessa, koska se heikentää kaaren vakautta, lisää huokoisuutta, altistaa roiskeille ja laskee tunkeumaa. Erikoistapauksissa voidaan käyttää MIG-juottamista, jolloin ongelmia voidaan vähentää, mutta liitoksen lujuus jää perusaineen lujuutta alhaisemmaksi. Pohjamaalin päälle voidaan hitsata pienen sinkkimäärän vuoksi, mutta tarvittaessa sen voi poistaa esim. harjaamalla. Myöstyä eli jännityksenpoistohekkutusta ei normaalisti tehdä, koska se voi heikentää mekaanisia ominaisuuksia.

Vetyhalkeilun riskiä lujilla ja paksuilla teräksillä pienennetään käyttämällä suositeltuja työlämpötiloja (esilämmitystä ja välilämpötiloja). Tämä koskee myös siltoitushitsejä ja juuripalkoja. Hitsauksessa on suositeltavaa käyttää matalavetyisiä hitsausmenetelmiä ja lisäaineita (HD ≤ 5 ml/100 g hitsiainetta). Sopiva ilmarako ja oikea hitsausjärjestys pienentävät jäännösjännityksiä. Paksuissa levyissä (> 25 mm) epäsymmetrinen railogeometria vähentää vetyhalkeilutaipumuksia. Hitsauksen jälkeen kuumilla oikaisua vetelyiden korjaamiseksi voidaan joissain tapauksissa käyttää, mutta tähän on omat ohjeensa. Ohutlevyjen kaarihitsauksessa vetelyihin ja muodonmuutoksiin tulee varautua hyvällä suunnittelulla.

MAG-hitsauksessa käyttäen Ar+CO₂-suojakaasua saadaan vakaa kaari, vähän roiskeita ja kuonaa, hyvä tunkeuma railokylkiin, pieni huokoisuus ja pienempi liitosvirheiden riski. Tyypeä ei suositella suojakaasuun, koska se voi aiheuttaa huokoisuutta.

Lämmöntuonin pienentäminen hitsauksessa parantaa hitsialueen sitkeyttä, nostaa lujuutta, alentaa muodonmuutoksia ja jäännösjännityksiä sekä kaventaa hitsin mahdollisesti pehmeää muutosvyöhykettä. Riittävän sitkeyden ja lujuuden turvaamiseksi lämmöntuonnille yleensä ohjeistetaan sopivat jäähtymisen t_{8/5}-ajat eli jäähtymisaika 800-500 °C lämpötilavälillä. Sopivaan jäähtymisaikaan vaikuttaa useita tekijöitä, mutta usein se on muutamista sekunneista pariin kymmeneen sekuntiin. SSAB:n asiakkailla on pääsy WeldCalc-ohjelmistoon, jonka avulla voidaan määrittää liitoksille sopiva "toleranssi-ikkuna", kuva 4. Käyttäjä syöttää laskuriin haluamansa mekaaniset ominaisuudet, käytetyn hitsausmenetelmän, liitostyyppin ja materiaalit. Hitsausmenetelmät ovat MAG-, puikko-, jauhekaari-, TIG-, laser- ja plasmahitsaus sekä laser/plasma ja laser/MAG-hybridihitsaus. Ohjelmisto on verkkopohjainen, joten se on aina ajan tasalla.

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan perusainetta vastaavia lisäaineita on saatavilla lähes kaikille lujille teräksille, mutta myös alilujia lisäaineita voidaan käyttää, mikäli rakenne sen sallii. Erityisen kovan kulumisen kohtiin voidaan kovahitsata pintaan erikoislisäaineilla, mutta tällöin esilämmitysvaativuudet voivat olla korkeita ja puskuriker-



Kuva 4. WeldCalc-ohjelmistolla voidaan laskea hitsaussuosituksia liitoksille.

rokset ovat usein tarpeen käyttämällä esim. austeniittisia ruostumattomia lisäaineita.

Lujien terästen ohutlevyjen pistehitsauksessa on suurempi sähkövastus, jonka vuoksi on käytettävä pienempää hitsausvirtaa. Sinkitylle pinnalle virtaa pitää kasvattaa. Korkeamman hiilikvivalentin teräksissä pistehitsien murtuma voi muuttua sitkeästä hauraammaksi.

Laserhitsaus on matalan lämmöntuonin hitsausmenetelmä ja sillä on mahdollista saada liitokseen hyvät mekaaniset ominaisuudet vähäisillä rakenteen muodonmuutoksilla. Menetelmän käyttöä rajoittaa edelleen laitteistojen korkeahko hinta ja näin sopivien käyttökohteiden vähäisyys. Laserhitsauksessa railonvalmistelulla on suuri vaikutus hitsauksen lopputulokseen, mikä korostaa toimivia hitsauskiinnittimiä. Mikroseostetut (myötölujuus 420-800 MPa) ja kaksifaasiteräksit (murtolujuus 500-1200 MPa) ovat laserhitsin osalta usein lujempia kuin perusaineet, mutta monifaasiteräksissä (600-1200 MPa) ja martensiittisissä teräksissä (900-1700 MPa) laserhitsit voivat jäädä lujuudeltaan perusainetta alhaisemmiksi.

Tulevaisuuden näkökulma

Vaikka terästeollisuus on vanha toimiala, se on vielä suhteellisen hajaantunut, koska 75 suurinta yhtiötä kattaa vain 67 % maailman markkinoista. Onkin ennakoitu, että yhdistymisiä tapahtuu ja jatkossa nähdään entistä suurempia toimijoita.

Teräksen valmistus tuottaa paljon päästöjä ja tulevaisuudessa tähän täytyy vastata kehittyneemmällä prosesseilla. Vuonna 2016 SSAB, LKAB ja Vattenfall käynnistivät HYBRIT-hankkeen, jonka pyrkimyksenä on korvata masuunipohjainen teräksenvalmistus vetypelkistyksellä. SSAB:n tavoite on olla täysin fossiilivapaa vuoteen 2045 mennessä. Jo

nyt SSAB EcoUpgraded-ohjelmassa koneiden elinkaarenaikaisia hiilidioksidipäästöjä vähennetään käyttämällä erikoislujuja teräksiä.

Teräksen kulutuksen on arvioitu kasvavan maailmanlaajuisesti elintason ja väestönkasvun myötä. Tosin kehittyneissä maissa kasvu on vähäistä. Tulevaisuuden terästehtaalta on oltava kykyä vastata kiristyvään kilpailuun ja vaativiin ympäristöhaasteisiin. Tällöin vaaditaan tehokkuutta läpi koko arvoketjun, energiatehokkaita ja joustavia valmistusprosesseja sekä kykyä vastata nopeasti muuttuviin asiakas-, ympäristö-, ja turvallisuusvaatimuksiin. Myös uudet työkalut, kuten alustatalous, koneoppiminen ja digitalisaatio muuttavat toimintoja.

Tulevaisuuden teräksiä käytetään entistä vaativammassa olosuhteissa ja kilpailu muiden materiaalien kanssa kiristyy entisestään. Teräskemian tulee vastata materiaalien tarjontaan ja muutosten ymmärtämiseksi on ymmärrettävä myös asiakkaan prosessit tarjontaan ja kehitettävä ratkaisuja yhdessä. Uusilta teräksiltä vaaditaan esimerkiksi entistä parempaa sitkeyttä matalien lämpötilojen käyttökohteissa ja mahdollisuutta käyttää hitsauksessa suurta lämmöntuontia. Yhtenä avaintekijänä tulevaisuuden ongelmien ratkaisemiseksi SSAB:n tutkimus- ja kehitystyössä onkin vahva yhteistyöverkosto yliopistojen ja tutkimuslaitosten välillä.

Teräsrakenteiden suunnittelu

Rakennemateriaalivaihtoehtojen määrä on lisääntynyt viime vuosikymmeninä voimakkaasti, mikä tuo suunnittelijalle helpotusta löytää tarkoituksenmukainen vaihtoehto tiettyyn sovellukseen. Monipuolisuus luo myös haasteita löytää kyseessä olevaan tarpeeseen paras vaihtoehto. Esimerkiksi hitsattavien teräsrakenteiden määrä on lisääntynyt erityisesti lujien vaihtoehtojen tarjonnan myötä.

Materiaali yhdessä geometrian kanssa luovat rakenteen kapasiteetin. Suunnitteli- ja valitsee rakennemateriaalin ensisijaisesti käyttökohteelta vaadittavien ominaisuuksien perusteella. Joskus tilanne on selkeä, kun materiaalin tarvitsee täyttää vain yksi loppu- tuotteen käyttöä dominoiva kriteeri. Haaste muodostuu kuitenkin usein siitä, että yhdellä materiaalilla joudutaan ratkaisemaan monta loppukäytön kuormituksesta tai ympäristöstä tulevaa vaatimusta. Kuormituksesta materiaalille tulevia mekaanisten ominaisuuksien vaatimuksia voivat olla jäykkyys, muodonmuutoskyky, staattinen lujuus, väsymiskestävyys, kovuus ja kulumiskestävyys, ja ympäristöstä tulevia kriteereitä esimerkiksi syöpymättömyys, ruostumattomuus, säänkestävyys, kuuman- ja kylmänkestävyys (haurastumatta) ja säteilynkestävyys. Vaativissa, painokriittisissä rakenteissa valintaa ohjaa vaatimus tuotteen suorituskyky/painosuhteen optimaalisuudesta. Materiaalin hinnalla on tietenkin myös iso merkitys samoin kuin materiaalin konepajavalmistettavuudella ja siinä syntyvillä kustannuksilla.

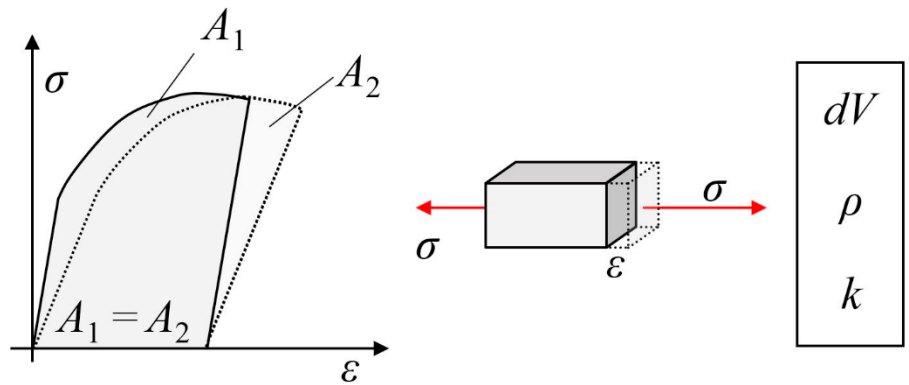
Materiaalivertailuparametriksi λ voidaan määrittää seuraavan kaavan mukaan:

$$\lambda = \frac{P}{\rho k} = \frac{\sqrt{E \int_V \sigma \epsilon dV}}{\rho k}$$

Lausekkeessa P on tuotteen suorituskyky ko. materiaalilla tehtynä, ρ on materiaalin tiheys ja k on sen hankinta- ja konepajakustannusten yksikköhinta. Suorituskyky voi olla periaatteessa mitä tahansa yksikköjä, joilla tuotteen toimintaa mitataan, ja ne voivat olla suhteutettu esimerkiksi päästöihin, työn tehokkuutta mittaavaan aikaan tai energian kulutukseen. Yleensä turvallisesti käyttäytyvältä rakennemateriaalilta vaaditaan aina hyvää muodonmuutoskykyä ja lujuuden yhdistelmää, eli kykyä sitoa energiaa ja erityisesti plastisoitumalla. Lisäksi materiaalin jäykkyys E on tärkeä ominaisuus muodonmuutoksien hallitsemiseksi.

Näillä suorituskykykriteereillä materiaalinvertailuparametri muokkautuu kuvan 5 mukaisesti jännitys-venymäkäyrästä määräytyväksi. Lausekkeessa materiaalin tilavuuden V yli integroitu jännityksen σ ja plastisen venymän ϵ tulo määrittää aineen kyyn sitoa energiaa plastisoitumalla. Jos eri materiaaleille lasketaan tällä tavalla määräytyviä tunnuslukuja, havaitaan, että teräksillä ja nimenomaan lujilla teräksillä saadaan jäykkää energian absorptiokykyä kevyesti edullisimmin. Tämä on keskeinen syy siihen, että teräs on eniten käytetty metallinen rakennusmateriaali maailmassa. Jos loppukäyttäjät tarvitsevat erityisesti suorituskykyä, lujat ja ultralujat teräkset ovat teräsvaihtoehtojen suosikkeja.

Usein luullaan, että lujuudesta ei saada



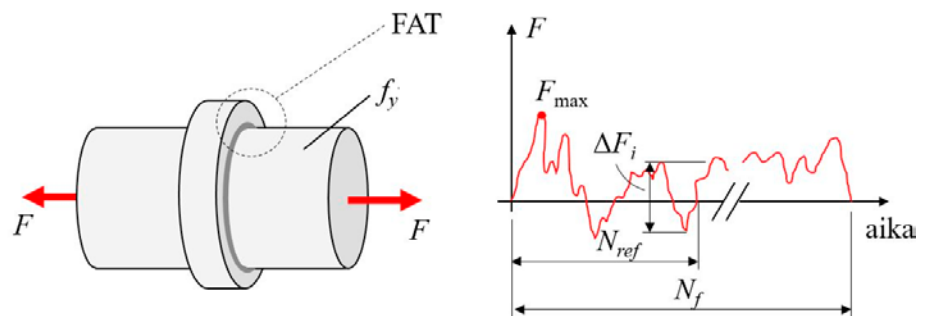
Kuva 5. Muodonmuutoskyky ja jäykkyys suhteessa ominaispainoon ovat keskeisiä materiaalinvalintakriteereitä. Perinteisiin matalalujuuksisiin teräksiin verrattuna lujilla teräksillä tasaja murtovenymävenymä ovat pienempiä ja toisaalta muokkauslujittuminen vähäisempää. Lisäksi tietyillä lujilla teräksillä hitsin muutosvyöhykkeellä (HAZ) voi tapahtua pehmenemistä, mikä voi johtaa venymän paikallistumiseen. Tällaisissa tilanteissa liitoksen ja rakenteen muodonmuutoskyky voivat jäädä pieneksi. Ongelman tunnistaminen on tärkeää, jotta se osataan eliminoida konstruktiivisin hitsausteknisin keinoin.

hyötyä jäykkyyden ollessa mitoittava kriteeri (esim. taivutuspalkin taipuma tai värähtely), koska kimmomoduli ei määräydy materiaalin lujuudesta. Tilanne voidaan kuitenkin kiertää kasvattamalla rakenneosan (palkin) korkeutta. Tällöin kuitenkin seinämien lommahdus rajoittaa lujuuden hyödyntämistä. Se voidaan puolestaan kiertää tekemällä rakenteen poikkileikkaus riittävän monitahkoiseksi, jolloin osakentät ovat semikompakteina lommahtamattomia. Suuri lujuus näkyy kuitenkin stabiliteettimitoituksessa siten, että osakenttien seinämäsuhteet eivät ole yhtä hoikkia kuin matalalujuuksisella teräksellä. Poikkileikkauksista tulee monimutkaisia, mikä lisää niiden alttiutta vinoutumiselle ja tekee myös liitoksista monimutkaisempia.

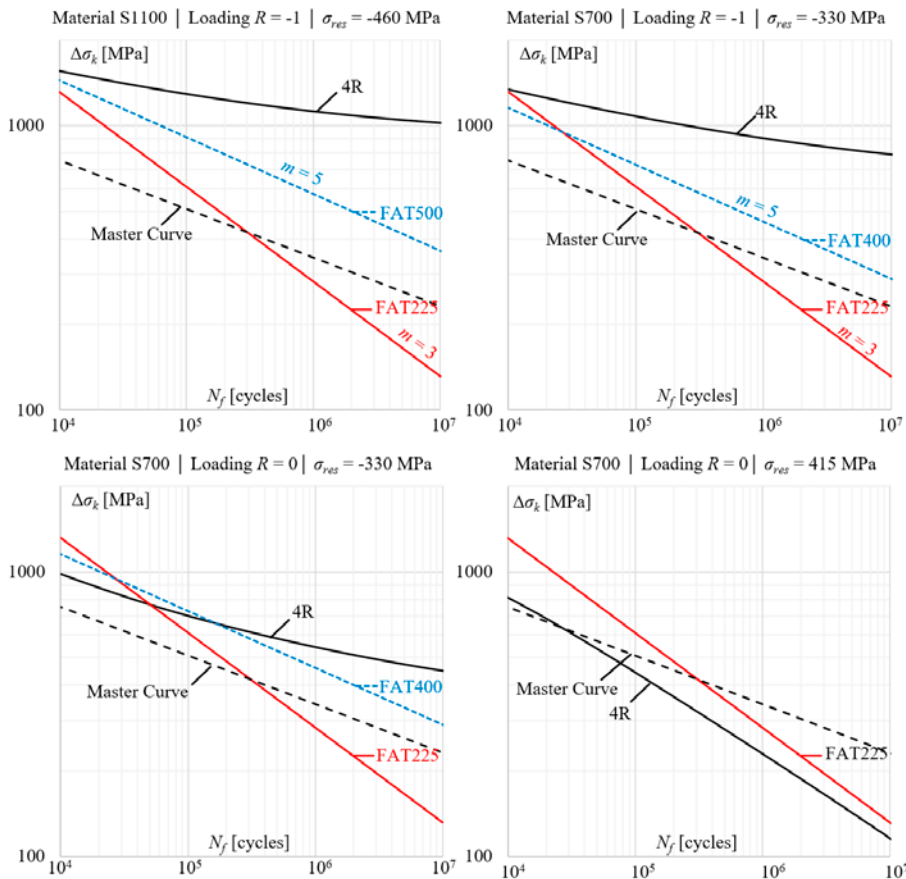
Suorituskykyä vaativat kohteet ovat usein väsyttävästi kuormitettuja. Optimaalisessa tilanteessa materiaalin staattinen- ja väsymiskestävyysvaatimus johtavat samaan poikkileikkausvastevaatimukseen, joka voi olla levyn tai laatan paksuus, profiilin pinta-ala, palkin taivutus- tai vääntövastus jne. Tähän kriteeriin perustuen materiaalin alimmaksi lujuusluokaksi f_y määräytyy kuvan 6 tilannetta mukaillen:

$$f_y = \sqrt[m]{N_f \sum_i (\Delta F_i^m n_i)} \frac{\gamma F_{max} FAT}{\gamma_f}$$

Lausekkeessa F_{max} on kuormitushistorian aikana esiintynyt suurin kuormitus ja γ sen osavarmuuskerroin, FAT on detaljin väsymisluokka ja γ_f sen osavarmuuskerroin, N_{ref} on kuormanvaihtojen ΔF_i lukumäärää vastaava referenssikertymä ja n_i on yksittäisten vaihtelujen lukumäärä ja N_f rakenteelta vaadittava kokonaiskertoikä N_{ref} -yksiköissä. Näin määritetty lujuusluokka on mitoituksen lähtökohta ja tätä lujempaan teräksen valinta on perusteltua esim. käytön aikana syntyvillä polttoainekulujen ja päästöjen väheneemisellä. Lujan teräksen valinta luo paineita hyvän FAT -luokan saavuttamiseksi rakenteen kriittisissä detaljeissa. Tämä vaatii aina hyvää suunnittelua ja laadukasta konepajavalmistusta sekä mahdollisesti myös sopivan jälkikäsitteilymenetelmän käyttöä. Toinen mahdollinen haaste tulee teräksen murtositkeyden vaatimuksen kasvusta lujuuden mukaan. Tämä asettaa kylmiin olosuhteissa



Kuva 6. Teräksen lujuusluokan määrittäminen yhdistämällä staattinen- ja väsymiskestävyysvaatimukset.

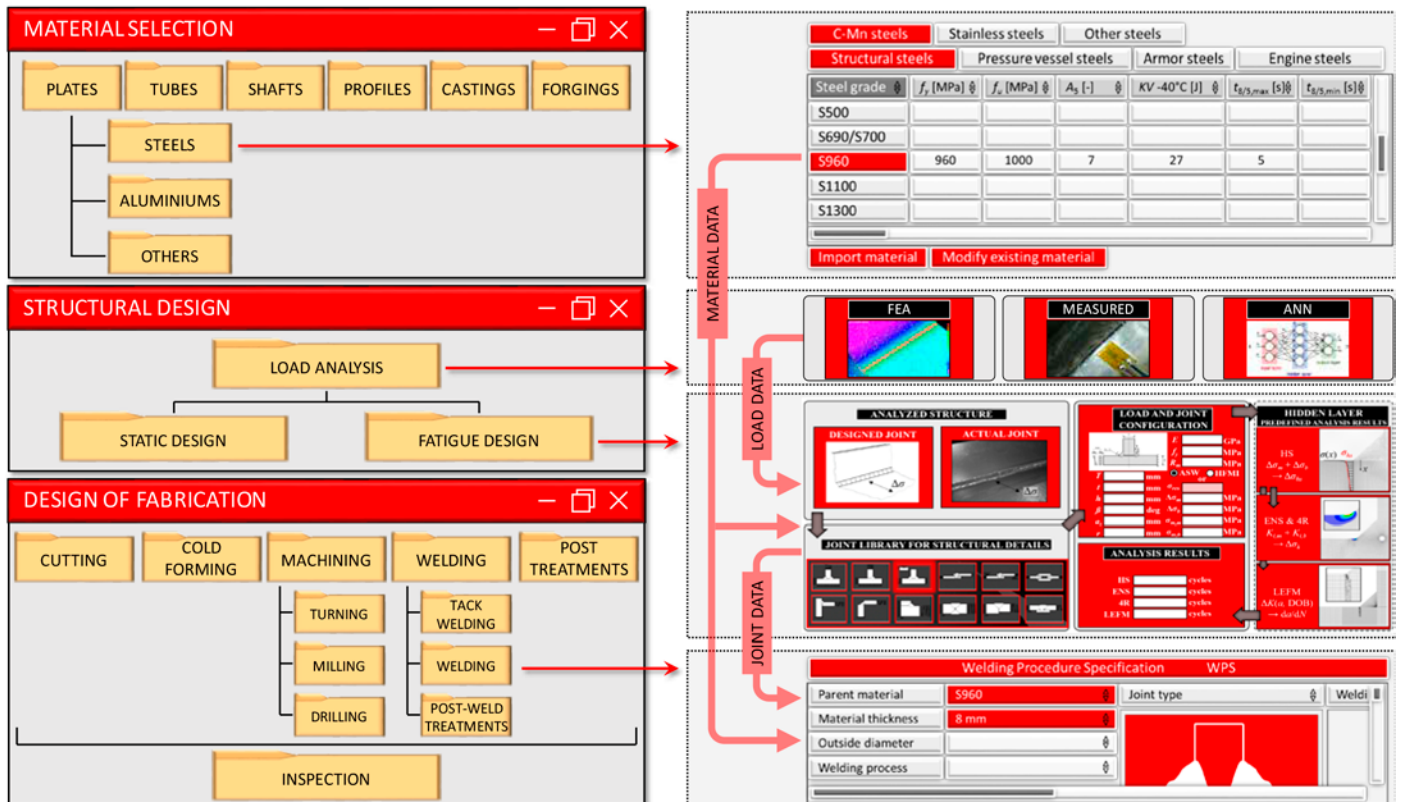


Kuva 7. Eri lujuusluokan teräksillä saatava väsymiskestävyys kuormitus- ja jäännösjännitystilanteissa 4R-menetelmällä simuloituna.

toimivien terästen tuotekehitykseen paineita, jotta kriittinen särökoko väsyttävästi kuormitettuissa rakenteissa saadaan turvallisuuden kannalta riittävän suureksi.

Edellä olevassa lausekkeessa esitetty liitoksen geometrista laatua kuvaava FAT vain suuntaa antava määrittäjä liitoksen laadulle. Lujan teräksen liitoksen laatu määräytyy geometrian lisäksi siinä vallitsevasta jäännösjännitystilasta ja mikrorakenteesta, joka puolestaan vaikuttaa jäännösjännitystilaan. Näillä molemmilla on kytkeä materiaalin lujuuteen, joten myös se on otettava huomioon väsymiskestävyyttä arvioitaessa. Näiden tekijöiden lisäksi ulkoisen kuormituksen jännityssuhteella R ja erityisesti sen suhteella jäännösjännitystilaan on vaikutusta väsymislujuuteen. Siten lujasta teräksestä tehdyn hitsausliitoksen suorituskyvyn laskennallinen määrittäminen normaaleista standardimenetelmistä poikkeavaa tarkempien menetelmien soveltamista. Tähän tarkoitukseen Lappeenrannan yliopistossa LUT:ssa kehitetty 4R-menetelmä näyttää toimivalta ja siitä löytyä tarkempi kuvaus mm. Hitsaustekniikkalehden artikkelista 3/2018. Menetelmää voidaan käyttää esim. kuvan 7 mukaisesti havainnollistamaan eri teräksien väsymiskestävyttä erilaisissa jäännösjännityksen ja ulkoisen kuormituksen olosuhteissa.

Ilhanteellinen lujan teräksen käyttöä suosiva kuormitus voisi olla sellainen, jossa kuvassa 6 esitetyssä kuormitushistoriassa olisi yksi tai muutama suuri yksittäinen maksimikuormitus, joka jo vaurioittaisi matalalujuuk-



Kuva 8. Tuotannon tehostaminen ja laadun nostaminen tuotannossa digitaalisen suunnittelun avulla. Kuvassa materiaalin valinnan ja väsymismitoituksen osio.

sisestä teräksestä tehdyn rakenteen ja näin ollen olisi peruste käyttää lujempia teräksiä. Lisäksi rakenteelta voitaisiin vaatia myös pitkä kestoikää, eli normaali käyttökuormitus olisi melko pieniamplitudista ja jännityssuhde olisi noin nolla. Kun samalla rakenteen kriittisiin detaljeihin olisi paikallisesti luotu suuri puristusjäännös, takaisi se rakenteelle lujasta teräksestä tehtynä pitkän kestoian. Tällaisia kuormitusilanteita esiintyy runsaasti erilaisten teräsrakenteiden käytännön sovelluksissa.

Edistyneen väsymismittausmenetelmän integrointi rakenteen suunnittelussa tarvittaviin CAD-FEM-työkaluihin luo mahdollisuuden tehokkaaseen väsymislaskentaan ja on perusta suunnittelun digitaalisesta integroinnista. Kuvassa 8 on esitetty idea LUT:ssa kehitteillä olevasta digitaalisuutta hyödyntävästä suunnittelutyökalusta, jolla koko tuotannossa tarvittava informaatio materiaalin valinnasta valmistukseen ja edelleen loppukäytön seurantaan ja jopa kierrätykseen saakka saadaan yhteen dataketjuun.

Tulevaisuudessa suunnittelu ja valmistus integroituvat siten, että suunnittelu sisältää sekä konstruktiivisen että valmistusteknisen suunnittelun. Tästä syntyvä digitaalinen suunnitteludata käännetään konepajassa toimivia laitteita ja robotteja ohjaavaksi koodiksi siten, että työvaiheiden perättäisyys (leikkaus, muovaus, koneistus, hitsaus, jälkikäsittelyt, tarkastus, asennus, etc.) hoituvat

asianmukaisessa järjestyksessä automaattisesti. Tämä asettaa suunnitteluun uusia haasteita ja ajaa suunnittelun ja perinteisen pajaosaamisen yhteistyöhön, koska kaikki rakenteen geometriaan ja valmistukseen liittyvä informaatio on oltava samassa tuotanto ohjaavassa datassa. Lisäksi tarvitaan nykyistä yksityiskohtaisempi suunnittelu, koska kaikki ohjaus pitää olla pienintäkin detaljia myöten digitaalisessa muodossa. Toisaalta epäkuranttia tuotantoa aiheuttavat inhimilliset väärikäsitykset ja tulkintojen mahdollisuudet eliminoiduvat. Laatusaio voidaan nostaa, koska käsin tehdyn korvaaminen robotilla tai mekanisoidusti pienentävät laatu vaihtelua ja mahdollistavat hajonnan pienemisen kautta korkeamman laatusaion. Myös laatusaio voidaan parantaa optimallisilla valmistusparametreilla.

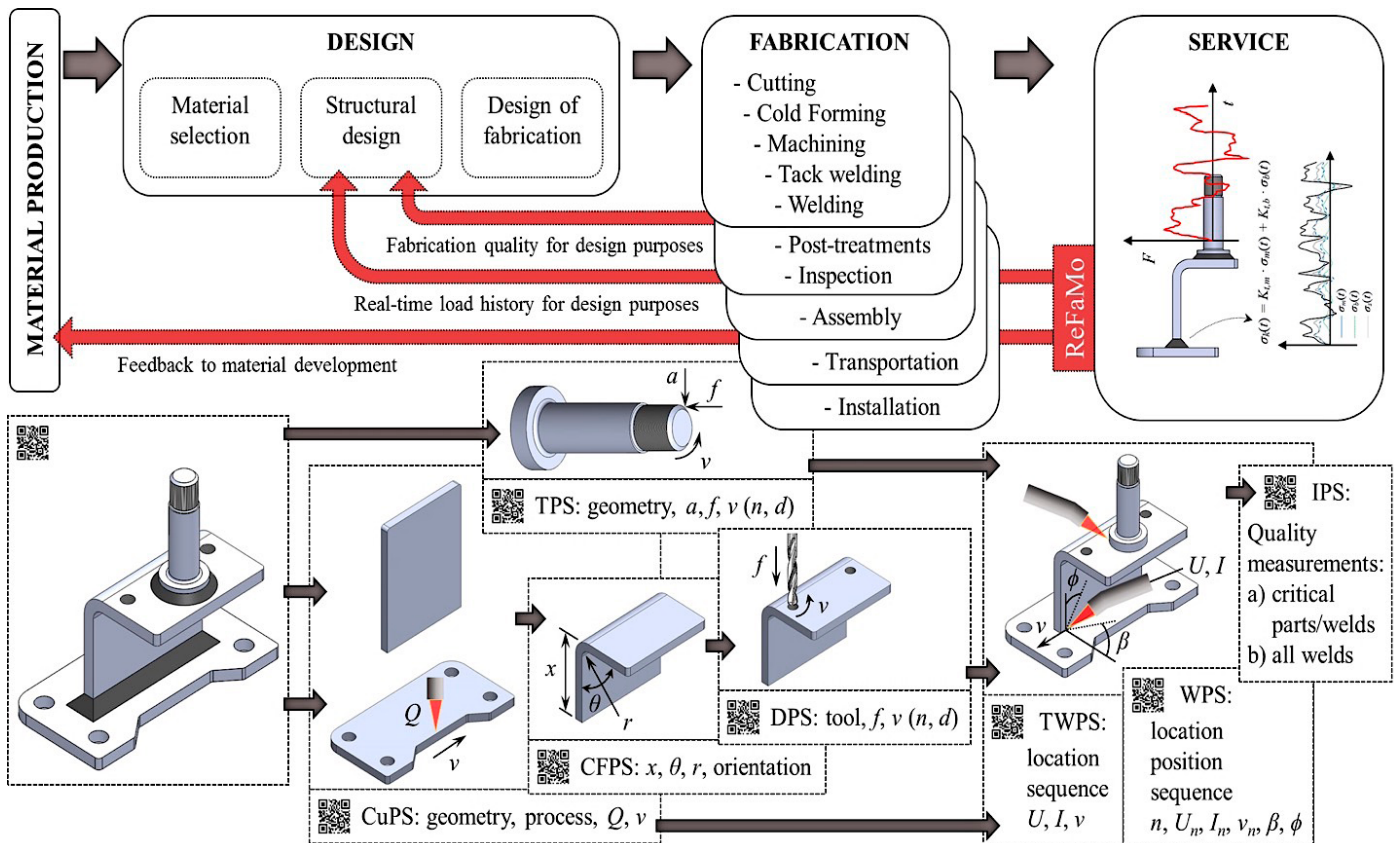
Nämä kaksi tekijää aiheuttavat jo merkittävän parannuksen esim. hitsaustuotannon ulosmittavaan laatuun, ja tämä voidaan hyödyntää myös mitoituksessa esim. lujemman teräksen parempana väsymiskestävyytenä tai jälkikäsittelytarpeen poistumisella. Kuvassa 9 on esitetty erään kappaleen digitaalinen tuotanto materiaalinvalinnasta käytönaikaiseen seurantaan ja sieltä saatavan reaaliaikaisen takaisinkytkennän hyödyntämiseen suunnittelussa ja ennakoivassa kunnossapidossa. LUT:ssa kehitetään tällaista järjestelmää ja vaikka kokonaisuus on vielä keskeneräinen, ketjun osavaiheita voidaan

hyödyntää jo nyt. Joka tapauksessa tämä tulee olemaan merkittävä toimintamalli tulevaisuudessa tuotteittemme kilpailukyvyyn ja osatarkaisu päteväen työvoiman saatavuuteen.

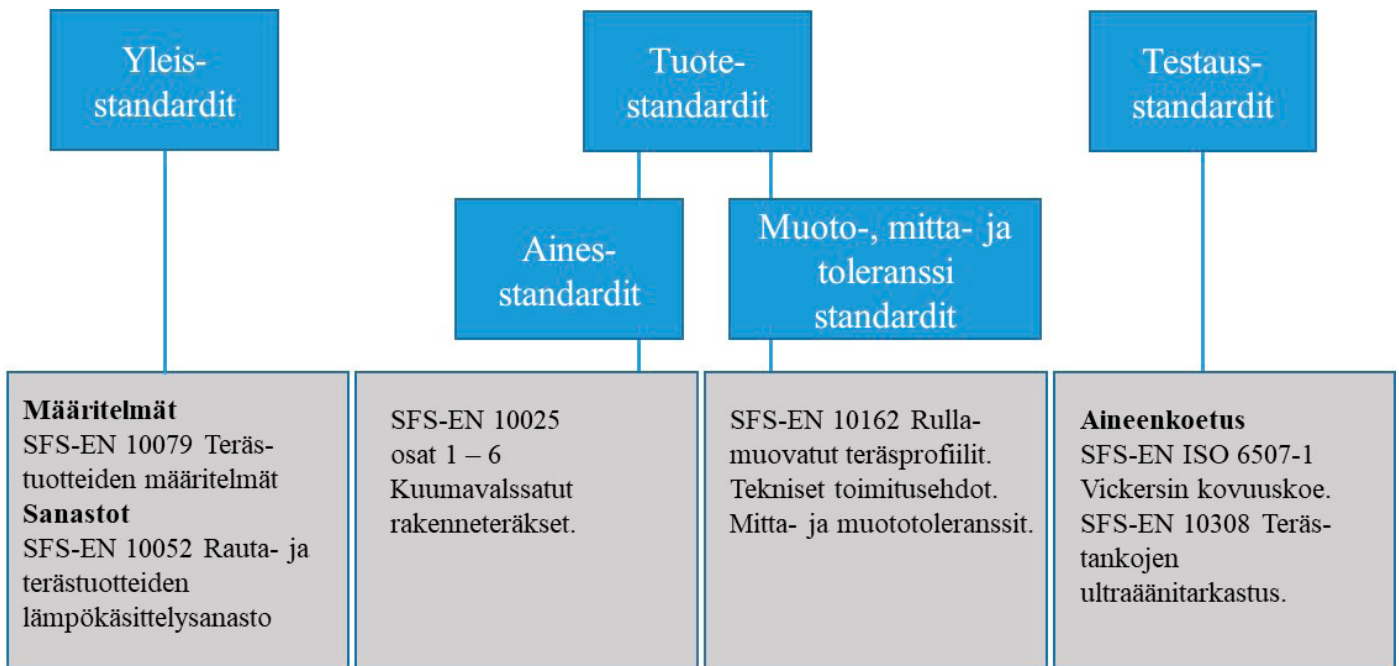
Standardisoinnista

Standardisointi on yhteisten sääntöjen laatimista helpottamaan viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardi on julkaisu, joka on kaikkien saatavilla ja se on standardisoinnista huolehtivan viranomaisen, järjestön tai muun tunnustetun elimen hyväksymä. Standardit valmistellaan yhteistyössä ja valmistelussa pyritään yhteisymmärrykseen. Standardi on tarkoitettu yleiseen ja toistuvaan käyttöön. Toisin kuin lakien ja asetusten soveltaminen, standardien käyttö on vapaaehtoista.

Terästeollisuus ja teräksen jatkojalostajat eivät voi tänä päivänä toimia ilman standardien noudattamista ja huomioonottamista. Tämä pätee kansalliseen ja kansainväliseen toimintaan. Pelkkä EN-tason standardien tunteminen ei usein riitä, vaan yritys joutuu toiminnassaan noudattamaan myös amerikkalaisia ASME-koodeja ja -standardeja, näin varsinkin painelaittepuolella. Euroopan alueella toimittaessa vaaditaan useimmiten harmonisoitujen eli yhdenmukaistettujen standardien käyttöä.



Kuva 9. Esimerkki digitalisoidusta tuotannosta käytönaikaiseen takaisinkytkentöineen.



Kuva 10. Terästen standardisoinnin rakenne.

Standardisointi kattaa koko terästuotteen elinkaaren eli materiaalin suunnittelun, valmistuksen, tarkastuksen, korjaukset ja muun ylläpidon. Teräsiin liittyviä standardeja on esitelty kuvassa 10. Keskeisiä terässtandardeja ovat ainestandardit. Ainestandardilla tarkoitetaan terästuotteen teknisiä vaatimuksia, esimerkiksi kemiallinen koostumus, mekaaniset ominaisuudet ja testaus.

Suurille konepajoille standardien käyttö ja noudattaminen ovat itsestäänselvyys. PK-sektorilla haasteita tuo jo se, että standardien hankinnan ja päivittämisen kustannukset ovat kohtalaisen suuria liikevaihtoon suhteutettuna. Toinen käytännössä havaittu haaste on standardien "lukutaito" eli se kuinka nopeasti ja ylipäättänsä löytääkö henkilö standardista siinä ilmoitetut olennaiset vaatimukset.

Suomalaiset konepajat tekevät paljon painelaitteiden ja kantavien teräsrakenteiden projektitoimituksia ja tuotteita. Näillä tuotesektoreilla suunnittelua ja valmistusta ohjaavat painelaitelaki ja rakennustuoteasetus. Nämä puolestaan velvoittavat vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen ja harmonisointujen (hEN) standardien käyttöön. Kantavien teräsrakenteiden valmistusta ohjaavaan standardiin SFS-EN 1090 (2018) liittyy yli 100 muuta harmonisoitua standardia, joten tarvittavien ja käytettävien dokumenttien määrä on väistämättä suuri.

Erittäin lujien terästen käyttö on standardisoinnin näkökulmasta vielä haasteellista, koska esimerkiksi SFS-EN 1090-2:2018 ja siihen liittyvä suunnittelua ohjaava standardisarja Eurokoodi 3 eivät hyväksy yli S700-lujuusluokan (myötölujuus väh. 700 MPa) terästen käyttöä kantavissa teräsrakenteissa. Lujien terästen käyttöön liittyvät lisästandardit määrätään standardi EN 1993-1-12

on revisioitavana ja oleva prEN 1993-1-12 esistandardi laajentaa suunnittelu säännöt koskemaan rakenneteräksiä aina S960-lujuusluokkaan saakka. Koneissa ja laitteissa tällaisia rajoituksia ei ole, mikä mahdollistaa mm. myötölujuudeltaan 1100 ja 1300 MPa olevien kuumavalssattujen terästen käytön mm. mobiilinstuureissa. Näille teräksille ei ole vielä ainesstandardia, kuten ei myöskään kulutusteräksille.

Standardien uusiminen ja revisointi tuo oman haasteensa metallialan toimintaan nyt ja tulevaisuudessa. Uudet teknologiat ja standardit päivittyvät tuotestandardeihin usein vuosien viiveellä. Tästä hyviä esimerkkejä ovat digitaalinen röntgenkuvaus ja ISO 9601-1 standardin mukainen hitsaajan pätevyyskoe. Digiröntgenkuvauksen kuvaustekniikat määrittävä standardi SFS-EN ISO 17636-2 (Röntgen- ja gammakuvausten suorittaminen digitaalitekniikalla) astui voimaan 4.3.2013, mutta suuri osa tuotestandardeista (mm. SFS-EN 13445-5:2014, SFS-EN 12952-6:2011, SFS-EN 14015:2005 ja SFS-EN 15001-1:2010), joissa edellytetään hitsiliitoksen NDT-tarkastusta radiografisilla menetelmillä ei salli ko. standardin mukaisista menetelmistä käytettäväksi, vaan ainoastaan perinteisen filmitekniikan (SFS-EN ISO 17636-1 Röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla). Hitsaajien pätevyyskoestandardin suhteen tilanne on sama, useiden tuotestandardien vaatimusten perusteella hitsaajia pätevoidetään edelleen 9.11.2015 kumotun SFS-EN 287-1 standardin mukaisesti.

Hitsauksen puolella painopiste on kansainvälisessä standardisoinnissa. Tämä tarkoittaa sitä, että komitea ISO/TC 44 laatii standardit, jotka sitten hyväksytään eurooppalaisiksi standardeiksi komiteassa CEN/TC 121. Viime vuosina Euroopassa voimaan

tulleita hitsauksen ISO standardeja ovat mm. SFS-EN ISO 9606-1 (Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset), SFS-EN ISO 3581 (Hitsausaineet. Hitsauspuikot ruostumattomien ja tulenkestävien terästen puikkohitsaukseen. Luokittelu) ja SFS-EN ISO 17636-1 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla).

Timo Kauppi¹, Timo Björk², Severi Anttila³, Jukka Siltanen³, Tuomas Skriko², Antti Ahola², ja Jukka Kömi⁴

¹ Oulun yliopisto, Materiaali- ja Konetekniikan yksikkö ja Lapin Ammattikorkeakoulu

² Lappeenrannan Teknillinen yliopisto, Teräsrakenteiden laboratorio

³ SSAB Europe Oy

⁴ Oulun yliopisto, Materiaali- ja Konetekniikan yksikkö

timo.a.kauppi@oulu.fi

timo.bjork@lut.fi

severi.anttila@ssab.com

jukka.siltanen@ssab.com

tuomas.skriko@lut.fi

antti.ahola@lut.fi

jukka.komi@oulu.fi