
MATERIAALINVALINNAN VAIKUTUS TUOTTEEN KONSTRUKTIOON

Ari-Pekka Suni

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala	
Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma	
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t)	
Ari-Pekka Suni	
Työn nimi	
Materiaalinvalinnan vaikutus tuotteen konstruktion	
Päiväys	10.5.2011
Sivumäärä/Liitteet	51 + 5
Ohjaaja(t)	Yrityksen yhdyshenkilö
Tekn. lisensiaatti, lehtori Mika Mäkinen	Tuotantopäällikkö Reijo Hynynen
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)	
Farmi Forest Oy	
Tiivistelmä	
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää, miten materiaalinvalinta vaikuttaa tuotteen konstruktion eli minkälaisia ja kuinka suuria muutoksia käytettävän teräslaadun mahdollinen vaihtaminen toiseen aiheuttaa tuotteeseen. Tavoitteena oli saada tietoa, jota voitaisiin käyttää edullisinta käyttötarkoituksiin sopivaa materiaalia valittaessa. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia materiaalinvaihdon vaikutusta käytettäviin materiaalinimikkeisiin ja suunnitella materiaalinimikkeiden vertailu- ja hallintatyökalu.</p> <p>Työ aloitettiin esiselvityksellä, jonka perusteella määritettiin, mikä materiaalin käyttöominaisuuksista vaikuttaa eniten tuotteen konstruktion. Seuraavaksi valittiin kriittisimmät tuotteet, joissa materiaalin vaihtaminen aiheuttaisi suurimmat muutokset. Tämän jälkeen selvitettiin materiaalinvalinnan vaikutukset konstruktion tutkimalla kyseisten tuotteiden tuoterakenteita ja 3D-malleja. Lisäksi tutkittiin valinnan vaikutus materiaalinimikkeisiin.</p> <p>Tuloksena saatiin tarkistuslista, josta nähdään muutoksia vaativat detaljit ja asiat, joihin pitää kiinnittää huomiota sekä eri teräslaadun mukaiset taivutussäteet. Myös materiaalinimikkeiden uusi nimeämistapa saatiin selvitettyä. Tuloksena saatiin myös Excel -pohjainen materiaalinimikkeiden vertailu- ja hallintatyökalu, jolla voidaan helpottaa yrityksessä käytettävien materiaalien valintaa suunnittelussa sekä nimikkeiden hallintaa. Lisäksi yritys sai kaipaamaansa materiaalitietämystä, jota voidaan käyttää hyväksi tulevissa materiaalin valinnoissa.</p>	
Avainsanat	
materiaalit, materiaalitekniikka, konepajatekniikka, levytyö, särmäys	
Luottamuksellisuus	
julkinen	

Field of Study			
Technology, Communication and Transport			
Degree Programme			
Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s)			
Ari-Pekka Suni			
Title of Thesis			
The Effect of Material Selection to Product Construction			
Date	May 10, 2011	Pages/Appendices	51 + 5
Supervisor(s)		Company Supervisor	
Mr Mika Mäkinen, Lecturer (Lic. Tech.)		Production Manager Reijo Hynnen	
Project/Partners			
Farmi Forest Oy			
Abstract			
<p>The aim of this project was to examine how material selection affects product construction, i.e. what are the effects to product when replacing currently used steel grade with another one and how significant the effects are. The intention was to gather information that contributes material selection in future. The intention was also to examine how replacing material affects material designations and, finally, to design a tool for comparing and managing those designations.</p> <p>The process was started with a clarification to determine which material property has the biggest effect to product construction. After this, the most critical products were selected in which the material change would cause the biggest changes. Then the effects of material selection were examined from the product structures and 3D-models. The effect of the choice to material designations was examined as well.</p> <p>As a result of this project there is a checklist where details requiring changes and things requiring attention can be seen and also bending radius in accordance with different steel grades. In addition to this, the naming practice of new material designations was determined. Finally, an Excel-based tool for comparing and managing material designations was implemented. It will facilitate material selection and managing material designations.</p>			
Keywords			
materials, material technology, engineering works technology, sheet metal work, edging			
Confidentiality			
public			

ALKUSANAT

Opiskelu Savonia-ammattikorkeakoulussa on ollut erittäin antoisaa aikaa. Kuluneet neljä vuotta ovat menneet nopeasti koulun järjestämien haasteiden parissa. Haluan erityisesti kiittää opiskelutovereitani ja ystäviäni Milla-Riina Turusta ja Pirkka Ulmasta, kun jaksoitte ahertaa nämä vuodet kanssani. Meillä oli loistava tiimi.

Opinnäytetyöni ohjaajaa tekn. lisensiaatti, lehtori Mika Mäkistä tahdon kiittää työn aikana saamastani tuesta ja hyvistä neuvoista. Kiitokset myös toiselle ohjaajalleni, tutkimuspäällikkö Esa Jääskeläiselle.

Kiitokset myös Farmi Forest Oy:n työntekijöille, jotka olivat positiivisella asenteella edesauttamassa työni edistymistä. Erityiset kiitokset tuotantopäällikkö Reijo Hynyselle mahdollisuudesta tehdä tämä työ sekä avusta työni aikana.

Kuopiossa 10.5.2011

Ari-Pekka Suni

SISÄLTÖ

ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn lähtökohdat	8
1.2 Materiaalinvalinnan ongelma	8
1.3 Työn tarkoitus ja tavoitteet	9
2 TOIMEKSIANTAJA	10
2.1 Farmi Forest Oy	10
2.2 Tuotteet	10
2.2.1 Juontolaitteet	10
2.2.2 Hakkurit	11
2.2.3 Kuormaimet	12
2.2.4 Metsäperävaunut	13
3 MATERIAALIEN KÄYTTÖOMINAISUUDET	14
3.1 Vaatimukset	14
3.1.1 Toimintojen vaatimukset	14
3.1.2 Käyttöolosuhteiden vaatimukset	15
3.1.3 Valmistuksen vaatimukset	15
3.1.4 Taloudellisuusvaatimukset	15
3.2 Ominaisuudet	16
3.2.1 Lujuusominaisuudet	16
3.2.2 Kovuus	20
3.2.3 Sitkeys	21
3.2.4 Hitsattavuus	23
3.2.5 Särmättävyys	25
3.2.6 Lastuttavuus	27
4 MATERIAALIMERKINNÄT JA RYHMITTELY	28
4.1 Nimikkeiden luokittelu	28
4.2 Käyttötarkoitukseen ja mekaanisiin tai fysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvat nimikkeet	29
4.3 Kemialliseen koostumukseen perustuvat nimikkeet	34
5 MATERIAALINVALINNAN VAIKUTUKSET	37
5.1 Esiselvitykset	37
5.2 Tiedon keräys	37
5.3 Teräslaatujujen särmättävyys	37

5.4	Valmistettavuus	39
5.5	Vaikutukset konstruktion	40
5.6	Vaikutukset materiaalinimikkeisiin	44
5.7	Iskusitkeysluokan valinta.....	44
6	MATERIAALINIMIKKEIDEN VERTAILU- JA HALLINTATYÖKALU.....	46
7	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	49
7.1	Tulokset.....	49
7.2	Johtopäätökset	49
	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET	

Liite 1 Taivutussäteen muutoksen aiheuttamat tarkastelukohteet konstruktioissa

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohdat

Farmi Forest Oy on mukana Tekesin rahoittamassa tuotantokonseptit kehitysohjelmassa. Yritysprojektin kokonaistavoitteena on saada Farmi Forest Oy:lle hyvä tietämys ja valmius kehittää sellaisia palveluja sisältäviä tuotekonsepteja, liiketoimintamalleja sekä teknologista kyvykkyyttä, joiden avulla yritys voi kehittyä Euroopan johtavaksi työlaitevalmistajaksi sekä tuotekonsepteihin liittyvien elinkaaripalveluiden tuottajaksi vuoteen 2013 mennessä. (Tekes 2011.)

Kirstyvän kilpailun vuoksi yritysten on kehitettävä jatkuvasti toimintaansa tehokkaammaksi ja etsittävä kustannussäästöjä. Ongelmat korostuvat siirrettäessä tuotantoa alihankkijoille mm. ulkomaille. Tässä työssä haetaan ratkaisua tuotesuunnittelussa ilmeneviin materiaalinvalintaongelmiin.

Materiaalinvalintaprosessi ja -kriteerit tulisi saada yhtenäisiksi kaikille toimijoille toimipaikasta riippumatta. Alihankkijalla tulisi olla mahdollisuus käyttää edullisempia materiaaleja siten, että materiaalit kuitenkin täyttävät annetut vaatimukset. Materiaali tulisi valita kohteen vaatimusten mukaan siten, että vaativiin käyttöolosuhteisiin valitaan ominaisuuksiltaan parempi materiaali. Vähemmän vaativaan kohteeseen voidaan valita ominaisuuksiltaan riittävä edullisempi materiaali.

1.2 Materiaalinvalinnan ongelma

Farmi Forestilla on käytetty pääasiassa Ruukki Oy:n ja Ovako Oy:n materiaaleja mm. niiden erinomaisen laadun ja toimitusvarmuuden vuoksi. Näiden valmistajien kauppanimikkeitä käytetään kaikissa tuoterakenteissa. Ongelmaksi muodostuu se, että materiaalin tilaajan on käytettävä juuri kyseisellä kauppanimikkeellä olevaa materiaalia. Esimerkiksi alihankkijat eivät voi valita edullisempaa vastaavaa materiaalia, koska valmistuspiirustuksissa on kauppanimikkeet, joiden mukaan niiden on tehtävä materiaalin hankintapäätökset.

Materiaalimerkinnot tulee mahdollisuuksien mukaan saattaa uusimpien standardien mukaiseksi niin, että alihankkijat voivat valita vaatimukset täyttävistä teräksistä edullisimman. Tästä kuitenkin saattaa aiheutua uusi ongelma. Standardi antaa teräkselle vain vähimmäisvaatimukset, jotka sen on täytettävä. Tällä hetkellä käytetyt teräkset osittain ylittävät nämä vaatimukset esim. särmättävyydeltään. Esimerkiksi tällä hetkellä käytettävä Ruukki Laser 355 MC -teräslevy on erittäin hyvin särmättävää ja sitä voidaan särmätä pienemmällä taivutussäteellä kuin vastaavaa standardin mukaista hyvin särmättävää S355J2C+N-terästä. Jos jotain muuta standardin vaatimukset täyttävää vastaavaa terästä käytetään, särmäyksessä käytettävät pyöristyssäteet kasvavat huomattavasti nykyisestä. Tällöin voidaan joutua muuttamaan tuotteiden konstruktiota ja tästä aiheutuisi huomattavia kustannuksia.

1.3 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Työn tarkoituksena on selvittää tällä hetkellä käytettävät materiaalit tuoterakenteista sekä se, mitä muutoksia mahdollinen materiaalin vaihto aiheuttaa tuotteiden konstruktion ja käytettäviin materiaalinimikkeisiin. Tarkoituksena on myös lisätä henkilöstön materiaalitietoutta, jota voitaisiin mahdollisesti käyttää edullisempien materiaalien valinnassa.

Lisäksi työn tavoitteena on tehdä toimeksiantajalle materiaalinimikkeiden vertailu- ja hallintaohjelma, joka helpottaisi nykyisten, tuotenimikkeillä olevien materiaalien vaihtamista vastaaviin standardinimikkeillä oleviin materiaaleihin. Ohjelman tulisi olla yksinkertainen ja kevyt, jotta se olisi helppokäyttöinen eikä käyttäisi paljon tietokoneen resursseja. Ohjelman pohjaksi otettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelma, jotta voidaan varmistaa yhteensopivuus alihankkijoiden käyttämien ohjelmien kanssa.

2 TOIMEKSIANTAJA

2.1 Farmi Forest Oy

Vuonna 1962 perustettu Farmi Forest Oy on perinteikäs maataloustraktoreihin liitetävien työkoneiden kehittäjä ja valmistaja, jonka rekisteröity tuotemerkki on FARMI. Tuotevalikoimaan kuuluvat hakkurit, puutavarakuormaimet, metsäperävaunut, juontolaitteet sekä klapikoneet. (Farmi Forest Oy 2008.)

Viennin osuus liikevaihdosta on yli 80 %, ja FARMI-tuotteita viedäänkin kaikille mantereille yli 40 maahantuojan välityksellä. Nykyiset päämarkkina-alueet ovat Eurooppa ja Pohjois-Amerikka. (Farmi Forest Oy 2008.)

2.2 Tuotteet

Juontolaitteet, metsäperävaunut, puutavarakuormaimet, klapikoneet ja hakkurit muodostavat FARMI-tuoteperheen. Kaikki Farmi Forestin tuotteet ovat traktorikiinnitteisiä ja saavat pääsääntöisesti käyttövoimansa traktorista. Tuotteilla normaalin maataloustraktorin käyttöaluetta on laajennettu metsänhoitoon ja niitä käyttävät myös urakoitsijat. (Farmi Forest Oy 2008.)

2.2.1 Juontolaitteet

Juontolaitteilla korjataan puuta traktorin avulla. Ne ovat parhaimmillaan vaikeassa maastossa, esim. jyrkissä rinteissä ja harvennuksilla, joissa halutaan välttää korjuuvaurioita. Vinssi säästää ympäristöä, koska sillä voidaan korjata puut jopa 130 metrin päästä. Tällöin voidaan vähentää traktorilla ajoa maastossa. (Farmi Forest Oy 2008.)

Puut kuljetetaan vetämällä siten, että osa runkojen painosta kohdistuu maahan (kuva 1). Vetovoimaa laitteissa on 3,5–8,5 tonnia. Juontolaitetta käytetään manuaalisesti, hydraulisesti tai radio-ohjauksella. (Farmi Forest Oy 2008.)

Juontolaitteessa on perälevy, jota käytetään tukena vinssiä käytettäessä. Se myös tukee puita juonnon aikana, ja sitä voidaan käyttää puskulevynä puita pinottaessa. (Farmi Forest Oy 2008.)



KUVA 1. Juontolaite toiminnassa (Farmi Forest Oy 2008)

2.2.2 Hakkurit

Hakkurilla haketetaan puuta energia- tai maisemointihakkeeksi. Haketettava puu-aines voi olla risuja, lautta tai kokopuuta, aina 380 mm:n halkaisijaan asti. (Farmi Forest Oy 2008.)

Kaikki Farmin hakkurit ovat ns. laikkahakkureita, joissa pyörivään roottoriin kiinnitetyt terät leikkaavat puun hakkeeksi (kuva 2). Haketettava puu syötetään ja leikataan hakkuriin nähden vinosti, jolloin tehontarve on alhainen. Haketettavan materiaalin itsesyöttö perustuu vinoon syöttökulmaan ja terien oikeaan muotoiluun ja se mahdollistaa hakkurin käytön ilman hydraulista syöttölaitetta. Leikkaavien terien jälkeen materiaali iskeytyy lisäteriin, jotka murskaavat hakepalat, ja ennen ulospuhallusputkeen joutumistaan hake törmää risunmurskaimeen tai tehomurskaimeen, jotka varmistavat hyvän lopputuloksen. Muovia hakettaessa haluttu palakoko saadaan aikaan seulan avulla. (Farmi Forest Oy 2008.)

Puu syötetään hakkuriin käsin tai kourakuormaimella. Hakkuri voi olla lisäksi varustettu hydraulisella syöttölaitteella sekä teräksisellä syöttökuljettimella, joka helpottaa lyhyen tavarin, risujen ja hakkuutähteiden hakettamisessa. (Farmi Forest Oy 2008.)



KUVA 2. Käsisyöttöinen hakkuri (Farmi Forest Oy 2008)

2.2.3 Kuormaimet

Kourakuormaimia voidaan käyttää monissa erilaisissa käyttökohteissa: metsäperävaunuissa, hakkurikäytössä, maantiekuljetuksissa, maatilataloudessa sekä kiinteissä asennuksissa (kuva 3). Kuormaimen kourat voidaan muuntaa lisävarusteilla tarpeen mukaan rehukouraksi tai maakauhaksi. Maksimiulottuvuus malleittain on 6,7–8,5 m ja maksimikuorma 705–1205 kg. (Farmi Forest Oy 2008.)



KUVA 3. Kourakuormain toiminnassa (Farmi Forest Oy 2008)

2.2.4 Metsäperävaunut

Farmin metsäperävaunujen mallit jaotellaan vuodessa kuljetettavan puumäärän mukaan. Pienin malli on tarkoitettu alle 1000 m³/v ja suurin malli 20 000 m³/v kuljetuksiin. Perävaunujen kantavuudet ovat 9–12 t. (Farmi Forest Oy 2008.)

Farmin metsäperävaunut ovat yksipalkkirunkoisia, ja ne on varustettu eteen- ja taaksepäin keventävillä telipyörästöillä sekä alas laskeutuvilla tukijaloilla. Perävaunuja on myös saatavana vetävillä pyörillä varustettuna. Vetotapa on joko kitkarullaveto tai hydraulinen napaveto (kuva 4). (Farmi Forest Oy 2008.)



KUVA 4. Nelivetoinen metsäperävaunu (Farmi Forest Oy 2008)

3 MATERIAALIEN KÄYTTÖOMINAISUUDET

3.1 Vaatimukset

Materiaalinvalinta on osa tuotteen Suunnitteluprosessia. Tuotteen suunnittelun lähtökohtana ovat tuotteelta haluttavat toiminnot ja nämä toiminnot yhdessä laitteen käyttöolosuhteiden kanssa määrittelevät materiaailta vaadittavat ominaisuudet. Tuotteen tulee toteuttaa vaaditut toiminnot määrättyssä käyttöympäristössä suunnitellun käyttöönsä aikana ja materiaalin ominaisuuksien tulee vastata näihin vaatimuksiin. (Koivisto ym. 2006, 248–254.)

Eräs tärkeä materiaalinvalintaprosessin vaihe on vaatimusprofiilin laatiminen. Vaatimusprofiili sisältää kaikki tuotteeseen ja sen materiaaliin kohdistuvat käytön aikaiset vaatimukset. Näitä vaatimuksia aiheuttavat tuotteelta vaadittujen toimintojen lisäksi käyttöympäristö, valmistukseen käytettävät menetelmät sekä kustannusvaikutukset. Kun nämä kohdat on kartoitettu, saadaan tulokseksi lista vaatimuksia, joita tuotteen materiaalille on asetettava. (Koivisto ym. 2006, 248–254.)

3.1.1 Toimintojen vaatimukset

Koneen tai sen osan suunnittelussa selvitetään toiminnot, joita sen tulee tehdä. Materiaalin tulee täyttää näiden toimintojen vaatimukset. Samalle osalle voidaan asettaa monenlaisia vaatimuksia, jotka saattavat olla keskenään ristiriidassa, ja materiaalinvalinnan ratkaisee yleensä niistä määräävin. (Koivisto ym. 2006, 9–15.)

Tuote-erittely eli spesifikaatio sekä tuotteen suorituskyky määrittävät vaaditut materiaaliominaisuudet ja asiakastarve määrittelee konstruktion pohjana olevat perusvaatimukset. Osan tai tuotteen hankinta ja valmistus määritellään yksityiskohtaisesti spesifikaatiossa, johon materiaaliominaisuudet kuuluvat kiinteänä osana. (Airila ym. 2003, 89–99.)

3.1.2 Käyttöolosuhteiden vaatimukset

Ympäristön aiheuttamat vaatimustekijät materiaaleille voidaan jakaa kuuteen ryhmään:

- mekaaniset tekijät
- lämpötila
- kemiallinen ympäristö
- säteilytekijät
- sähköiset tekijät
- biologinen ympäristö.

Yleensä näistä tekijöistä useat vaikuttavat yhtä aikaa ja vähintään aika vaikuttaa aina kunkin nimetyn tekijän ohella. (Kotilainen & Rantanen 1981, 4.)

3.1.3 Valmistuksen vaatimukset

Laite on pystyttävä valmistamaan yleensä mahdollisimman halvalla, jotta se saadaan kaupaksi. Toiminta- ja ympäristövaatimusten lisäksi materiaalinvalintaan vaikuttaa valmistusmenetelmä. Tavallisimmat seikat, jotka vaikuttavat valmistusmenetelmän valintaan, ovat materiaali (lujuus, sitkeys, kovuus), kappaleen koko ja muoto, tuotantomäärä, kappaleen toleranssit, pinnanlaatu sekä käytettävissä olevat valmistusmenetelmät (omat, alihankinta). Verrattaessa eri materiaali- ja valmistusmenetelmävalintoja, valitaan useimmiten materiaali, joka soveltuu parhaiten senhetkiseen valmistuskapasiteettiin ja on myös taloudellinen. (Koivisto ym. 2006, 9–15.)

3.1.4 Taloudellisuusvaatimukset

Materiaalikustannukset voidaan ryhmitellä esim. seuraavasti: Suorat varastointikustannukset, joita ovat materiaalikustannukset, työkustannukset, lämpökäsittelykustannukset ja viimeistelykustannukset. Varastointikustannukset, joita ovat pääomakulut, käsittelykulut, testauskulut sekä materiaalin vaihtamisesta aiheutuvat kustannukset, joita ovat konstruktion muutoskulut sekä varastoinnin muutoskulut. (Koivisto ym. 2006, 9–15.)

3.2 Ominaisuudet

Koiviston ym. (2006, 248–254) mukaan vaatimusprofiilin pohjalta tehdään materiaali-kohtainen ominaisuusprofiili, joka kuvaa miten hyvin kukin materiaali vastaa vaatimusprofiilin vaatimuksia. Ominaisuusprofiilia laadittaessa vastataan kysymyksiin:

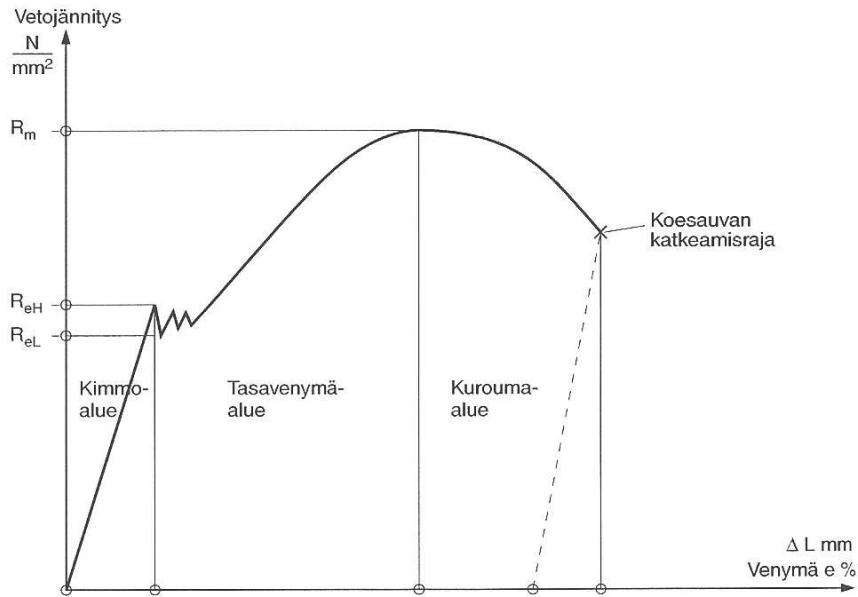
- Mitä ominaisuuksia asetetut vaatimukset edellyttävät?
- Mitkä ovat nämä ominaisuudet kunkin kyseeseen tulevan materiaalin tapauksessa?
- Mikä on kunkin ominaisuuden painoarvo tuotteen toiminnan kannalta?

Esimerkiksi myötö- ja murtolujuus, kovuus ja kimmomoduuli, voidaan esittää tarkkoina lukuarvoina, kun taas kulumiskestävyys, korroosionkestävyys ja usein myös valmistettavuuteen liittyvät materiaaliominaisuudet kuten särnävyys, eivät ole yksittäisesti mitattavia suureita eikä niitä myöskään ole standardeissa. Käytännössä valmistettavuusominaisuudet määritetään yleensä kokeellisesti, kuten esim. lastuttavuus- ja särnäyskokeen avulla. (Airila ym. 2003, 89–99.)

3.2.1 Lujuusominaisuudet

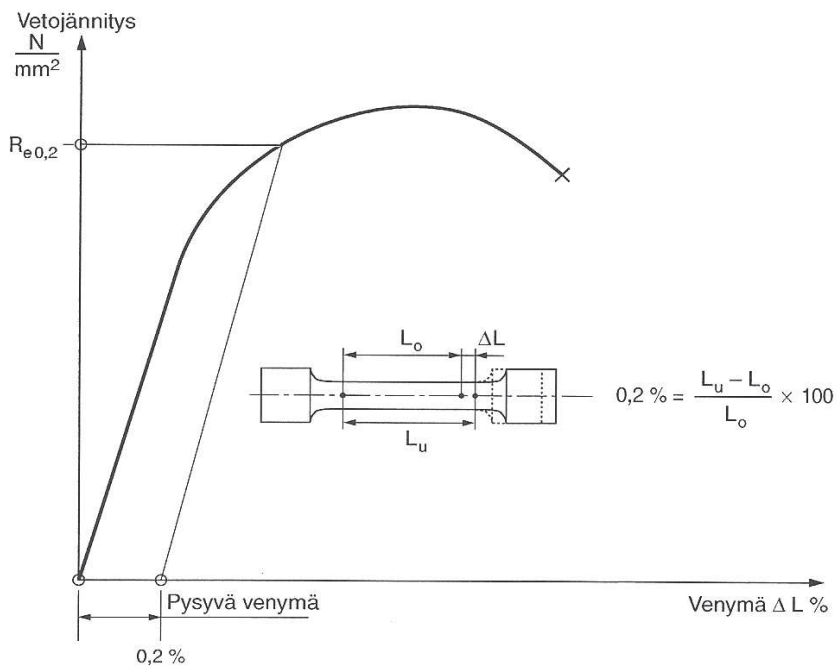
Lujuudella tarkoitetaan metallien kykyä kestää ulkoisten ja sisäisten kuormitusten aiheuttamia veto- tai puristusjännityksiä. Metallilta edellytetään väsymislujuutta jos rakenteeseen kohdistuu vuorottain veto- ja puristusjännityksiä eli dynaamista kuormitusta. (Lepola & Makkonen 2000, 44.)

Metallisten materiaalien lujuus testataan yleensä vetokokeella, jossa yksiakselisen vedon alaisena mitataan tavallisesti myötöraja (R_{eH} , R_{eL} , $R_{p0,2}$), murtolujuus (R_m), murtovenymä (A) ja murtokurouma (Z). Lisäksi vetokokeella voidaan mitata tasavenymä (A_g), muokauslujittumiseksponentti (n) sekä kimmomoduuli (E). (Kotilainen & Rantanen 1981, 12.)



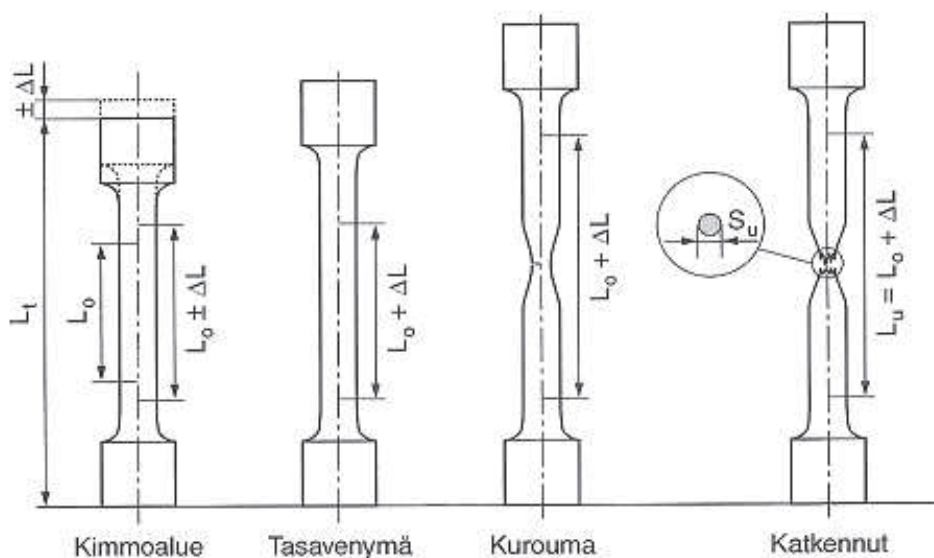
KUVA 5. Niukkaseosteisen teräksen jännitys-venymäpiirros (Lepola & Makkonen 2000, 46)

Rakenneteräksistä ja pehmeäksi hehkutetuista teräksistä, joilla myötöraja näkyy selvästi, voidaan mitata ylempi (R_{eH}) ja alempi myötöraja (R_{eL}) (kuva 5), mutta lujilla nuorrutusteräksillä, ruostumattomilla teräksillä ja ei-rautametalleilla mitataan se voima, jolla koesauvaan jää 0,2 %:n pysyvä venymä eli 0,2-raja ($R_{p0,2}$) (kuva 6). (Kotilainen & Rantanen 1981, 12.)



KUVA 6. 0,2-venymärajan ($R_{p0,2}$) määrittäminen vetokokeella metalliseokselle, jolla ei ole selvää myötörajaa (Lepola & Makkonen 2000, 47)

Jännitysvenymäpiirroksista voidaan erottaa kolme erilaista aluetta; kimmoalueella on voimassa Hooken laki. Jos kuormitus tässä vaiheessa poistetaan, sauva palautuu alkuperäiseen muotoonsa. Seuraavalla alueella sauva venyy tasaisesti, ja sitä kutsutaan tasavenymäalueeksi. Tällä alueella tapahtuu materiaalin muokkauslujittuminen. Viimeisellä alueella sauva venyy paikallisesti ja ohenee venymäkohdassaan, joten aluetta kutsutaan kurouma-alueeksi. Koesauvan käyttäytyminen kyseisillä jännitysvenymäpiirroksen alueilla näkyy kuvassa 7. (Koivisto ym. 2006, 17; Kotilainen & Rantanen 1981, 13.)



KUVA 7. Vetokoesauvan käyttäytyminen vetokokeen aikana (vrt. kuva 5) (Lepola & Makkonen 2000, 46)

Murtolujuus

Murtolujuus määritetään yhtälöllä

$$R_m = \frac{F}{S_0} \quad (3.1)$$

jossa F on vetokokeen suurin voima ja S_0 on sauvan alkuperäinen poikkipinta-ala (mm^2).

Joissakin erikoistapauksissa voi suunnitteluohjeissa olla suunnittelukriteerinä murtoraja, jolla pyritään ottamaan huomioon konstruktion varmuus murtumisen suhteen. Käytettäessä murtorajaa suunnitteluperusteena on aina tarkistettava myös myötö. (Kotilainen & Rantanen 1981, 14.)

Murtovenymä

Murtovenymä määritetään yhtälöllä

$$A = \frac{(L_u - L_0)}{S_0} \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

jossa L_0 on alkuperäinen mittapituus ja L_u on katkenneen sauvan mittapituus (mm).

Murtovenymää voidaan käyttää sitkeyden mittana arvosteltaessa materiaalin muodonmuutoskykyä, mutta haurasmurtumaominaisuuksista murtovenymä ei kerro mitään. Ainoastaan valuraudoilla pieni venymän arvo on osoituksena hauraasta käyttäytymisestä. (Kotilainen & Rantanen 1981, 14.)

Tasavenymä

Tasavenymä (A_g) on tärkein metallin sitkeyttä kuvaava vetosuure. Sillä tarkoitetaan sitä pysyvää venymää, joka koesauvassa on tapahtunut ennen paikallisen kuroutumisen alkamista. Sitä voidaan käyttää mittana muodonmuutoskykyä arvioidessa ja mitä suurempi arvo on sitä parempi muovattavuus. (Kivivuori 2008, 10; Kotilainen & Rantanen 1981, 14.)

Plastinen tasavenymä suurimmalla voimalla (A_g) lasketaan kaavalla:

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \cdot 100 \% \quad (3.3)$$

jossa L_e on venymämittarin mittapituus, m_E on jännitys-venymäkäyrän kimmoisen osan kulmakerroin, R_m on murtolujuus ja ΔL_m on pitenemä suurimmalla voimalla. Menettely sisältää venymämittarilla mitatun pitenemän määrittämisen suurimmalla voimalla voima-pitenemäkäyrästä sekä siitä vähennetyn kimmoisen venymän osuuden. (SFS-EN ISO 6892-1 2009.)

Murtokurouma

Murtokurouma määritetään yhtälöllä

$$Z = \frac{(S_0 - S_u)}{S_0} \cdot 100 \% \quad (3.3)$$

jossa S_u on kuroumakohdan poikkipinta-ala.

Murtokuroumaa voidaan pitää sitkeyttä kuvastavana tekijänä. Materiaalissa olevat epäpuhtaudet, kuonaisuus (lamellirepeily) yms. heijastuvat pienentyneenä kurouman arvona. (Kotilainen & Rantanen 1981, 14.)

Kimmomoduuli

Kimmomoduuli (E) kuvaa jännityksen ja muodonmuutoksen välistä riippuvuutta ns. kimmoisella eli täysin palautuvalla alueella ja se on materiaalivakio, jonka suuruuteen seostuksen, lämpö- tai pintakäsittelyn vaikutus on lähes merkityksetön. Rakenneosan jäykkyys on suoraan verrannollinen materiaalin kimmomoduuliin, mutta rakenteen jäykkyys riippuu myös poikkipinta-alan suuruudesta ja muodosta, joten kimmomoduulin muutoksen vaikutus voidaan korvata poikkipinnan mittoja ja geometriaa muuttamalla. (Airila ym. 2003, 89–99.)

Kimmomoduuli määritetään Hooken lain mukaan yhtälöllä

$$R = Ee \quad (3.3)$$

jossa R on jännitys, E on kimmomoduuli ja e suhteellinen venymä.

3.2.2 Kovuus

Kovuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä vastustaa pintaan painuvan kappaleen tunkeutumista. Materiaalin murtolujuus ja kovuus ovat metalleilla toisistaan riippuvia suureita ja niiden riippuvuussuhteet seostamattomille ja niukasti seostetuille teräksille on standardisoitu (EN 8-55, DIN 50150, ASTM E 140). (Airila ym. 2003, 89–99.)

Materiaalin kovuutta voidaan karakterisoida useilla menetelmillä, kuten esim. *Brinell* (HB), *Rockwell* (HR) ja *Vickers* (HV). Brinell soveltuu parhaiten pehmeäköiden materiaalien ja Rockwell kovien materiaalien testaukseen. Vickers-kovuus on ainoa menetelmä, joka soveltuu sekä pehmeiden että kovien materiaalien testaukseen. Kyseisten kovuusarvojen välillä ei ole mitään teoreettista yhteyttä, vaan ne ovat materiaali- ja tapauskohtaisia ja kokeellisesti aikaansaatuja. (Airila ym. 2003, 89–99.)

Kovuuden lisääminen parantaa liukuominaisuuksia ja kulumiskestävyyttä sekä lisää yleensä lujuutta mutta heikentää sitkeyttä ja muodonmuutoskykyä (Airila ym. 2003, 102).

3.2.3 Sitkeys

Sitkeydellä kuvataan materiaalin käyttäytymistä murtumistilanteessa ja sen mittana käytetään joko murtumahetkellä vallinnutta jännitystä, venymää tai murtumiseen kulunutta energiaa tietyissä koestusolosuhteissa (Airila ym. 2003, 89–99).

Haurasmurtuma

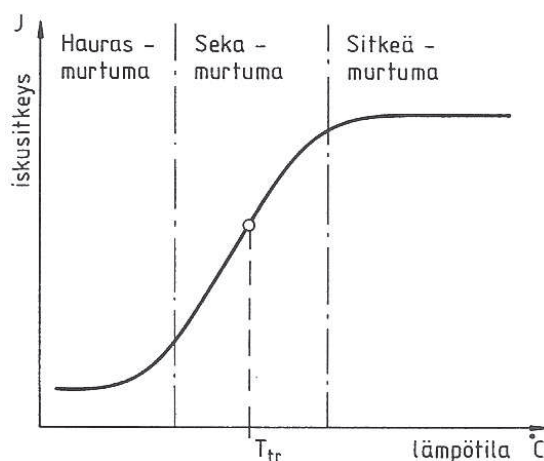
Haurasmurtumassa ei esiinny plastista deformaatiota. Se voi edetä hyvinkin pienen nimellisjännityksen vaikutuksesta ja johtaa äkilliseen rakenteen murtumiseen. Haurasmurtumaa ilmenee ferriittisillä teräksillä matalissa lämpötiloissa suurella kuormitussnopeudella ja silloin, kun jännitystila on moniakselinen. (Airila ym. 2003, 89–99.)

Sitkeä murtuma

Ennen sitkeää murtumaa tapahtuu aina pysyvää muodonmuutosta, jonka ansiosta murtuma voidaan yleensä havaita ajoissa. Yleissääntönä on, että lujuutta kohottavat tekijät alentavat materiaalin sitkeyttä ja ainoastaan materiaalin raekoon pienentäminen nostaa sekä lujuutta että sitkeyttä. (Airila ym. 2003, 89–99.)

Transitiolämpötila

Transitioalueella voi samassa lämpötilassa esiintyä toisistaan huomattavasti poikkeavia iskusitkeysarvoja. Tällä alueella murtuma on sekä ylä- että ala-alueen piirteitä sisältävä sekamurtuma. Kun lämpötila laskee, laskee myös iskusitkeysarvojen keskiarvo jyrkästi. Transitiolämpötila (T_{tr}) on tämän siirtymäalueen puolessa välissä. (Kuva 8) (Koivisto ym. 2006, 22.)



KUVA 8. Teräksen iskusitkeys-lämpötiläkäyrä ja sen kolme iskusitkeysaluetta (Koivisto ym. 2006, 22)

Teräsrakenneyhdistyksen (2008) mukaan transitiolämpötila määritellään lämpötilana, jonka vaikuttaessa:

- saavutetaan ennalta määritelty iskuenergia (esimerkiksi T_{27J} , T_{40J})
- saavutetaan puolet suurimmasta mahdollisesta energiasta ($T_{50\%}$)
- murtopinnassa on 50 % sitkeää murtumista (FATT 50: Fracture Appearance Transition Temperature, 50 % sitkeä murtuminen).

Iskusitkeys

Iskusitkeys ei ole materiaaliominaisuus, vaan se riippuu mm. kappaleen mitoista ja kuormitusnopeudesta. Hauraiden materiaalien lujuus tasaisen jatkuvan kuormituksen alaisena saattaa olla hyvinkin suuri, mutta kuormituksen muuttuessa iskumaiseksi, materiaali saattaa murtua nopeasti. Iskusitkeyttä huonontavista tekijöistä merkittävimpiä on korkea hiilipitoisuus. (Lepola & Makkonen 2000, 162.)

Kuormitusnopeuden kasvaessa myötöraja kasvaa, mutta kuormitusnopeus ei vaikuta juuri lainkaan kiderajalohkeilua aiheuttavaan jännitykseen. Myötörajan noususta aiheutuu, että transitiolämpötila nousee kuormitusnopeuden kasvaessa. Täten sekä kuormitusnopeuden kasvulla että lämpötilan laskemisella on haitallinen vaikutus iskusitkeyteen. (Teräsrakenneyhdistys 2008.)

Teräksen haurasmurtumistaipumusta mitataan yleisimmin Charpy V-sauvalla tehtävällä iskukokeella. Kokeessa mitataan sauvan murtamiseen kulunut iskuenergia lämpötilan funktiona (Taulukko 2). Rajaenergiana transitiolämpötilan määrittämisessä käytetään yleisimmin 27 J, mutta tämä ei ole yleispätevä, sillä vaadittava iskuenergia-arvo yleensä kasvaa teräksen myötörajan noustessa. (Kotilainen & Rantanen 1981, 18.)

Tuotteessa on käytettävä sitä paremman laatuluokan terästä mitä alempi sen käyttölämpötila on, mitä paksumpaa materiaalia hitsataan ja mitä vakavampia rakenteen rikkoutumisesta aiheutuvat seuraukset ovat. Parempi laatuluokka tehdään tehokkaammalla tiivistystavalla sekä vähentämällä teräksen epäpuhtauksia. (Koivisto ym. 2006, 134.)

Murtumissitkeys

Kuten aiemmin todettiin, iskukokeesta saatu transitiolämpötila ei ole vakio, vaan riippuu mm. koesauvan koosta, loven tyypistä ja iskunopeudesta. Tämän johdosta transitiolämpötila ei suoraan ennusta materiaalin käyttäytymistä todellisissa konstruktiois-

sa, joissa ainepaksuudet voivat olla suurempia ja alkusärö terävämpi kuin iskukoe-sauvassa. Aineen käyttäytymistä rakenteissa, joissa oletetaan olevan teräviä säröjä, kuten hitsausvirheitä, tutkitaan murtumismekaniikalla. (Koivisto ym. 2006, 23.)

Materiaalin murtamiseen tarvittavaa kriittistä jännitysintensiiteetikijän arvoa (K_{Ic}) kutsutaan *murtumissitkeydeksi*. Se on tärkeä parametri materiaalivalinnassa, sillä se ei riipu rakenteen dimensioista ja on siten ainevakio. Sitä käytetään paksujen kappaleiden haurasmurtuman arvioimiseen mutta se on käyttökelpoinen myös ohuiden kappaleiden haurasmurtuman arvioinnissa. (Koivisto ym. 2006, 23.)

3.2.4 Hitsattavuus

”Hitsattavuuden määrittämisessä standardin DIN 8528 mukaan, otetaan huomioon hitsattavan tuotteen kokonaisuus: rakenteelle asetetut vaatimukset, perusaineen ominaisuudet ja valmistuksen asettamat vaatimukset sekä rajoitukset. Hitsattavuus on sitä parempi mitä vapaammin hitsausmenetelmä voidaan valita, mitä vähemmän esivalmisteluja joudutaan tekemään ennen hitsausta sekä jälkikäsitteilyjä hitsauksen jälkeen”. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104.)

Suomen hitsausteknillinen yhdistys jaottelee hitsattavuuden seuraavasti:

Perusaineen hitsattavuus

”Metallista ainetta voidaan pitää hitsaukseen soveltuvana silloin, kun voidaan aikaansaada hitsausliitos, joka täyttää kulloinkin aineen kemiallisten, metallurgisten ja fyysikaalisten ominaisuuksien perusteella asetettavat vaatimukset” (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104).

Rakenteellinen hitsattavuus

”Rakennetta pidetään rakenteellisesti hitsattavana, kun perusaineesta valmistettu rakenneosaa pysyy rakenteellisen muotoilunsa perusteella toimimaan edellytetyissä käyttöolosuhteissa” (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104).

Valmistuksellinen hitsattavuus

”Rakenteen tai sen osan valmistuksellinen hitsattavuus on sitä parempi, mitä vähemmän valmistuksen määräämiä tekijöitä on otettava huomioon rakennetta suunniteltaessa” (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104).

Perusaineen hitsattavuuden arvosteluperusteita ovat mm. taipumus kuumahalkeamiin, kylmähalkeamiin ja vanhenemiseen sekä hitsisauman eri vyöhykkeiden sitkeysarvot. Kuumahalkeama syntyy keskelle hitsiä sen jäähtyessä ja kutistuessa. Lisäaineen lisäksi myös perusaineen koostumus vaikuttaa kuumahalkeamataipumukseen ja pahin kuumahalkeamaa aiheuttava aine teräksessä on rikki, joka suotautuessaan heikentää hitsin viimeiseksi jäähmettyvää kohtaa. (Koivisto ym. 2006, 129–130.)

Kylmähalkeama syntyy hitsin jäähtyessä jonkin matkan päähän hitsistä perusaineen puolelle mutta se voi syntyä myös hitsiaineeseen joko poikittain pinnan puolelle, pitkittäin juuren puolelle tai sularajalle. Kylmähalkeaman syynä on hitsisulaan joutunut vety sekä martensiitin muodostuminen. (Koivisto ym. 2006, 129–130.)

Hiilipitoisuus

Hiili pahentaa teräksen taipumusta kylmähalkeamiin, koska mitä suurempi on C-pitoisuus sitä kovempaa ja hauraampaa martensiitti on ja sitä suurempi myös tilavuuden kasvu. Seostamattoman teräksen sanotaan olevan hyvä, jos hiilipitoisuus on alle 0,18 % ja se saa olla korkeintaan 0,25 %. (Koivisto ym. 2006, 129–130; Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104.)

Hiiliekvivalentti

Hiiliekvivalentin (CE) avulla voidaan hitsattavan teräksen karkenevuutta määrittää laskennallisesti. Nykyisin yleisimmin käytetty kaava on IIW:n (*International Institute of Welding*) ja SFS-EN 10025-1 mukainen:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} \quad (3.4)$$

Kaavassa esiintyvät alkuaineet vaikuttavat teräksen karkenevuuteen ja kaava pätee vain hiili-, hiili-mangaani- ja mikroseostetuille teräksille, joissa hiilipitoisuus on enintään 0,16 %. Kokemusperäisesti on todettu, että teräs soveltuu hitsattavaksi huoneenlämmössä, kun CE on alle 0,40. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2006, 103–104.)

Hitsattavien rakenneterästen standardeissa kerrotaan hitsattavuutta huonontavien aineiden maksimipitoisuudet, joissa halvimpien rakenneterästen fosfori- ja rikkipitoisuudet saavat olla enintään 0,05 % (Koivisto ym. 2006, 129–130).

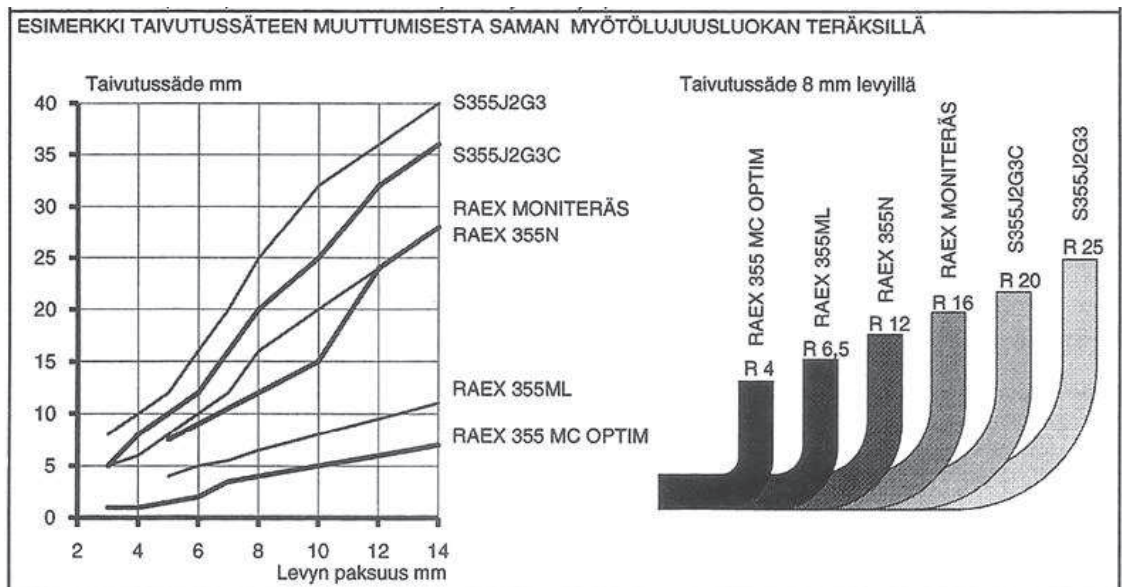
3.2.5 Särmättävyys

Metallin muokattavuus (särmättävyys) on sen kyky käyttäytyä plastisesti muokkauksen aikana ja muokattavuus on sitä parempi, mitä suurempi plastinen muodonmuutos saadaan aikaan aineen repeytymättä. Suuri pysyvä muodonmuutos vaatii teräkseltä suuren plastisen alueen, jota kuvaa aiemmin mainittu murtovenymä. Lisäksi muodonmuutoskykyä kuvaavat murtovenymä, tasavenymä ja murtokourouma. (Koivisto ym. 2006, 11; Lepola & Makkonen 2000, 56.)

Pienin sallittu taivutussäde (R)

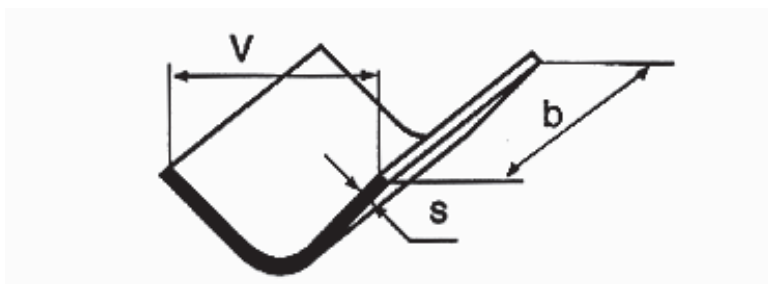
Valmistajat antavat levytuotteilleen eri käyttötarkoituksiin määriteltyjä takuita. Yksi näistä takuista on levyn särmättävyydestä, jossa levyille annetaan pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde, jolla raaka-aine kestää särmäämisen ilman aineen repeilyä. Jos särmättävyydestä ei anneta, on särmäyksessä käytettävä yhtä levyn vahvuusluokkaa suurempaa taivutussädettä (Kuva 9). Särmättävyys voidaan taata särmävalssaussuuntaan nähden poikittain, pitkittäin tai kaikissa suunnissa määritellyllä taivutussäteellä. (Lepola & Makkonen 2000, 302.)

Joskus aineen sitkeyttä kuvataan myötöraja-murtolujuussuhteella, jolle on joissain käyttösovelluksissa asetettu yläraja, esim. 0,7, jolloin tämän katsotaan takaavan rakenteen riittävän sitkeyden (Kivivuori 2008, 10).



KUVA 9. Taivutussäteiden muuttuminen saman myötölujuuden teräksillä (Rautaruukki Steel 2000)

Puristusvoima kasvaa teräksen murtolujuuden kasvaessa, mutta sen perusteella ei voi arvioida teräslajien välistä eroa. Teräksen taivutuksessa ja särmäyksessä tarvittava puristusvoima riippuu kuvassa 10 esitetystä tekijöistä. (Lepola & Makkonen 2000, 154.)



KUVA 10. Taivutuksessa tarvittavaan puristusvoimaan vaikuttavia tekijöitä (Rautaruukki Steel 2000, 22)

Likimääräinen voimantarve särmäyksessä V-aukkoon voidaan laskea yhtälöstä:

$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{V} \quad (3.4)$$

jossa

- R_m = levyn murtolujuus (N/mm²)
- s = levyn paksuus (mm)
- C = vakio (1,2...1,5)
- b = taivutettava pituus (mm)
- V = V-aukon leveys (mm).

Vakio C riippuu levynpaksuudesta ja V-aukon leveydestä likimain seuraavasti:

$$C = 1,1 + \frac{2,5 \cdot s}{V} \quad (3.5)$$

Lujilla teräksillä on suuren voimantarpeen lisäksi otettava huomioon voimakas takaisinjousto, joka kasvaa yleensä myös levyn ohentuessa ja taivutussäteen kasvaessa. Toisaalta on myös huomioitava eri raaka-aineiden huomattavankin suuret erot. Takaisinjousto kompensoidaan nk. ylitaivutuksella. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET 2001; Lepola & Makkonen 2005, 304.)

3.2.6 Lastuttavuus

Lastuttavuus on ominaisuus, joka kuvaa metallin käyttäytymistä lastuavassa työstössä. Lastuttavuuskäsite on suhteellinen, joten sen määrittämiseen käytetään standardeoituja testejä. Lastuttavuuskäsitteeseen sisältyvät lastun muodostus, lastuamisvoimat, terän kuluminen, tehontarve sekä saavutettu pinnan laatu. (Lepola & Makkonen 2000, 56; Koivisto ym. 2006, 129–130.)

Perinteisissä automaattiteräksissä on seosaineena rikkiä (S) ja lyijyä (Pb). Rikin muodostamat sulfidit parantavat lastuttavuutta, erityisesti käytettäessä pikaterästyökaluja, mutta suuri rikkipitoisuus huonontaa oleellisesti teräksen hitsattavuutta. Imatra Steel on kehittänyt terästen lastuttavuuden parantamiseksi ns. M-käsittelyn. Teräkseen injektoidaan mellotuksen jälkeen kalsiumia sisältäviä aineita. Käsittely muuttaa teräksen sulkeumarakennetta lastuttavuuden kannalta edullisempaan muotoon. Sulkeumat muodostavat voitelevan kalvon terän rintapinnan ja lastun väliin suurilla lastuamisnopeuksilla ja ne kuluttavat terää vähemmän. (Lepola & Makkonen 2000, 224–226.)

4 MATERIAALIMERKINNÄT JA RYHMITTELY

Teräksistä käytettävät nimikkeet muodostuvat tunnuskirjaimista ja numeroista, jotka lyhyessä muodossa yksiselitteisesti kuvaavat teräksen käyttökohteen ja keskeiset ominaisuudet, kuten mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Jokaisella teräksellä on oma nimike, ja ne ovat jaettuna siten, että päällekkäiset ja toisiaan sekoittavat nimikkeet ja merkinnät eivät sotkeudu keskenään. Teräsnimikkeiden periaatteet määritellään standardissa SFS-EN10 027-1. Terästen nimikejärjestelmä eli numerotunnukset on kuvattu standardissa EN 10 027-2, jossa käytetään standardien EN 10 020 ja EN 10 079 mukaisia määritelmiä. (Lepola & Makkonen 2000, 137.)

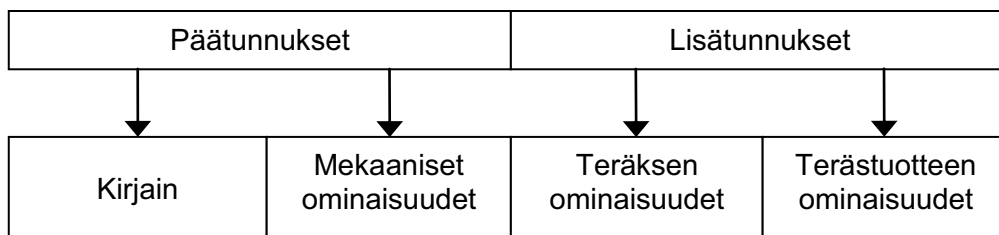
4.1 Nimikkeiden luokittelu

Nimikkeet luokitellaan muodostamisperiaatteen mukaisesti kahteen pääluokkaan:

- Luokka 1: Nimikkeet muodostuvat teräksen käyttötarkoituksen, mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.
- Luokka 2: Nimikkeet muodostuvat teräksen kemiallisen koostumuksen perusteella. (SFS-EN 10027-1 2005, 6).

Terästen nimikejärjestelmän rakenne

Kuviossa 1 näkyy, kuinka terästen nimekejärjestelmän rakenne muodostuu.



KUVIO 1. Terästen nimikejärjestelmän rakenne (SFS-EN 10027-1 2005, 6–45)

4.2 Käyttötarkoitukseen ja mekaanisiin tai fysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvat nimikkeet

Päätunnus

Teräksen päätunnus luokassa 1 muodostuu käyttötarkoituksen mukaisesta kirjainosasta sekä mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tunnuksesta. Kirjainosan tunnus käyttötarkoituksen mukaan näkyy taulukosta 1. (SFS-EN 10027-1 2005, 6–33.)

TAULUKKO 1. Kirjainosan tunnus nimikeluokassa 1 (SFS-EN 10027-1 2005, 6–33)

Tunnus	Käyttötarkoitus	Mekaaniset ominaisuudet
S	Rakenneteräs	Vähimmäismyötölujuus ¹⁾ ohuimman paksuusalueen mukaan (MPa)
P	Paineastiateräs	Vähimmäismyötölujuus ¹⁾ ohuimman paksuusalueen mukaan (MPa)
L	Putkiteräs	Vähimmäismyötölujuus ¹⁾ ohuimman paksuusalueen mukaan (MPa)
E	Koneteräs	Vähimmäismyötölujuus ¹⁾ ohuimman paksuusalueen mukaan (MPa)
B	Betoniteräs	Myötölujuuden karakteristinen arvo ¹⁾ ohuimman paksuusalueen mukaan (MPa)
Y	Jänneteräs	Nimellismurtolujuus (R_m)
R	Ratakiskoteräs	Vähimmäiskovuus (HBW)
H	Kylmävalssatut kylmämuokattavat lujat levytuotteet	Vähimmäismyötölujuus tai tunnus T ja vähimmäismurtolujuus (MPa)
D	Kylmämuovattavat levytuotteet (muut kuin ryhmään H kuuluvat)	C = kylmävalssattu, D = kuumavalssattu kylmämuovattava, X = tuote, jonka valssaus-tilaa ei ole spesifioitu. Edellisten lisäksi 2 numeroa (ominaisuustunnukset)
T	Teräspakkausohutlevytuotteet	H = Myötölujuuden nimellisarvo jatkuva-toimisessa prosessissa hehkutetuille teräslajeille (MPa), S = Myötölujuuden nimellisarvo erätoimisessa prosessissa hehkutetuille teräslajeille (MPa)
M	Sähkötekniset teräkset	Enimmäishäviö ilmoitettuna W/kg x 100, 100 x nimellispaksuus (mm) sekä sähköteknisiä ominaisuuksia kuvaava tunnus A,D, E, P tai S (EN 10027-1)
¹⁾ Termi "myötölujuus" viittaa ylempään (R_{eH}) tai alempaan myötörajaan (R_{eL}) tai venymisrajaan (R_p), tai kokonaisvenymään perustuvaan venymisrajaan (R_t) riippuen tuotestandardissa esitetyistä vaatimuksista.		

Lisäksi jos kyseessä on teräsvalu, lisätään nimikkeen eteen tunnus G, ja jos kyseessä on jauhemetallurgisesti valmistettu teräs, lisätään nimikkeen eteen tunnus PM (SFS-EN 10027-1 2005, 6–33).

Lisätunnukset

Päätunnuksiin voidaan liittää lisätunnuksia. Lisätunnukset on jaettu kahteen ryhmään, ryhmä 1 ja ryhmä 2. Ryhmässä 1 voidaan päätunnuksen jälkeen ilmoittaa iskutkeysluokka taulukon 2 mukaisesti.

TAULUKKO 2. Terästen iskutkeysluokat (SFS-EN 10027-1 2005, 6–33)

Iskutkeys. Iskuenergia jouleina (J)			Koe- lämpötila
27 J	40 J	60 J	(°C)
JR	KR	LR	20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60

Ryhmässä 1 voidaan iskutkeysluokan lisäksi ilmoittaa muita teräksen ominaisuuksia. Yleisimpiä kirjaintunnuksia on taulukossa 5.

Esimerkki: S355K2

S = rakenneteräs

355 = vähimmäismuovituslujuus 355 MPa

K2 = vähimmäisiskutkeysvaatimus 40 J lämpötilassa -20 °C

Standardissa SFS-EN 10025-2 määritellään kahdeksan teräslajia S185, S235, S275, S355, S450, E295, E335 ja E360 joiden mekaaniset ominaisuudet eroavat toisistaan. Teräslajit S235 ja S275 voidaan toimittaa laatuluokkina JR, J0 ja J2. Teräslaji S355 voidaan toimittaa laatuluokkina JR, J0, J2 ja K2. Teräslaji S450 toimitetaan laatuluokkana J0. (SFS-EN 10025-2 2004, 12.)

Aiemmin voitiin edellisten merkintöjen lisäksi ilmoittaa teräksen tiivistystapa vanhan SFS-EN 10025:1994 mukaisesti. Koska vanhaa merkintää käytetään vielä paljon, esitetään nämä vanhat merkinnät taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Teräksen tiivistystavan vanha merkintätapa (SFS-EN 10025,1994)

Tunnus	Selite
G1	Tiivistämätön, FU Toimitustila valmistajan valittavissa, ellei tilattaessa toisin sovita
G2	Tiivistämätön ei ole sallittu, FN Toimitustila valmistajan valittavissa, ellei tilattaessa toisin sovita
G3	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty, FF Toimitustila normalisoitu tai normalisointivalssattu
G4	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty, FF Toimitustila valmistajan valittavissa

Uuden standardin SFS-EN 10025-2: 2004 mukaiset tiivistystavat ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Teräksen tiivistystavan uusi merkintätapa (SFS-EN 10025-2 2004, 12)

Tunnus	Selite
Valinnainen	Tiivistystapa on valmistajan valittavissa
FN	Tiivistämätön teräs ei ole sallittu, JR- ja J0 -levytuotteet
FF	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty, J2- ja K2 -levytuotteet

Näitä tiivistystunnuksia ei uuden standardin mukaan merkitä teräksen tunnukseen, vaan ne sisältyvät laatuiluokkiin. Taulukossa 4 näkyy myös tiivistystavan jako laatuiluokittain.

Esimerkki: S355J2+N

S = rakenneteräs
 355 = vähimmäismuotolujuus 355 MPa
 J2 = vähimmäisiskutusvaatimus 27 J lämpötilassa -20 °C
 +N = toimitustila normalisointivalssattu

Kyseinen esimerkki korvaa aiemman tunnuksen S355J2G3.

TAULUKKO 5. Lisätunnuksia; Ryhmä 1 (SFS-EN 10027-1 2005, 14–33)

Tunnus	Ominaisuus
Rakenneteräs	
A	Erkautuskarkaistu
M	Termomekaanisesti valssattu
N	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
Q	Nuorrutettu

G	Muut ominaisuudet lisättynä tarvittaessa 1 tai 2 numerolla
Painelaiteteräs	
B	Kaasupullot
M	Termomekaanisesti valssattu
N	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
Q	Nuorrutettu
S	Yksinkertaiset paineastiat
T	Putket
G	Muut ominaisuudet lisättynä tarvittaessa 1 tai 2 numerolla
Putkiteräkset	
M	Termomekaanisesti valssattu
N	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
Q	Nuorrutettu
G	Muut ominaisuudet lisättynä tarvittaessa 1 tai 2 numerolla
Koneteräkset	
G	Muut ominaisuudet lisättynä tarvittaessa 1 tai 2 numerolla tai mikäli iskutikeysominaisuudet on määriteltä, noudatetaan taulukon 2 sääntöjä

Mikäli ryhmän 1 tunnuksia eivät ole riittäviä kuvaamaan terästä kokonaan, voidaan käyttää lisäksi ryhmän 2 mukaisia lisätunnuksia (Taulukko 6). Ryhmän 2 tunnuksia käytetään vain ryhmän 1 tunnuksien yhteydessä. (SFS-EN 10027-1 2005, 14–33.)

TAULUKKO 6. Lisätunnuksia; Ryhmä 2 (SFS-EN 10027-1 2005, 14–33)

Tunnus	Ominaisuus
Rakenneteräs	
C	Erikoiskylmämuokkaus
D	Kuumaupotuspinoitus
E	Emalointi
F	Tae
H	Putkipalkki
L	Matala käyttölämpötila
M	Termomekaanisesti valssattu
N	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
P	Paalutuslevy
Q	Nuorrutettu
S	Laivanrakennus
T	Putki
W	Säänkestävä
	Spesifioidun lisäseosaineen kemiallinen merkki, esim. Cu, tarvittaessa yhdessä numeron kanssa, joka on 10 x alkuaineen vaatimusalueen keskipitoisuus (pyöristettynä 0,1 %:iin)
Painelaiteteräs	
H	Korkea käyttölämpötila
L	Matala käyttölämpötila
R	Huoneenlämpötila
X	Korkea ja matala käyttölämpötila

Putkiteräkset	
	Laatuluokkavaatimus tarvittaessa, lisättyinä yhdellä numerolla
Koneteräkset	
C	Soveltuu kylmavedettäväksi

Tunnusten loppuosassa voidaan tarvittaessa käyttää taulukoissa 7, 8 ja 9 olevia terästuotteiden lisätunnuksia. Niitä voidaan käyttää ryhmien 1 ja 2 tunnusten yhteydessä ja nämä tunnuksot erotetaan edeltävistä tunnuksista plus-merkillä (+). (SFS-EN 10027-1 2005.)

TAULUKKO 7. Terästuotteiden erikoisvaatimuksia kuvaavat tunnuksot (SFS-EN 10027-1 2005)

Tunnus	Selite
+CH	Läpikarkenevuus
+H	karkenevuus
+Z15	paksuussuuntaiset ominaisuudet, vähimmäismurtokurouma 15 %
+Z25	paksuussuuntaiset ominaisuudet, vähimmäismurtokurouma 25 %
+Z35	paksuussuuntaiset ominaisuudet, vähimmäismurtokurouma 35 %

TAULUKKO 8. Terästuotteiden pinnoitteita kuvaavat tunnuksot (SFS-EN 10027-1 2005)

Tunnus	Selite
+A	Alumiini-kuumapinnoite
+AS	Alumiini-pii-pinnoite
+AZ	Alumiini-sinkki-pinnoite (> 50 % Al)
+CE	Elektrolyyttinen kromi/kromioksidipinnoite (ECCS)
+CU	Kuparipinnoite
+IC	Epäorgaaninen pinnoite
+OC	Orgaaninen pinnoite
+S	Tina-kuumapinnoite
+SE	Elektrolyyttinen tinapinnoite
+T	Lyijy-tina-kuumapinnoite
+TE	Elektrolyyttinen lyijy-tina-pinnoite
+Z	Kuumasinkityspinnoite
+ZA	Sinkki-alumiini-kuumapinnoite (> 50 % Zn)
+ZE	Elektrolyyttinen sinkkipinnoite
+ZF	Sinkki-rauta-kuumapinnoite
+ZN	Elektrolyyttinen sinkki-nikkeli-pinnoite

TAULUKKO 9. Terästuotteiden käsittelytilaa kuvaavat tunnuksset (SFS-EN 10027-1 2005)

Tunnus	Selite
+A	Pehmeäksi hehkutettu
+AC	Palloutushehkutettu
+AR	Valssaustilainen (ilman erityisiä valssaus- ja/tai lämpökäsittelyjä)
+AT	Liutushehkutettu
+C	Työstökarkaistu
+C _{nnn} ¹⁾	Työstökarkaistu vähimmäismurtolujuuteen nnn ¹⁾ MPa
+CP _{nnn} ¹⁾	Orgaaninetyöstökarkaistu 0,2 % vähimmäisvenymisrajaan nnn ¹⁾ MPa
+CR	Kylmävalssattu
+DC	Toimitustila valmistajan valittavissa
+FP	Käsittely ferriittis-perliittiseksi rakenteeksi ja tiettyyn kovuusalueeseen
+HC	Kuumavalssattu ja kylmäkarkaistu
+I	Isotermisesti käsitelty
+LC	Viimeistelymuokattu (viimeistelyvalssattu tai kylmävedetty)
+M	Termomekaanisesti valssattu
+N	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
+NT	Normalisoitu ja päästetty
+P	Erkautuskarkaistu
+Q	Karkaistu
+QA	Ilmakarkaisu
+QO	Öljykarkaisu
+QT	Nuorrutettu
+QW	Vesikarkaisu
+RA	Rekristallisaatiohehkutettu
+S	Kylmäleikattava
+SR	Jännitystenpoistohehkutettu
+T	Päästetty
+TH	Käsitelty tiettyyn kovuusalueeseen
+U	Käsittelemätön
+WW	Lämminmuokattu
n = numerotunnus	

4.3 Kemialliseen koostumukseen perustuvat nimikkeet

Seostamattomat teräkset

Seostamattomissa teräksissä (paitsi automaattiteräksissä), joiden keskimääräinen mangaanipitoisuus alle 1 %, päätunnuksena on C (hiili). Lisätunnukset näkyvät taulukossa 10. (SFS-EN 10027-1 2005.)

TAULUKKO 10. Seostamattomien terästen lisätunnukset; Ryhmä 1 (SFS-EN 10027-1 2005)

Tunnus	Selite
C	Kylmämuokattava, esim. kylmätyssäykseen ja -pursotukseen
D	Langanvetoon
E	Spesifioitu enimmäisrikkipitoisuus
R	Spesifioitu rikkipitoisuusalue
S	Jousiteräs
U	Työkaluteräs
W	Hitsauslankateräs
G	Muut ominaisuudet lisättyinä tarvittaessa 1 tai 2 numerolla

Esimerkki: C45E4

C = hiili

45 = 0,45 % hiilipitoisuuden keskiarvo

E4 = spesifioitu enimmäisrikkipitoisuus 0,04 %

Seostamattomat teräkset, joiden mangaanipitoisuus on vähintään 1 %

Ryhmään kuuluvat seostamattomat teräkset, joiden keskimääräinen mangaanipitoisuus on vähintään 1 %, seostamattomat automaattiteräkset ja seosteräkset (paitsi pikateräkset), joiden yksittäisten seosaineiden keskimääräinen pitoisuus on alle 5 % (SFS-EN 10027-1 2005).

Tunnus muodostuu seuraavasti: Päätunnuksessa spesifioidun hiilipitoisuuden keskiarvo x 100. Lisätunnuksessa teräksen keskeisten seosaineiden kemialliset merkit, joita seuraavat väliviivalla erotetut lukuarvot, jotka kuvaavat vastaavien seosaineiden keskiarvopitoisuuksia kerrottuna taulukko 11 kertoimilla. (SFS-EN 10027-1 2005.)

TAULUKKO 11. Seosaineiden kertoimet (SFS-EN 10027-1 2005)

Seosaine	Kerroin
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

Esimerkki: 13CrMo4-5

13 = 0,13 % hiilipitoisuuden keskiarvo

Cr4 = 0,1 % kromipitoisuuden keskiarvo (Cr kerroin 4; $4/4 = 1$)

Mo5 = 0,5 % molybdeenipitoisuuden keskiarvo (Mo kerroin 10; $5/10 = 0,5$)

Seosteräkset, joissa vähintään yhden seosaineen pitoisuus on vähintään 5 %

Ryhmään kuuluvat ruostumattomat teräkset ja muut seosteräkset (paitsi pikateräkset), joissa vähintään yhden seosaineen pitoisuus on vähintään 5 %. Terästen tunnus muodostuu seuraavasti: X = vähintään yhden seosaineen pitoisuus on vähintään 5 % ja lisäksi spesifioidun hiilipitoisuuden keskiarvo x 100. Lisätunnuksessa on teräksen keskeisten seosaineiden kemialliset merkit, joita seuraavat väliviivalla erotetut lukuarvot, jotka kuvaavat vastaavien seosaineiden keskiarvopitoisuuksia pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. (SFS-EN 10027-1 2005.)

Esimerkki: X10CrNi18-8

X = vähintään yhden seosaineen pitoisuus ≥ 5 %

10 = 0,1 % hiilipitoisuuden keskiarvo

Cr18 = 18 % kromipitoisuuden keskiarvo

Ni8 = 8 % nikkelpitoisuuden keskiarvo

5 MATERIAALINVALINNAN VAIKUTUKSET

5.1 Esiselvitykset

Materiaalivalinnan vaikutusten analysoinnissa tehtiin ensin alustava arviointi, jossa kriittisimmiksi osiksi todettiin levyosat, koska niitä on pääosa tuotteen osista. Levysien eniten vaikuttavaksi ominaisuudeksi konstruktion todettiin särmättävyys ja käytettävä taivutussäde.

Alustavan arvioinnin pohjalta valittiin tarkasteltaviksi tuotteiksi laitteita, joissa on paljon teräslevystä valmistettuja särmättäviä osia. Tarkasteltaviksi valitut tuotteet olivat juontolaitteet JL50 ja JL351 sekä syötin HF180.

5.2 Tiedon keräys

Tiedon keräys materiaalivalintaohjelman suunnittelussa alkoi materiaaliopin kirjallisuuden tutkimisella, jonka tarkoituksena oli saada tarvittava tietopohja terästen käyttöominaisuuksista ja niiden arvioinnista. Lisäksi tutkittiin terässtandardeja ja teräsvalmistajien aineslehtiä terästen ominaisuuksien vertailemiseksi sekä materiaalinimikkeiden selvittämiseksi.

Tutkittaessa materiaalivalinnan vaikutuksia konstruktiioihin tarkasteltiin edellisten lähteiden lisäksi tuotteiden tuoterakenteita, valmistuspiirustuksia sekä 3D-malleja. Lisäksi pidettiin useita palavereja ja keskusteluja, joihin osallistuivat mm. suunnittelijat, suunnittelupäällikkö sekä tuotantopäällikkö. Tällä tavoin saatiin huomioitua sekä suunnittelun että tuotannon näkökannat.

5.3 Teräslaatuksen särmättävyys

Osien sisäpuolisten taivutussäteiden vaikutuksia vertailtiin kolmen eri materiaalin välillä. Vertailumateriaalina käytettiin tällä hetkellä tuotteessa käytettävää Ruukki Laser 355 MC -terästä, joka ylittää standardin antamat särmättävyysuositukset. Ruukki Laser 355 MC vastaa entisellä kauppanimikkeellä olevaa Ruukki 355 MC Optim-terästä. Vertailtavina materiaaleina ovat standardin SFS-EN 10149-2 mukainen termomekaanisesti valssattu, hyvin särmättävä teräs S355MC sekä standardin SFS-EN

10025-2 mukainen, hyvin särmättävä, seostamaton rakenneteräs S355J2C. Vertailtavien terästen taivutussäteiden minimiarvot näkyvät taulukoissa 12, 13 ja 14.

TAULUKKO 12. Ruukki Laser 355 MC -terästen sisäpuolisen taivutussäteen vähimmäisarvo kylmämuovauksessa (Ruukki Oyj 2011)

Teräksen kauppanimike	Sisäpuolisen taivutussäteen suositeltava vähimmäisarvo nimellispaksuuksilla (mm) ¹⁾										
	> 1.5 ≤ 2.5	> 2.5 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4 ≤ 5	> 5 ≤ 6	> 6 ≤ 7	> 7 ≤ 8	> 8 ≤ 10	> 10 ≤ 12	> 12 ≤ 14	> 14 ≤ 16
Ruukki Laser 355 MC	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
1) Särmäys valssausuuntaan nähden kaikissa suunnissa.											

TAULUKKO 13. Sisäpuolisen taivutussäteen vähimmäisarvo kylmämuovauksessa termomekaanisesti valssatuilla hyvin särmättävillä teräksillä (SFS-EN 10149-2 1996)

Teräslajin nimike		Sisäpuolisen taivutussäteen suositeltava vähimmäisarvo nimellispaksuuksilla (mm) ¹⁾		
Nimike	Numerotunnus	$t \leq 3$	$3 < t \leq 6$	$t > 6$
S315MC	1.0972	0.25 t	0.5 t	1.0 t
S355MC	1.0976	0.25 t	0.5 t	1.0 t
S420MC	1.0980	0.5 t	1.0 t	1.5 t
S460MC	1.0982	0.5 t	1.0 t	1.5 t
S500MC	1.0984	1.0 t	1.5 t	2.0 t
S550MC	1.0986	1.0 t	1.5 t	2.0 t
S600MC	1.8969	1.0 t	1.5 t	2.0 t
S650MC	1.8976	1.5 t	2.0 t	2.5 t
S700MC	1.8974	1.5 t	2.0 t	2.5 t
¹⁾ Arvot ovat voimassa taivutuskulmalle $\leq 90^\circ$				

TAULUKKO 14. Hyvin särmättävien terästen sisäpuolisen taivutussäteen vähimmäisarvo kylmämuovauksessa (SFS-EN 10025-2 2004)

Nimike EN 10027-1	Taivutus- suunta 1)	Pienin suositeltava sisäpuolinen taivutussäde nimellispaksuuksilla (mm). 2)											
		> 1 ≤ 1.5	> 1.5 ≤ 2.5	> 2.5 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4 ≤ 5	> 5 ≤ 6	> 6 ≤ 7	> 7 ≤ 8	> 8 ≤ 10	> 10 ≤ 12	> 12 ≤ 14	> 14 ≤ 16
S235JRC	t	1.6	2.5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28
S235J0C													
S235J2C	l	1.6	2.5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32
S275JRC	t	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32
S275J0C													
S275J2C	l	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40
S355JRC	t	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36
S355J0C													
S355J2C	l	2.5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40

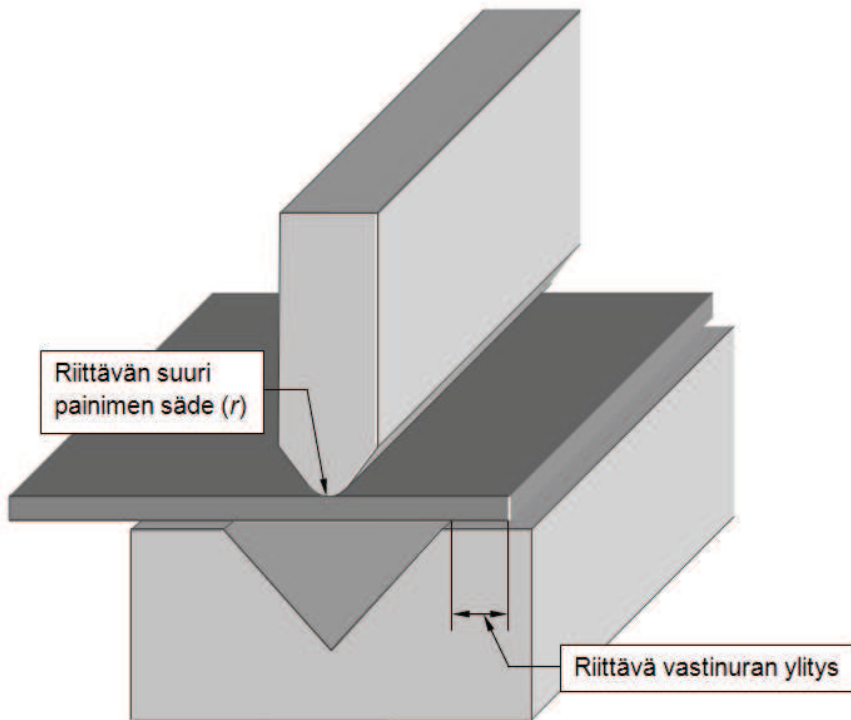
1) t = Särmän suunta poikittain valssaussuuntaan nähden.
l = Särmän suunta pitkittäin valssaussuuntaan nähden.
2) Arvot ovat voimassa taivutuskulmalle ≤ 90°.

5.4 Valmistettavuus

Valmistettavuuden kannalta tulee ottaa huomioon taivutussäteen aiheuttamat vaatimukset särmäyspuristimen työkaluihin, varsinkin alatyökalun eli vastimen aukon leveyteen. Suurempi taivutussäde ja myös lujempi teräs vaatii suuremman vastimen aukon. Taivutussäteen suurentamisesta ja tästä johtuvasta vastimen aukon leventämisen vuoksi, on myös otettava huomioon, että kappaleen reuna ylettyy riittävästi vastimen aukon yli. Muussa tapauksessa kappale saattaa särmätessä luiskahtaa vastimen aukkoon. Myös ylätyökalun eli painimen tulee olla tarkoituksenmukainen, jottei esim. dynaamisesti kuormitetun kappaleen särmäyksessä tule painimesta syvää uraa kappaleen pintaan. Tällainen ura saattaa toimia väsymismurtuman alkusärönä, jolloin kappale saattaa pettää. Tämä voidaan välttää käyttämällä suurempaa painimen sädettä. (Kuva 11.)

Särmättäessä on otettava huomioon myös levyn valssaussuunta. Ruukki 355 MC Optim sekä S355MC voidaan särmätä sekä poikittain että pitkittäin valssaussuuntaan nähden särmäysominaisuuksien säilyessä samana. On kuitenkin huomioitava, että särmättäessä S355J2C-terästä pitkittäin valssaussuuntaan nähden, särmäyksen sallittu taivutussäde kasvaa (taulukko 13). Tästä syystä konstruktion tarkastelussa on annettu taivutussäteeksi standardin suosituksista suurempi arvo. Jos voidaan olla

varmoja, että aihioita leikattaessa otetaan huomioon valssaussuunta, voidaan käyttää taivutussäteen pienempää arvoa.



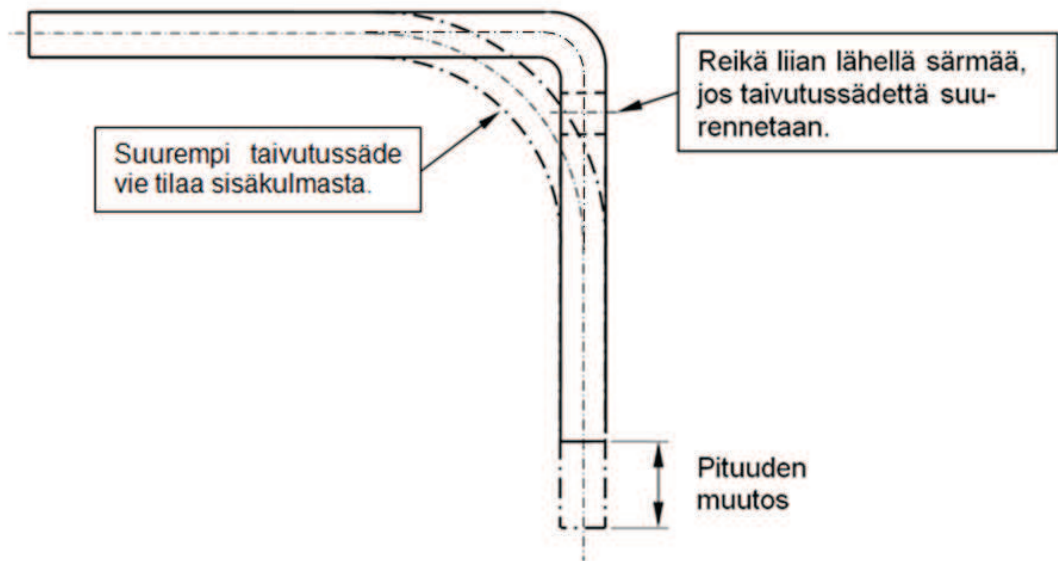
Kuva 11. Riittävän suuri painimen säde ja riittävä vastinuran ylitys on varmistettava

Ennen särmäystä tulee tehdä esivalmisteluja, joilla varmistetaan särmäystyön hyvä laatu. Särmättävän levyn tulee olla vähintään +20 °C, joten levy kannattaa tuoda lämpimään tilaan ajoissa, mielellään jo särmäystä edeltävänä päivänä. Täytyy huomioida, että mitä lujempaa terästä käytetään, sitä suurempia ovat taivutusvoima, takaisinjousto ja taivutussäde. Erittäin lujilla teräksillä saattaa tulla kyseeseen levyn särmäysalueen esilämmitys +100...+200 °C, millä saadaan parannettua särmättävyyttä sekä pienennettyä taivutusvoimaa. Erittäin lujilla teräksillä myös repeytymisen vaara särmätessä kasvaa. Tämän takia särmäysalueelta on tarkistettava, ettei levyn ulkopinnassa eikä leikatussa reunassa ole pintavikoja. Jos vikoja löytyy, ne on hiottava pois ennen särmäystä.

5.5 Vaikutukset konstruktion

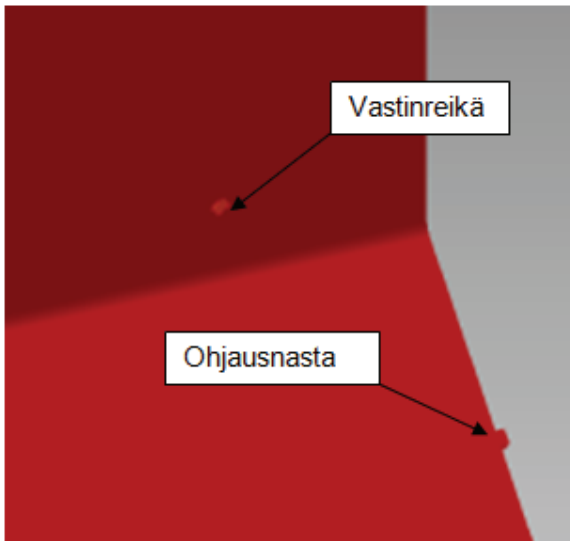
Kuten alustavassa arvioinnissa todettiin, särmäyksessä käytettävällä taivutussäteellä on monia vaikutuksia konstruktion (kuva 12). Taivutussäde vaikuttaa aina kappaleen

dimensioihin, kuten aihion pituuteen. Jos reikiä, osia ym. on sijoitettu pienemmällä taivutussäteellä olevan särmäyksen lähelle, konstruktiota voidaan joutua muuttamaan, jos sädettä suurenetaan. Suuremman taivutussäteen viemä tila särmän sisäpuolella tulee myös ottaa huomioon, jos siellä on esim. muita osia lähellä kulmaa. Pienemmällä taivutussäteellä voidaan myös joissain tapauksissa jäykistää rakennetta. Lisäksi taivutussäteellä on ulkonäöllisiä vaikutuksia, jotka pitää tarkastella tarpeen mukaan.



KUVA 12. Taivutussäteen vaikutukset kappaleeseen

Seuraavassa on otoksia tarkasteltavien tuotteiden detaljeista, joihin taivutussäteen muutoksilla on vaikutusta. Juontolaite JL50:n runko on tehty pääosin särmätyistä teräslevyistä. Osissa on käytetty ohjausnastoja ja -reikiä kokoonpantavuuden parantamiseksi (kuva 13). Osassa oleva ohjainnasta tulee vastakappaleen vastinreikään ja asemoi osan oikeaan asemaan. Särmäyksen taivutussädettä muutettaessa ohjausnastan sijainti muuttuu eikä se osu enää vastakappaleen vastinreiän kanssa kohdakkain.



KUVA 13. Ohjausnasta ja vastinreikä kokoonpantavuuden parantamiseksi

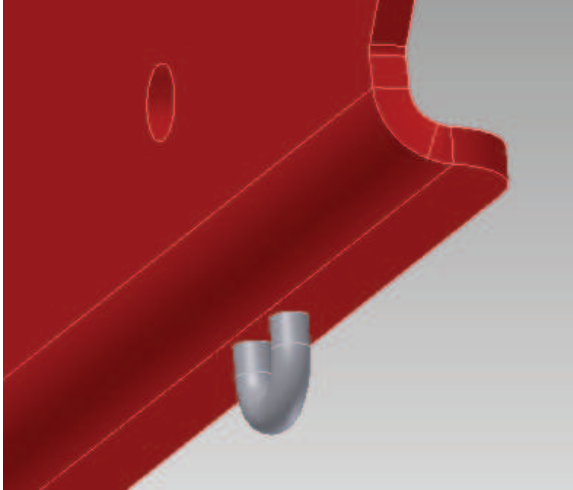
Joissain osissa on reikä lähellä särmäystä; taivutussädettä muutettaessa se jää särmäyksen kohdalle (kuva 14). Reiät on polttoleikattu, joten niihin tulee särmättäessä muotovirhe.



KUVA 14. Reikä lähellä särmäystä

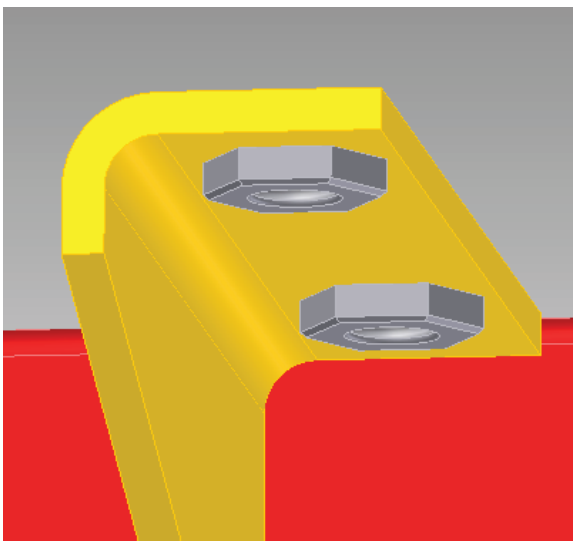
Syöttölaitteessa HF180 on kapea särmä, joka taivutussädettä suurennettaessa saattaa mennä liian kapeaksi. Tällöin särmäminen ei onnistu, koska levy ei ylety riittävästi särmäyskoneen alavasteen vastinuran yli, jolloin levy saattaa luiskahtaa vastinuraan. Ongelmaa ei ole, jos särmän leveyttä voidaan lisätä. Osassa on lähellä

särmäystä myös jousen kiinnike, joka jää suuremman taivutussäteen takia pyöristyksen kohdalle (kuva 15). Lisäksi kaikissa tapauksissa taivutussäteen muutos aiheuttaa aihoiden mittoihin muutoksia, joten ne täytyy suunnitella uudestaan ja tehdä uudet valmistuskuvat.



KUVA 15. Kapea särmä ja jousen kiinnike lähellä särmäystä

Syöttölaitteessa on myös tukilevyt, joihin kiinnitetään Kalei-puristemutterit. Taivutussädettä suurennettaessa muttereille ei ole riittävästi tilaa (kuva 16).



KUVA 16. Mutterit lähellä särmäystä

Tällä hetkellä käytettävä teräs Ruukki Laser 355 MC sallii todella pienet taivutussäteet. Tarkasteltavissa konstruktioissa ei kuitenkaan ole käytetty pienimpiä mahdollisia taivutussäteitä. Tästä syystä kyseisiin konstruktioihin ei tarvitse tehdä muutoksia, jos materiaali vaihdettaisiin S355MC-teräkseen. Jos sen sijaan materiaali vaihdetaan S355J2-teräkseen, täytyy liitteessä 1 olevat detaljit tarkastella tarkemmin 3D-mallin-
nusohjelmalla, koska taivutussäteen muutos on huomattava.

5.6 Vaikutukset materiaalinimikkeisiin

Tällä hetkellä käytössä olevat materiaalinimikkeet ovat Ruukin ja Ovakon kaupanimikkeitä, jolloin teräksen hankinnassa ”kädet ovat sidotut” näihin tuotteisiin. Nimikkeet tulisi saattaa uusimpien EN -standardien mukaisiksi, jolloin hankinta voitaisiin tehdä esimerkiksi kustannusperusteisesti valiten edullisimman vaihtoehdon. Tässä tulee kuitenkin ottaa huomioon tuotteen vaatimukset. Jos tuote ehdottomasti vaatii esimerkiksi johonkin särmäykseen pienen taivutussäteen, tulee silloin valita teräs, jonka särmättävyys on taattu tälle säteelle.

Materiaalinimikkeitä ei kannata perustaa kevein perustein, jotta niiden määrä pysyy hallinnassa ja valinta niiden joukosta pysyy mahdollisimman yksinkertaisena. Nimikkeen perustaminen on myös kustannuskysymys. Eräässä laskelmassa nimikkeen perustamisen hinnaksi on saatu n. 150 €, joten kustannuksia syntyy jo perustamisesta lähtien. Lisäksi materiaalinimikkeitä hallitusti vähentämällä, saadaan varastointikustannuksia vähennettyä ja saadaan volyymietua, kun voidaan hankkia tiettyä teräslaatua suurempina erinä.

5.7 Iskusiivkeysluokan valinta

Pyrittäessä valitsemaan edullisinta materiaalia on herännyt kysymys voitaisiinko yrityksen tuotteisiin valita alemman laatuluokan terästä. Tällä hetkellä yleisin tuotteissa käytetty teräs on J2 -laatua. Tällöin teräksen vähimmäisiskusiivkeyks on 27J lämpötilassa -20 °C.

Teräksen myötövanhenemistaipumus kasvaa teräksen laatuluokan huonontuessa. Tämä johtuu erilaisista tiivistystavoista laatuluokkien välillä tiivistysvaatimusten kasvaessa parempaan laatuluokkaan mentäessä. Myötövanheneminen aiheutuu kun kylmämuokattua (esim. särmättyä) terästä hitsataan ja joskus pelkkä hitsauksen ai-

heuttama plastinen muodonmuutos saattaa aiheuttaa myötövanhenemistä. Myötövanheneminen aiheuttaa teräksessä iskutheyden huononemista sekä transitiolämpötilan kohoamista, jolloin teräs saattaa murtua hauraasti korkeammassa lämpötilassa kuin normaalisti.

Tuotteiden käyttöolosuhteet esim. Suomessa ovat suhteellisen ankarat talviaikaan, jolloin laitteiden käyttölämpötila saattaa olla -20...-30 °C. Lisäksi laitteiden käyttö on sellaista, että niihin kohdistuu usein sekä iskumaisia kuormia että väsyttävää kuormitusta. Tältä pohjalta tarkasteltuna voidaan todeta, että teräslaatua ei voida huonontaa ilman, että riski vauriosta kasvaa erittäin suureksi.

6 MATERIAALINIMIKKEIDEN VERTAILU- JA HALLINTATYÖKALU

Materiaalinimikkeiden vertailua ja hallintaa helpottamaan suunniteltiin ja toteutettiin yksinkertainen ja helppokäyttöinen työkalu. Yhteensopivuuden varmistamiseksi sen pohjaksi valittiin Excel -taulukkolaskentaohjelma.

Hallintaohjelmaa varten tutkittiin uusimpia terässtandardeja, jotka Farmi Forestilla käytettävien Ruukin ja Ovakon terästuotteet täyttävät. Näitä standardeja olivat mm. *Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot SFS-EN 10025-2:2004, Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen toimitusehdot SFS-EN 10149-2:1996 ja Terästen nimikejärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet SFS-EN 10027-1:2005.* Kyseisistä standardeista kerättiin nimikkeitä, joita voidaan mahdollisesti käyttää tulevaisuudessa yrityksen materiaalinimikkeinä.

Alun perin suunnitelmissa oli tutkia olisiko olemassa yhtälöitä, joilla voitaisiin arvioida terästen särmättävyyttä terästoimittajien materiaalioppaista ja ainestodistuksista saatavien tietojen perusteella ja käyttää niitä materiaalinvalintaohjelmassa. Tutkimuksissa kuitenkin selvisi, ettei tällaisia luotettavia tietoja antavia yhtälöitä ole. Olemassa olevat yhtälöt antavat niin likimääräisen tuloksen ettei niiden perusteella voida tehdä materiaalin valintaa. Lisäksi joihinkin yhtälöihin tarvittaisiin arvoja, jotka saataisiin tekemällä kalliita aineenkoetuksia. Käytännössä särmättävyyden ja lastuttavuuden määrittäminen vaatii särmäys- ja lastuamiskokeita.

Levyt			
Seostamattomat rakenneteräkset			
EN 10025-2:2004	EN 10025:1990	DIN 17 100 (Saksa)	Ruukki
–	S235JR	St 37-2	Laser 250 C
–	S235JRG1	USt 37-2	
S235JR+AR	S235JRG2	RSt 37-2	Laser 250 C
S235J0+N	S235J0	St 37-3 U	Laser 250 C
S235J2+N	S235J2G3	St 37-3 N	–
S235J2+N	S235J2G4	–	Laser 250 C
S355JR+N	S355JR	–	Multisteel
S355J0	S355J0	St 52-3 U	Multisteel
S355J2+N	S355J2G3	St 52-3 N	Multisteel
S355J2	S355J2G4	–	Multisteel
S355K2+N	S355K2G3	–	Multisteel
S355K2	S355K2G4	–	Multisteel

KUVA 17. Otos terässtandardien vertailutaulukosta.

Suunnitteluosaston henkilöstön ja tuotantopäällikön kanssa pidetyn yhteisen pohdinnan perusteella päädyttiin lopulta tulokseen, jossa ohjelmaan tulee terässtandardien vertailuosa (kuva 12) sekä teräsnimikkeiden hallinta- ja valintaosa (kuva 13). Hallinta- ja valintaosassa on tietokanta, josta voidaan suodatusperiaatteella valita materiaali ainesmuodon, myötölujuuden, ainevahvuuden ja teräslajin perusteella. Molempia osioita voidaan päivittää tarpeen mukaan lisäämällä standardeja tai teräslaatuja tietokantaan.

Tuotemuoto	AWS numero	Käytettävä nimike (EN)	Kauppanimike	Teräslaji	Ainevahvuus (mm)	Myötölujuus R_{eH} tai $R_{p0.2}$ (Mpa) $t < 16$ mm
Levy		S235J2C		Rakenneteräs	1.5	235
Levy		S235J2C		Rakenneteräs	2	225
Levy		S235J2C		Rakenneteräs	10	225
Levy		S235J2C		Rakenneteräs	16	235
Levy			Laser 250 C	Rakenneteräs	1.5	240
Levy			Laser 250 C	Rakenneteräs	2	240
Levy			Laser 250 C	Rakenneteräs	10	240
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	6	355
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	12	355
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	15	355
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	16	355
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	20	345
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	25	345
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	30	345
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	35	345
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	40	345
Levy		S355J2C		Rakenneteräs	50	335
Levy			Multisteel	Rakenneteräs	6	355
Levy			Multisteel	Rakenneteräs	12	355

KUVA 18. Otos materiaalinimikkeiden hallinta- ja valintaohjelmasta.

Toiminnanohjausjärjestelmässä materiaalinimikkeitä on useita satoja ja nimikkeissä on paljon päällekkäisyyksiä. Sama teräs voi olla järjestelmässä usealla nimikkeellä, mikä aiheuttaa sekaannusta. Tällä ohjelmalla saadaan nimikkeiden määrä rajattua pienemmäksi, koska tietokantaan lisätään vain käyttöön sallitut materiaalit. Tarkoituksena on rajata kirjoitusoikeudet tietokantaan vain tietyille henkilölle, esim. suunnittelu-päällikölle. Tällä tavoin suunnittelijan materiaalinvalinta helpottuu ja nimikkeet pysyvät hallinnassa.

Kaupallinen materiaalinvalintaohjelma

Materiaalinvalintaohjelmaa suunniteltaessa ja tutkittaessa kävi ilmi, että tehokkaan ja kattavan valintaohjelman toteuttaminen tämän työn puitteissa ei ole realistista eikä

kannattavaa. Ohjelma standardien ristiviittauksineen vaatii niin laajan tietokannan ja vaativan ohjelmointityön, että työ veisi usealta henkilöltä monen vuoden työpanoksen. Tämän johdosta tutkittiin myös valintaohjelmien kaupallisia versioita. Kaupallisia ohjelmia on useita ja niissä on todella laaja tietokanta ja niitä päivitetään useasti vuodessa.

Tarkempaan tarkasteluun valittiin Key To Metals -tietokanta, koska se on alan arvostetuimpia ja laajimpia ja siitä on saatavana myös kokeiluversio. Tietokanta on luotettava, ja se on TÜV CERT, RONET ja UKAS -sertifioitu. Ohjelman kielialustassa on saatavissa 18 eri kieltä. Tämä mahdollistaa tietokannan käytön globaalisti, mistä voi olla hyötyä jos kumppanuusverkosto ulottuu ulkomaille. Tietokannasta voi etsiä materiaaleja standardinimikkeen, kemiallisen koostumuksen, fysikaalisten tai mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Siitä löytyy myös tietoa mm. terästen lämpökäsittelyistä ja hitsausominaisuuksista. Lisäksi tietokannassa on standardien ristiviittaukset, jolla voidaan vertailla terästen vastaavuuksia eri standardien kesken.

7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Tulokset

Työn tuloksena saatiin tietoa teräslaatuojen särmättävyydestä ja täten myös teräslaadun vaikutuksista tuotteiden konstruktioihin. Tämän tiedon pohjalta tehtiin tarkastuslista, jonka avulla voidaan tuoterakenteesta tarkastella särmättäviä osia ja niiden yksityiskohtia, joihin tulee kiinnittää huomiota, jos särmäyksen taivutuskulmaa muutetaan. Lisäksi voidaan verrata eri teräslaatuojen taivutuskulmia, jolloin nähdään heti, mitä teräslajin muutos vaikuttaa taivutussäteeseen.

Tulokseksi saatiin helppokäyttöinen materiaalinimikkeiden valinta ja -hallintatyökalu, jolla voidaan hallita käytössä olevia materiaalinimikkeitä sekä rajata niiden määrää ja tällä tavoin helpottaa suunnittelijan materiaalinvalintaa. Lisäksi yritys sai yleistä materiaalitietoutta, jota voidaan käyttää hyväksi materiaalinvalintaa tehtäessä.

7.2 Johtopäätökset

Kilpailukyvyyn ylläpitäminen nykyisessä kovassa kilpailutilanteessa on haastava tehtävä. Tässä tehtävässä myös materiaalin valinnalla on hyvin merkittävä osuus. Materiaalinvalinta on laaja kokonaisuus, jossa pitäisi saada valittua paras materiaaliominaisuuksien yhdistelmä mahdollisimman edullisesti. Materiaalinvalintaa tehtäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että pelkkä teräksen hinta ei ole koko totuus materiaalin hinnan muodostumisessa ja kilpailukyvyyn ylläpitämisessä. Siirryttäessä käyttämään alemman laatuluokan teräksiä kustannusvaikutukset usein vain siirtyvät paikasta toiseen. Esimerkiksi osien valmistustarkkuus voi kärsiä alemman laatuluokan teräksen laadunvaihtelun takia. Tämä taas aiheuttaa hitsauskokoontyössä suuria ongelmia, etenkin robottihitsauksessa prosessin vaatiman korkean osa- ja sovitettarkkuuden takia. Tästä aiheutuu läpimenoaikojen pitenemistä, ja aiheutuneet kustannukset voivat helposti syödä moninkertaisesti alemmasta materiaalin hinnasta saadun edun. Laatuterästen laadunvaihtelu on pienempää ja muovattavuus parempaa, tällöin niiden käyttäytyminen tuotannon eri vaiheissa voidaan ennakoida ja täten voidaan varmistaa häiriötön tuotanto.

Pyrittäessä alentamaan tuotteen valmistuskustannuksia tehokkaimpia tapoja ovat yksinkertainen tuotteen konstruktio ja osien vähentäminen. Osien tekeminen sär-

määrällä on järkevää, jos sillä voidaan vähentää osien määrää ja sitä kautta nopeuttaa kokoonpantavuutta. Materiaalinvalinnan kannalta tulisi myös tarkastella, voitaisiinko osia vähentää tai yksinkertaistaa esimerkiksi käyttämällä valuja.

Kustannustehokkaassa materiaalinvalinnassa voidaan todeta, että kokonaisuus ratkaisee. Materiaalinvalinnan kokonaiskustannukset muodostuvat hyvin monesta osasta, missä piilee myös valinnan haasteellisuus; pitäisi nähdä materiaalinvalinnan kokonaisvaikutus kustannuksiin ja laskea sen perusteella edullisin vaihtoehto.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2003. *Koneenosien suunnittelu*. 4. painos. Porvoo: WSOY.

Farmi Forest Oy [viitattu 9.2.2011]. Saatavissa: <http://www.farmiforest.fi/fi/>.

Kivivuori, S. 2008. *Muokkaustekniikan perusteet* [verkkodokumentti]. Aalto-yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu. Noppa-portaali [viitattu: 4.3.2011]. Saatavissa: <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/mt-0.2116/materiaali>.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2006. *Konetekniikan materiaalioppi*. 10.-11. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kotilainen, H. & Rantanen, M. 1981. *TEKNINEN TIEDOTUS 22/81. Materiaalinvalinta- Yleisohjeet*. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteen*. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2000. *Materiaalit ja niiden käyttö*. Porvoo: WSOY.

Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET. 2001. *Raaka-ainekäsikirja. Osa 1. Muokatut teräkset*. 3. uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Rautaruukki Steel. 2000. *Suunnittelijan opas*. Keuruu: Otava.

Ruukki Oyj. 2011. [viitattu: 22.3.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset/Ruukki-Laser/käsittelyohjeet>.

SFS-EN 10025. 1994. *Kuumavalssatut seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 10025-2. 2004. *Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 10027-1. 2005. *Terästen nimikejärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet*. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

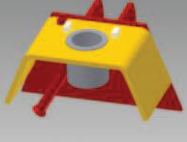




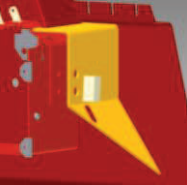
SFS-EN 10149-2. 1996. *Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen toimitusehdot*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.





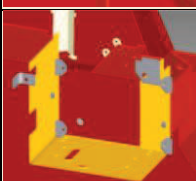

SFS-EN ISO 6892-1. 2009. *Metallien vetokoe. Osa 1: Vetokoe huoneenlämpötilassa*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

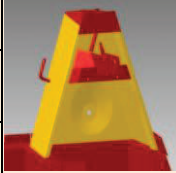
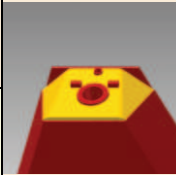

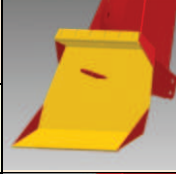



Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. 2006. *Hitsauksen materiaalioppi*. 2. painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.





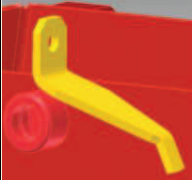
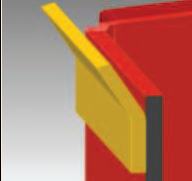
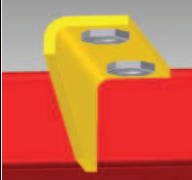
Tekes. Ohjelmat. Tuotantokonseptit. Projektit [viitattu: 25.1.2011]. Saatavissa: <http://www.tekes.fi/fi/community/Etusivu/307/Etusivu/381>.

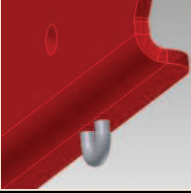

Teräsrakenneyhdistys. Opiskelijoille. [verkkosivu]. 2008 [viitattu: 18.2.2011]. Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/opiskelijoille.htm>.

JL50 rungon levysetti (SFF50T01)								
Numero		Osa	Kuvaus		Taivutussädetä muutettaessa huomioitavaa	Taivutussäde tällä hetkellä (mm) 355 MC Optim	Min taivutussäde (mm) S355MC	Min taivutussäde (mm) S355J2C
43036020		1	HATTULEVY		Aihion pituuden muutos.	10	10	25
	51038701	1	LEVY PL10X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036040		3	TYÖNTÖVARREN KORVA		Aihion pituuden muutos.	10	10	25
	51038701	1	LEVY PL10X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036050		4	VAIPPALEVY		Aihion pituuden muutos. Reikiä lähellä särmäystä.	5	2	8
	51038644	1	LEVY PL4X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036070		5	PUSKULEVY		Aihion pituuden muutos. Ohjausnastojen sijainnin muutokset.	10	8	20
	51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036080		6	ULOIN KORVAKE VASEN		Aihion pituuden muutos. Reikä lähellä särmäystä. Ohjausnastojen sijainnin muuttuminen.	10	8	20
	51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036090		7	ULOIN KORVAKE OIKEA		Aihion pituuden muutos. Reikä lähellä särmäystä. Ohjausnastojen sijainnin muuttuminen.	10	8	20
	51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					

JL50 rungon levysetti (SFF50T01)							
Numero	Osa	Kuvaus		Taivutussädetä muuttettaessa huomioitavaa	Taivutussäde tällä hetkellä (mm) 355 MC Optim	Min taivutussäde (mm) S355MC	Min taivutussäde (mm) S355J2C
43036120	9	KORVAKE 164		Aihion pituuden muutos. Reikä lähellä särmäystä.	10	8	20
	51038685	1 LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036130	10	KORVAKE 64		Aihion pituuden muutos. Reikä lähellä särmäystä.	10	8	20
	51038685	1 LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036140	11	SISEMPI KORVAKE VASEN		Aihion pituuden muutos. Ohjausnastojen sijainnin muuttuminen.	10	8	20
	51038685	1 LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036150	12	SISEMPI KORVAKE OIKEA		Aihion pituuden muutos. Ohjausnastojen sijainnin muuttuminen.	10	8	20
	51038685	1 LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036160	13	RUNKOLEVY		Aihion pituuden muutos. Ohjausnastojen sijainnin muuttuminen.	5	3	12
	51038669	1 LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43036350	19	SALKO		Aihion pituuden muutos.	5	3	12
	51038669	1 LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					

JL351P Rungon hitsaus (23181761)							
Numero	Osa	Kuvaus		Taivutussädetä muutettaessa huomioitavaa	Taivutussäde tällä hetkellä (mm) 355 MC Optim	Min taivutussäde (mm) S355MC	Min taivutussäde (mm) S355J2C
43182650	1	VAIPPA 705X1150		Aihion pituuden muutos.	4	0.75	5
43182740	1	JL450 VAIPPA,AIHIO 3X705X1146					
51038636	1	LEVY PL3X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
SFF351P01	2	LEVYSETTI JL351P RUNKO					
33180043	2	YLÄLEVY 176X306		Aihion pituuden muutos.	10	10	25
51038701	1	LEVY PL10X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43180074	5	ETULATTA 80X440		Aihion pituuden muutos.	8	8	20
51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43180645	6	PUSKULEVY 750X1300		Aihion pituuden muutos.	8	8	20
51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43183300	7	VETOKORVAKE		Aihion pituuden muutos.	4	8	20
51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43183290	8	VETOKORVAKE		Aihion pituuden muutos.	4	8	20
51038685	1	LEVY PL8X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43180199	12	TYÖNTÖVARREN KORVA 80X340 PKM		Aihion pituuden muutos.	5	10	25
51038701	1	LEVY PL10X1,5X6,0 355 MC OPTIM					

HF180 Rungon hitsaus (43516650)							
Numero	Osa	Kuvaus		Taivutussädetä muutettaessa huomioitavaa	Taivutussäde tällä hetkellä (mm) 355 MC Optim	Min taivutussäde (mm) S355MC	Min taivutussäde (mm) S355J2C
43525210	1	SIVULEVY VASEN		Pituuden muutokset.	6	3	12
	51038669	1 LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43516620	3	TUKILEVY		Pituuden muutokset.	4	2	8
	51038644	1 LEVY PL4X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43518400	6	SARANALEVY 55X183		Pituuden muutokset.	10	10	25
	51038701	1 LEVY PL10X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43518040	8 A	OHJURISIMPUKK		Pituuden muutokset.	4	2	8
	51038644	1 LEVY PL4X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43518130	12	YLEMPI SARANALATTA		Pituuden muutokset.	6	3	12
	51038669	1 LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43524470	18	TUKILATTA 60X5 L 253		Pituuden muutokset.	5	2.5	10
	51038651	1 LEVY PL5X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43525190	19	TUKILEVY OIKEA		Pituuden muutokset. Mutterit lähellä särmäystä.	5	2	8
	51038644	1 LEVY PL4X1,5X6,0 355 MC OPTIM					

Keinu yläpuoliselle lipalle (33525700)							
Numero	Osa	Kuvaus	Detalji	Taivutussädetä muutettaessa huomioitavaa	Taivutussäde tällä hetkellä (mm) 355 MC Optim	Min taivutussäde (mm) S355MC	Min taivutussäde (mm) S355J2C
43525710	1	VASEN SIVULEVY		Aihion pituuden muutos. Jousen korva lähellä särmäystä.	5	3	12
	51038669	LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					
43525740	3	TUKIKULMA		Aihion pituuden muutos.	5	3	12
	51038669	LEVY PL6X1,5X6,0 355 MC OPTIM					