

Jari Eloranta

HITSAUSLIITOSTEN MITOITTAMINEN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2015

HITSAUSLIITOSTEN MITOITTAMINEN

Eloranta, Jari
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2015
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 23+31+4
Liitteitä: koulutusaineisto

Asiasanat: hitsaus, SFS 2373, SFS 2378, Eurocode 3

Opinnäytetyön aiheena oli laatia koulutusaineisto Satakunnan ammattikorkeakoulun koneenosien opintojaksoon kuuluvana. Kurssin osa-alueena on hitsausliitosten mitoittaminen perustuen standardeihin: SFS 2373, SFS 2378 ja Eurocode 3. Aineistoa laadittaessa hyödynnetään myös muuta tarjolla olevaa aineistoa: alan oppikirjat ja muu kirjallisuus. Laaditun aineiston tulisi olla sopiva myös itseopiskeluun ja opiskelijan tulisi voida sen pohjalta aloittaa tavallisten hitsausliitosten kestävyystarkastelun staattisessa ja väsyttävässä kuormituksessa.

DIMENSIONING OF WELDED CONNECTIONS

Eloranta, Jari
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
November 2015
Supervisor: Santanen, Teemu
Number of pages: 23+31+4
Appendices: Education material

Keywords: Welding, SFS 2373, SFS 2378, Eurocode 3

Subject of this thesis was to create education material for Satakunta University of Applied Sciences mechanical engineering studies. As a part of the course is dimensioning of welded joints based on the standards: SFS 2373, SFS 2378 and Eurocode 3. Other available textbooks and literature was also utilized on making of the educational material. This material should also be suitable for self-study and the student should be able to dimension welded joints in static and fatigue loading.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN TILAAJANA OLI SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU ELI SAMK.....	7
2.1	SAMK kouluttaa monen alan osaajia.....	7
2.2	Kone- ja tuotantotekniikan koulutus	8
2.2.1	Opintojen sisältö:.....	8
2.2.2	Koulutuksen tavoite	8
2.2.3	Koneenosien kurssi ME080204 (5 op)	9
3	KÄYTETYT STANDARDIT.....	10
3.1	SFS	10
3.2	SFS 2373, Hitsaus, Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden mitoitus ja lujuuslaskenta	10
3.2.1	Johdanto	10
3.2.2	Mitoituksen yleisperiaatteet	10
3.3	SFS 2378, Hitsaus, väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteisen hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta.....	11
3.3.1	Soveltamisala.....	11
3.4	Eurocode 3.....	11
3.4.1	Esipuhe.....	11
3.4.2	Eurocode-ohjelman tausta.....	12
3.4.3	Eurocode-standardien asema ja käyttötarkoitus	14
3.4.4	Eurocode-standardin vahvistaminen kansalliseksi standardiksi.....	14
3.4.5	Eurocode 3 Part 1-8 and 9.....	15
3.5	Standardien vertailu	15
4	TYÖN SUORITUS	17
4.1	Aloituspöytäkirja ja rajaus	17
4.2	Työn lähtökohta	17
5	TYÖN ETENEMINEN	18
5.1	Yleinen perehtyminen	18
5.1.1	Aineistoon perehtyminen	18
5.1.2	Alan kirjallisuuteen perehtyminen.....	18
5.2	Tehtävän rajaaminen	18
6	YHTEENVETO	20
6.1	Työn aloitus	20
6.2	Työn analyysi	20
6.2.1	Miten onnistuivat työssä	20

6.2.2 Aineiston jatkojalostus.....	21
7 LIITTEET.....	22
LÄHTEET.....	23

1 JOHDANTO

Metallisia laitteita ja kokoonpanoja suunniteltaessa tulee huomioida kappaleiden kiinnittämiseen toisiinsa. Hitsaus on yleisin terästen ja metallisten kappaleiden liitosmenetelmä. Hitsausliitoksessa hitsausseura on usein kokoonpanon tai laitteen heikoin kohta rasitusten suhteen. Läpihitsatun rakenteen vahvuus on sama kuin rakenteen vahvuus, mutta paksummilla levyillä ei ole mahdollista tai taloudellista eikä aina aivan välttämätöntäkään tehdä liitosta läpihitsattuna. Näissä tapauksissa hitsausseura ja lähinnä sen pituus ja hitsausseura korkeus eli a-mitta tulee mitoittaa. Hitsausliitosten mitoittamiseen on standardeissa olemassa ohjeistot, joiden perusteet tulisi koneensuunnittelijan tuntea. Aikaisemmin on käytössä ollut SFS 2373 (Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden mitoitus ja lujuuslaskenta) ja SFS 2378 (Väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteisen hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta). Vaikka SFS 2373 ja 2378 ovat korvattu Eurocode 3:lla, se on kuitenkin ollut pitkään käytössä koneensuunnittelussa, joten suunnittelijalle tulee vastaan vielä pitkään tämän standardin mukaisesti rakennettuja laitteita tai rakenteita, joita uusittaessa on myös hyvä tuntea näiden mitoituslähtökohdat. Monissa suunnittelutoimistoissa ja tehtaiden omilla suunnitteluosastoilla käytetään vielä vanhaa ”tuttua” mitoitus tapaa, joten sen käsittely on otettu mukaan tähän aineistoon.

Tässä työssäni olen perehtynyt näihin standardeihin, alan kirjallisuuteen ja muuhun lähdeaineistoon sekä näiden perusteella laatinut Satakunnan ammattikorkeakoulun käyttöön uusitun koulutusaineiston Acrobat PDF muotoon jaeltavaksi aiheena ”hitsausliitosten mitoittaminen”.

2 TYÖN TILAAJANA OLI SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU ELI SAMK

2.1 SAMK kouluttaa monen alan osaajia

Työn tilaaja on Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK), joka kouluttaa satakunnan talousalueella insinöörejä ja muita ammattikorkeakoulu osaajia Porissa, Huittisissa ja Raumalla.

Satakunnan ammattikorkeakoulussa voi opiskella mm. seuraaviin tutkintoihin:

- Insinööri (AMK)
- Fysioterapeutti (AMK)
- Kuvataiteilija (AMK)
- Merikapteeni (AMK)
- Restonomi (AMK)
- Sairaanhoidtaja (AMK)
- Terveystenhoitaja (AMK)
- Sosionomi (AMK)
- Tradenomi (AMK).

Tekniikan alalla voi valita opiskelualan voi valita seuraavien vaihtoehtojen välillä:

- kone- ja tuotantotekniikka
- logistiikka
- merenkulku
- rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
- sähkö- ja automaatiotekniikka
- tieto- ja viestintätekniikka
- tuotantotalous.

Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK) on 6300 opiskelijan ja yli 400 asiantuntijan monialainen, kansainvälisesti suuntautunut korkeakoulu (Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2015).

2.2 Kone- ja tuotantotekniikan koulutus

2.2.1 Opintojen sisältö:

Opetuskieli: suomi

Opintojen suunniteltu kesto: 4 vuotta.

Suoritettava laajuus: 240 opintopistettä

Pohjakoulutus: Tekniikan alan vähintään ammatillinen perustutkinto. Korkeakoulututkinto tai työtekniikan erikoisammattitutkinto ei tuota hakukelpoisuutta.

2.2.2 Koulutuksen tavoite

Kone- ja tuotantotekniikan koulutus tarjoaa monipuolisen väylän insinööriksi. Koulutus on räätälöity erityisesti alueen elinkeinoelämää ja teollisuutta varten.

Kaikki opiskelijat suorittavat konetekniikan ammatilliset perusopinnot. Niistä opiskelija saa sähkö- ja automaatiotekniikan, materiaalien käyttäytymisen, tuotteiden valmistustekniikoiden, rakenteiden ja komponenttien mitoituksen sekä suunnitteluohjelmistojen käytön perusosaamisen. Vaihtoehtoiset ammattiopinnot mahdollistavat opiskelijan ammatillisen suuntautumisen.

Kone- ja tuotantotekniikan koulutuksesta valmistunut voi sijoittua suunnittelu-, tuotanto-, projekti-, automaatio- sekä tuotekehitys- ja asiakaspalveluinsinöörin tehtäviin. Opiskelija perehtyy opinnoissaan alueen monipuoliseen yritys-elämään. Lukuisten pienten ja keskisuurten yritysten lisäksi Satakunnassa on metalliteollisuutta, telakoita, offshore- ja automaatioalan yrityksiä sekä energiantuotantolaitoksia. Nämä yritykset tarvitsevat osaavia kone- ja tuotantotekniikan koulutusalan insinöörejä suunnittelu-, projektinhoito-, valmistus-, kunnossapito- ja käyttötehtäviin (Satakunnan ammattikorkeakoulun [www-sivut](http://www.satakunta.fi) 2015).

2.2.3 Koneenosien kurssi ME080204 (5 op)

Kurssin tavoitteena on että, opiskelija tuntee liittämiseen ja pyörivän liikkeen toteutukseen käytettävät yleisimmät koneenelimet ja osaa mitoittaa niitä ja opiskelijan tulisi hallita elinkaariajattelun pääperiaatteet ja alan terminologian. Kurssin kokonaisu sisältö ovat: Kiila ja puristusliitokset, hitsi- ja ruuviliitosten mitoitusperusteet; jouset, laakeroinnit, akselit, akseliliitokset, kytkimet ja jarrut, hammas-, ketju- ja hihnavälitykset; alan terminologia. Moduulin ydinsisältö on koneenosien toiminnan ymmärtäminen ja valinnan perusteet (Salonen 2011).

3 KÄYTETYT STANDARDIT

3.1 SFS

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on standardisoinnin keskusjärjestö maassamme. Jäsenenä liitossa on elinkeinoelämän järjestöjä ja Suomen valtio. SFS päätehtäviä ovat SFS-standardien laadinta, vahvistaminen, julkaiseminen, myynti ja tiedottaminen.

SFS on jäsenenä kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä ISO:ssa (International Organization for Standardization) ja eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CENissä (European Committee for Standardization).

Pääosa SFS-standardeista perustuu kansainvälisiin tai eurooppalaisiin standardeihin. SFS laatii standardeja yhteistyössä kahdentoista toimialayhteisön kanssa.

SFS:n palveluksessa on 50 henkeä. SFS on perustettu vuonna 1924.

3.2 SFS 2373, Hitsaus, Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden mitoitus ja lujuuslaskenta

3.2.1 Johdanto

Tässä standardissa esitetään hitsausliitosten suunnittelu- ja mitoitusohjeet teräsrakenteille, joiden liitosten kantokyvylle asetetaan vaatimuksia ja jotka ovat pääasiallisesti staattisesti kuormitettuja.

3.2.2 Mitoituksen yleisperiaatteet

Hitsausliitosten mitoitus perustuu niiden kantokykyyn (murtokuormaan, rajakuormaan). Murtotilassa hitsiaine otaksutaan täysin plastisoituneeksi, eli siinä vallitseva jännitystila otaksutaan tasan hitsin laskentapinnalle jakautuneeksi. Hitsin jäähtymisestä ynnä muista johtuvilla sisäisillä jäännösjännityksillä ei katsota olevan vaikutus-

ta liitoksen lujuuteen. Liitoksen mitoille, materiaalien ominaisuuksille ja hitsin sisältämille virheille asetetaan koetulosten perusteella sellaiset rajoitukset, että liitoksen sitkeys riittää tällaisen rajatilan muodostamiseen (SFS 2373; 1980).

3.3 SFS 2378, Hitsaus, väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteisen hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta

3.3.1 Soveltamisala

Standardi on tarkoitettu väsymiskestävyyden tarkasteluun hitsatuille teräsrakenteille, joiden rakenneaineena ovat: hitsattavat rakenneteräkset, hienoraeteräkset tai erikoislujut ja nuorrutetut rakenneteräkset.

Standardi ei koske paineastioita eikä merivedelle alttiina olevia rakenteita tai muita vastaavia korroosiotapauksia (SFS 2378; 1980).

3.4 Eurocode 3

3.4.1 Esipuhe

Tämän standardin EN 1993, Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu on laatinut tekninen komitea CEN/TC250 ”Structural Eurocodes”, jonka sihteeristönä toimii BSI. CEN/TC 250 on vastuussa kaikista rakenteita koskevista Eurocodeista.

Tälle eurooppalaiselle standardille on annettava kansallisen standardin asema joko julkaisemalla standardin kanssa yhtäpitävä teksti tai ilmoittamalla sen voimaansaatamisesta viimeistään marraskuun 2005 loppuun mennessä. Lisäksi ristiriitaiset kansalliset standardit on kumottava viimeistään maaliskuun 2010 loppuun mennessä.

Tämä Eurocode kumoaa esistandardin ENV 1993-1-1.

CEN/CENELECin sääntöjen mukaisesti seuraavien maiden standardisoimisjärjestöt ovat velvollisia vahvistamaan tämän eurooppalaisen standardin: Alankomaat, Belgia, Espanja, Irlanti, Islanti, Iso-Britannia, Italia, Itävalta, Kreikka, Kypros, Latvia, Liettua, Luxemburg, Malta, Norja, Portugali, Puola, Ranska, Ruotsi, Saksa, Slovakia, Slovenia, Suomi, Sveitsi, Tanska, Tšekin tasavalta, Unkari ja Viro.

3.4.2 Eurocode-ohjelman tausta

Vuonna 1975 Euroopan yhteisön komissio päätti Euroopan talousyhteisön perustamissopimuksen eli Rooman sopimuksen (konsolidoidun toisinnon) artiklan 95 perusteella rakennustekniikkaan liittyvästä toimenpideohjelmasta. Ohjelman tavoitteena oli kaupan teknisten esteiden poistaminen ja teknisten vaatimusten yhdenmukaistaminen.

Tämän toimenpideohjelman puitteissa komissio ryhtyi toimenpiteisiin, joiden tarkoituksena oli saada aikaan rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelua varten yhdenmukaistetut tekniset säännöt, jotka aluksi toimisivat vaihtoehtona jäsenvaltioissa voimassa oleville kansallisille säännöille ja lopulta korvaisivat ne.

Komissio on jäsenvaltioiden edustajista koostuvan ohjaavan komitean avulla viidentoista vuoden ajan ohjannut Eurocode-ohjelman kehitystä, mikä johti Eurocode-standardien ensimmäisen sukupolven syntymiseen 1980-luvulla.

Vuonna 1989 komissio sekä EYn ja EFTAn jäsenvaltiot päättivät komission ja CENin välisen sopimuksen perusteella siirtää Eurocode-standardien valmistelun ja julkaisemisen CEN:lle sarjalla mandaatteja; tämän tarkoituksena oli antaa niille tulevaisuudessa eurooppalaisen standardin (EN) asema. Tämä yhdistää tosiasiallisesti Eurocode-standardit kaikkiin eurooppalaisia standardeja koskeviin neuvoston direktiiveihin tai komission päätöksiin (näitä ovat esimerkiksi rakennustuotteita koskeva neuvoston direktiivi 89/106/ETY – rakennustuotedirektiivi – sekä julkisia rakennusurakoita ja palveluhankintoja koskevat neuvoston direktiivit 93/37/ETY, 92/50/ETY ja 89/440/ETY sekä näitä vastaavat EFTAn direktiivit, jotka on pantu vireille sisämark-

kinoiden kehittämiseksi). Rakenteita koskeva Eurocode-ohjelma käsittää seuraavat standardit, joihin kuuluu yleensä useita osia.

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka laatii eurooppalainen standardisointijärjestö CEN Euroopan komission toimeksiannosta. Eurokoodit on kehitetty eurooppalaisen rakennusteollisuuden kilpailukyvyn parantamiseksi sekä Euroopan unionin alueella että muualla maailmassa. Eurokoodien 1. paketti otettiin käyttöön 1.11.2007.

Eurokoodi-järjestelmä sisältää seuraavat pääosat:

- EN 1990 Eurokoodi 0: Suunnittelun perusteet
- EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset
- EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
- EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994 Eurokoodi 4: Teräs-betoniliittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu kestävyys suhteen maanjäristyksessä
- EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu

Eurocode-standardeissa tunnustetaan kunkin jäsenmaan hallintoviranomaisten vastuu ja niissä varmistetaan heidän oikeutensa määrätä varmuusmääräyksiin liittyvät arvot kansallisella tasolla silloin, kun nämä edelleen ovat eri maissa erilaiset.

3.4.3 Eurocode-standardien asema ja käyttötarkoitus

EU:n ja EFTA:n jäsenvaltiot tunnustavat, että Eurocode standardit toimivat viiteasiakirjoina seuraavia tarkoituksia varten:

- välineinä, joilla osoitetaan rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden täyttävän Neuvoston direktiivin 89/106/ETY olennaiset vaatimukset, joita ovat erityisesti olennainen vaatimus nro 1 – mekaaninen lujuus ja vakavuus – ja olennainen vaatimus nro 2 – tuliturvallisuus;
- perustana rakennusurakoiden ja rakentamiseen liittyvien tekniikan alojen urakoiden määrittelyyn;
- rakennustuotteiden yhdenmukaistettujen teknisten eritelmien laatimisen puitteina (EN-standardit ja eurooppalaiset tekniset hyväksynät).

Eurocode-standardeilla, siltä osin kuin ne koskevat itse rakennuskohteita, on suora yhteys rakennustuotedirektiivin artiklassa 12 mainittuihin perusasiakirjoihin vaikka Eurocode-standardit ovat eriluonteisia kuin yhdenmukaistetut tuotestandardit. Tämän takia CEN:n teknisten komiteoiden ja tuotestandardeja laativien EOTA:n työryhmien tulee ottaa riittävästi huomioon Eurocode-työstä syntyvät tekniset näkökohdat, jotta saavutetaan näiden teknisten vaatimusten täydellinen yhteensopivuus Eurocode standardien kanssa.

Eurocode-standardeissa esitetään yhteiset rakennesuunnittelusäännöt jokapäiväiseen käyttöön koko rakenteiden ja rakenneosien suunnittelua varten, ovatpa nämä perinteisiä tai luonteeltaan uutta luovia.

Tavanomaisesta poikkeavia rakennetyyppejä tai suunnittelussa tarkasteltavia ehtoja ei käsitellä yksityiskohtaisesti, jolloin suunnittelijalta edellytetään asiantuntevaa lisäharkintaa.

3.4.4 Eurocode-standardin vahvistaminen kansalliseksi standardiksi

Kansallinen standardi, jolla Eurocode vahvistetaan, sisältää CEN:n julkaiseman Eurocode-standardin tekstin täydellisenä, mahdolliset liitteet mukaan luettuina. Ennen

tekstiä voi olla kansallinen kansilehti ja kansallinen esipuhe ja tekstin jälkeen voi olla kansallinen (opastava) liite.

Kansallinen (opastava) liite voi sisältää tietoa vain niistä parametreista, jotka on jätetty Eurocode standardissa auki kansallista valintaa varten ja joista käytetään nimitystä kansallinen parametri. Näitä käytetään kyseisessä maassa toteutettavien rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnitteluun,

eli:

- arvot tai luokat, kun Eurocode-standardissa esitetään vaihtoehtoja;
- käytettävät arvot, kun Eurocode-standardissa esitetään vain tunnus;
- maalle tunnusomaiset tiedot (maantieteelliset, ilmasto koskevat ...),
esimerkiksi lumikartta;
- käytettävä menettely silloin, kun Eurocode-standardissa esitetään vaihtoehtoisia menettelyjä.

Se voi sisältää myös:

- opastavien liitteiden soveltamista koskevia päätöksiä;
- viitteitä lisätietoja sisältäviin lähteisiin, jotka eivät ole ristiriidassa Eurocode-standardin kanssa ja joiden tarkoituksena on auttaa käyttäjää soveltamaan Eurocode-standardia.

3.4.5 Eurocode 3 Part 1-8 and 9

Tämä työ liittyy standardiin EN 1993-1-8 eli Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: General - Design of joints, jonka Suomen vastine on SFS-EN1993-1-8 Teräsrakenteiden liitosten suunnittelu. Standardissa on käsitelty hitsausliitokset sekä niitatut liitokset.

(Suomen standardoimisliiton [www](http://www.sfs.fi)-sivut 2015).

3.5 Standardien vertailu

Korvatut standardit SFS 2373 ja SFS 2378 ovat olleet ensisijaisesti konesuunnittelijoiden käyttöön laadittuja. SFS perustuu IIW:n normeille (Niemi 1993, 202) ja on siten lähempänä koneenrakennusta. Eurocoden lähtökohta ja kohderyhmä on enem-

mänkin rakennussuunnittelu (esimerkiksi rakennukset ja sillat). Standardi käsittelee hyvin yksityiskohtaisesti erilaiset liitokset, erityisesti palkkirakenteet, joissa liitostapana voi olla ruuvikiinnitys tai hitsausliitokset. Eurocode standardissa on myös tarkasteltu palomitoitus.

Koneenrakennuksen kannalta standardi sisältää turhankin runsaasti erityistapauksia palkkirakenteista. Konesuunnittelija on kuitenkin ensisijaisesti kiinnostunut voimaliitosten kestävydestä.

Eurocode 3 ja SFS 2373:ssa käytetään periaatteessa samoja mitoitusmenetelmiä: yksinkertaistettu ja komponenttimenetelmä. Menetelmissä on kuitenkin seuraavat eroavaisuudet:

- Eurocoden mukaisessa mitoituksessa käytetään vetomurtolujuutta ja SFS 2373:ssa myötörajaa. Tämä on myös huomioitu yksinkertaisessa mitoituksessa. Eurocode 3 mukaisessa on tällöin 25 % suurempi osavarmuusluku (Kouhi).

4 TYÖN SUORITUS

4.1 Aloitus ja rajaus

Työ aloitettiin aiheeseen tutustumalla professori Juha-Matti Kivisen toimeksiannosta. Työn ohjaajaksi nimettiin aluksi Markku Salonen, jonka kanssa sovittiin aiheen tarkemmasta rajaamisesta ja käsiteltävästä alueesta. Hän esitti muun muassa toiveen, että poistuvien standardien mukainen mitoittaminen tulisi olla mukana jossakin määrin. Markku Salosen eläköityä ohjaajana jatkoi Teemu Santanen.

4.2 Työn lähtökohta

Työn tarkoituksena oli laatia kirjallisuusselvityksenä koulutusaineisto sähköisessä muodossa esitettäväksi tai jaettavaksi Satakunnan ammattikorkeakoulun lujuusopin kurssille käsittäen hitsausliitosten mitoittamisen standardien SFS 2373, SFS 2378 ja Eurocode 3 mukaisesti. Aineiston tuli olla sähköisessä muodossa joko Powerpointin PPT-tiedostona, Acrobat Readerin PDF-tiedostona tai Wordin DOC-tiedostona sillä edellytyksellä, että tiedostot olisivat jaettavissa esimerkiksi Moodlessa sekä luettavissa yleisesti käytössä olevilla tietokoneohjelmilla.

5 TYÖN ETENEMINEN

5.1 Yleinen perehtyminen

Aloitin työn aiheeseen perehtymällä. Kertasin SAMK:n aiheeseen liittyvien kurssien aineistoa muun muassa: hitsaustekniikka sekä lujuusopin kurssiaineisto. Tällä hahmottelin kertauksen ohella opetusaineiston kattavuutta. Perehtymiseen kuului myös alan kirjallisuuteen paneutuminen sekä internetin hakujen hyödyntäminen: hitsaustekniikasta ja alan yrityksistä ja opetus- sekä tutkimuslaitoksista.

5.1.1 Aineistoon perehtyminen

Oleellisin osa perehtymisestä oli varsinaiset standardit. Internetistä löytyy muun muassa Teräsrakenneyhdistyksen sivuilta alan kirjallisuuden vinkkejä asiaan enemmän perehtyvälle.

5.1.2 Alan kirjallisuuteen perehtyminen

Teräsrakenteiden ja hitsausliitosten mitoittamisen on tehty useita oppikirjoja. Näitä on laadittu erilaisille kohderyhmille: ammattiopisto, insinöörikoulutus, korkeakoulut ja omaehtoisesti aiheeseen perehtyvät. Useissa sivutaan lyhyesti hitsausliitosten mitoittamista. SFS standardien mitoittamiseen on hyvä aineisto Koneen osien suunnittelu osassa 2. Eurocode 3:n perehtymiseen parhaat neuvot antaa Teräsrakenneyhdistyksen teettämä: Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 oppikirja.

5.2 Tehtävän rajaaminen

Tehtävän alkuun tuli määrittää esitettävän aineiston muoto ja laajuus. Olisiko kyseessä muutaman sivun PowerPoint-esitys vai laajempi lukuaineisto. Mietittävä oli myös oppimistavoitteiden asettaminen, Kaikkea kirjoista haalittua tietoa ei tulisi esittää, vaan tulisi löytää asioista oleellinen. Aineisto sisältää niin paljon kaavoja ja niiden taustoitukseen tarvittavaa tietoa, että päädyin lukuaineiston laatimiseen. Näillä tarjo-

tuilla tiedoilla tulisi pystyä mitoittamaan perustapaukset hitsausliitoksissa. Tämän lisäksi aineistossa mukana lisäinfot käytetyistä ja tarjolla olevista kirjoista, joista kiinnostuksen tai työelämän tarpeiden kasvaessa löytyy apua jatko-opiskeluun.

6 YHTEENVETO

6.1 Työn aloitus

Työ oli melko haastava. Eri kirjallisuuslähteiden yhdistäminen samaan dokumenttiin oli jo haasteena. Eri muodossa ja eri tavoin esitetyt aineistot eivät muodostaneet suoraan valmista kokonaisuutta, vaan se piti ensin hahmottaa itselleni ja saattaa sen jälkeen kirjoitettuun muotoon. Tarjolla oleva aineisto; standardit ja alan kirjallisuus on kaikki laadittu omista tarpeista lähteviksi. Kussakin dokumentissa on eri lähtökohdat, lähestymistavat ja tavoitteet sekä erilainen kohderyhmä.

6.2 Työn analyysi

Valitsemani lähestymistapa osoittautui hankalaksi. Läksin keräämään tietoa liian laajalta alueelta; perehtyen ensin kokonaisalueeseen ja siirtyen lähemmäksi vähitellen asian sisintä – ydinaluetta- eli ulkoa sisällepäin vaikka työn loppuun saattamisen kannalta toinen lähestymistapa olisi ollut parempi. Mutta valinta oli tämänlainen osittain omasta halustani perehtyä asiaan laajalta näkökulmalta samalla tyydyttäen uteliaisuuteni tähän aihepiiriin.

Näiden lisäksi työn suorittamisen jaksottaisuus ja katkonaisuus aiheuttivat omat haasteensa perhe-elämän ja työssäkäynnin ohessa.

6.2.1 Miten onnistuin työssä

Oma osaaminen on kasvanut ja aihepiiri on tullut tutuksi. Pitkään pohdin aineiston laatiessani sen laajuutta ja kattavuutta pyrkien tekemään riittävän laajasti käsittelevän opetusaineiston tuoden kaiken oleellisimman esiin ilman että kaikkia detaljeja käsitellään. Toteaisin että olen tässä itselleni asettamassani tavoitteessa onnistunut. Aineiston käsittely on hieman rönsyilevä käsittäen taustoituksen, vanhat ja uudet standardit pyrkien samalla olemaan käsikirjamainen opetusaineisto.

6.2.2 Aineiston jatkojalostus

Aineistoa voitaisiin koekäyttää jollakin SAMK:n koneosaston lujuuslaskentakurssilla ja todentaa esitysmateriaali sopivuus opetuskäyttöön. Selvitettävä olisi aineiston yleinen laajuus ja soveltuvuus sekä selkeys tulisi huomioida. Myös poistuneiden standardien osuus tulisi lyhentää info- tai historiikkitasolle. Jouko Kouhi Teräsra-kenneyhdistyksestä on tekemässä uutta suomenkielistä käsikirjaa Eurocode 3:sta, jol-loin oppilaitoksen itse tuottamalle opetusaineistolle ei todennäköisesti ole enää niin suurta tarvetta. Tätäkin teosta on jo odotettu jonkin aikaa ilmestyväksi, joten jonkin aikaa on tultava toimeen muilla keinoin.

7 LIITTEET

Liite 1. Koulutusaineisto hitsausliitosten mitoittamiseksi.

Liite 2. Desing guide. Lyhyt koulutusaineisto

LÄHTEET

<http://samk.fi>

<http://samkhakuopas.wordpress.com/insinööri-amk-2/kone-ja-tuotantotekniikka/>

Kurssin ME080204 opintojaksoseleste vuodelle 2011-2012, Markku Salonen 25.08.2011.

Niemi, E. Kemppi, J. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet, Helsinki: Painatuskeskus Oy. 337 s. 1993. ISBN: 951-37-1115-3

SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1980. 38 s.

SFS 2378. Hitsaus. Väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1980. 51 s.

Suomen standardoimisliiton www-sivut, <http://sfs.fi> 2015

TERÄSRAKENTEIDEN HITSAUSLIITOSTEN MITOITTAMINEN

ESIPUHE

EUROCODE 3 korvaa kansalliset SFS-standardit. Teräsrakenteiden suunnittelussa ei ole saanut 1.4.2010 lähtien käyttää muita kuin yhteisiä eurooppalaisia standardeja, jos suunniteltu tuote tai rakenne tulee käyttöön EU-alueella.

Vanhan standardien mukainen mitoitus tulisi kuitenkin tuntea, kun on tarpeen korjata tai uusia aikaisemmin SFS-standardien mukaisesti mitoitettua rakennetta.

Poistuvien SFS-standardien mukainen mitoituskäytäntö yhä laajassa käytössä, jonka vuoksi ne ovat mukana esiteltynä tässä aineistossa.

Tähän aineistoon on pyritty esittämään perusteet ja oleellimmat asiat liittyen SFS ja Eurocode standardien mukaiseen hitsausten mitoittamiseen. Standardit itsessään ja alan kirjallisuus antavat tarvittaessa asiaan vihkiytyvälle lisää tarkempaa tietoa.

YLEISTÄ HITSAUKSESTA

Hitsaus on kappaleiden liittämistä toisiinsa hitsaamalla tai juottamalla.

Hitsaus on usein läpihitsattu, jolloin liitos on yhtä vahva kuin perusaines ja tällöin mitoitus vastaa perusaineen lujuutta (täyden tunkeuman). Standardien SFS 2373 ja 2378 yhteydessä käytetyistä hitsausliitosten lujuuskertoimista arvot on esitetty standardissa SFS 2226 (myöskin jo vanhentunut kuten SFS 2373 ja SF 2378). Eurocodessa käytetyt vetolujuuden nimellisarvot ja korrelaatiokertoimet määritellään taulukossa 4.

Hitsausliitosten mitoittamiseen on aikaisemmin käytetty standardia SFS 2373 ja mitoitusta on myös käsitelty eurooppalaisissa suunnitteluohjeissa Eurocode 3:ssa. Kummassakin lähtökohtana on valittu liitosrakenne, jonka hitsien a-mitat pitää määrittää.

Hitsejä sisältävien liitosten rakenteiden muotoilua, valintaa tai suunnittelua ei käsitellä missään määräyksissä tai ohjeissa, eikä teräsrakentealalla löydy siihen mitään yleisiä oppaita. Suurin osa todetuista virheistä on kuitenkin tehty valmisosien kokoonpanoliitosten muotoilussa, tai niiden ominaisuuksien valinnassa (Leino 2006, 4).

Eurocodessa annettuja suunnitteluohjeita saatetaan pitää monimutkaisina verrattuna totuttuihin kansallisiin ohjeisiin. On hyvä muistaa, että suunnittelijan on aina sallittua tehdä sellaisia laskentaa helpottavia yksinkertaistuksia, jotka johtavat varmalle puolelle (Rautaruukki 2010, 71).

Varusteluhitsi

Rakenteisiin joudutaan usein hitsaamaan kiinnikkeitä, kaapeleita, putkistoa ynnä muuta osaa esimerkiksi instrumentointia varten. Kun kuormitukset ovat pieniä, varusteluhitsien mitoitus määräytyy hitsausmetallurgisista syistä.

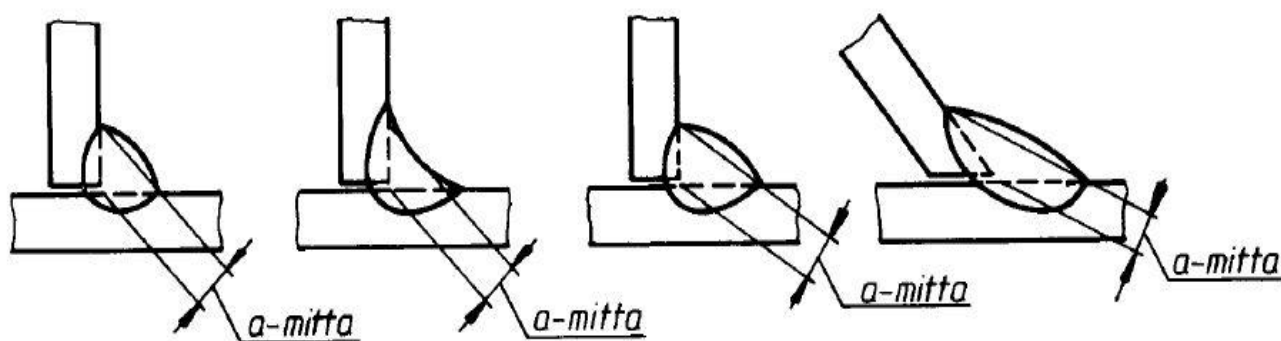
Mitoittaminen

Hitsausliitosten mitoittaminen on tehtävä, mikä alkaa sen jälkeen kun liitoksen osakokoonpano ja liitoksen ominaisuudet on valittu. Mitoittamiseen liittyy hitsityyppien ja hitsien pituuksien ja paikkojen valintaa sekä hitsien a-mittojen määrittämistä.

Staattista kantokykyä (SFS 2373) ja väsymistä (SFS 2378) koskevat lujuuslaskelmat eivät korvaa toisiaan, vaan ne olisi tehtävä rinnakkain. Jos kuitenkin jännitysvaihtelujen suuruus ja tai lukumäärä on pieni, voidaan väsymistarkastelusta luopua. Sama tarkastelu koskee tietenkin myös Eurocoden mukaisessa suunnittelussa.

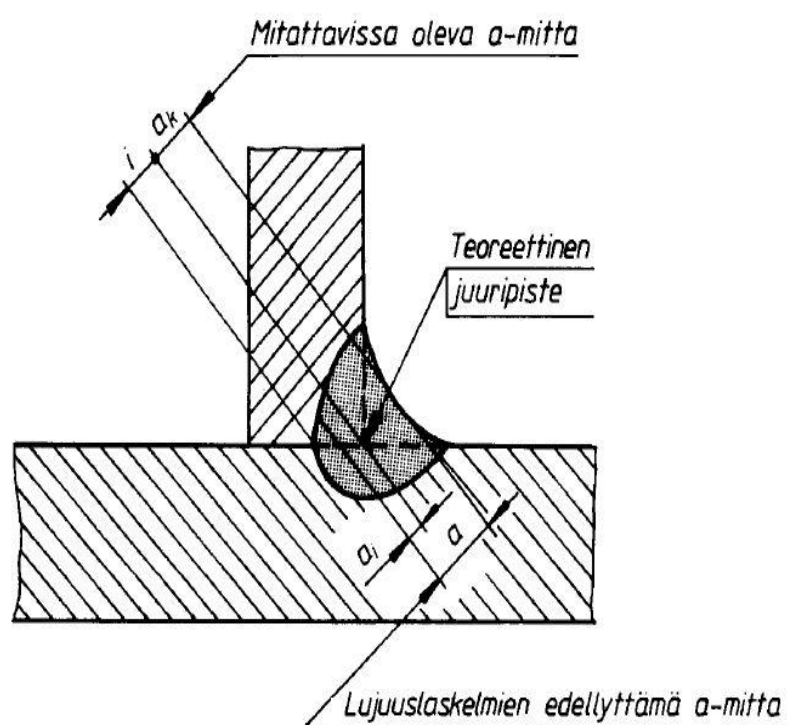
Tunkeuman hyödyntäminen

Tunkeumalla tarkoitetaan sitä osuutta hitsistä, joka on tunkeutunut perusaineen sisälle. Pienaliitoksissa hitsin a-mittaa käytetään liitoksen laskentapaksuutena. A-mitalla tarkoitetaan pienahitsin sisään piirretyn tasakylkisen kolmion korkeutta, jossa kyljet yhtyvät hitsirailon kylkiin. A-mitta on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. A-mitta

Tunkeuman hyväksikäytöllä tarkoitetaan sitä, että hitsauksen tunkeuma hyödynnetään liitoksen lujuuslaskelmissa. Tunkeuman hyväksikäytön periaate on esitetty kuvassa 3.



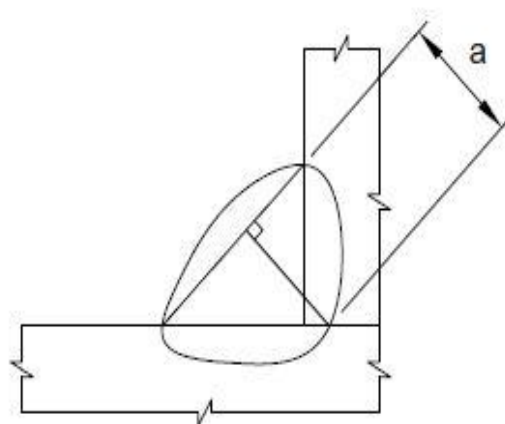
Kuva 3. Tunkeuman hyväksikäytön periaate

Käytettäessä hyväksi hitsin tunkeumaa, hitsin kupu voidaan jättää pienemmäksi. Tämä vaikuttaa positiivisesti hitsauksen kustannuksiin, koska lisäainetta kuluu näin vähemmän.

Se nopeuttaa myös kappaleen hitsattavuutta sekä pienentää hitsauksesta aiheutuvia lämpömuodonmuutoksia, johtuen pienemmästä hitsin tilavuudesta ja tätä kautta hitsiin johtuvasta lämpömäärästä. Standardissa SFS 2373 on esitetty tunkeuman hyväksikäyttöön liittyviä arvoja laskennan perusteeksi. Jos tunkeuma pystytään mittaamaan luotettavasti käyttämällä apuna esimerkiksi ultraääntä, voidaan mitatusta tunkeumasta hyödyntää jopa 90 % teholliseksi tunkeumaksi.

Laserhitsauksessa ei voi käyttää a-mitta mitoitus, joten mitoituksessa se käsitellään läpihitsattuna eli rakenteen mukaan mitoittavaksi.

Suunnittelija merkitsee konepajapiirustuksiin aina laskelmien edellyttämän efektiivisen a-mitan ilman tunkeuman vaikutusta. Mekanisoitua hitsausta käytettäessä konepajassa voidaan harkita tunkeuman hyväksikäyttöä kuvan 5 mukaisesti edellyttäen, että hitsauskokein osoitetaan, että vaadittu tunkeuma voidaan jatkuvasti saavuttaa käytettävällä hitsausmenetelmällä.



Kuva 5 Tunkeuman hyväksikäyttö konepajassa

Hitsausstandardien vertailu

Korvatut standardit SFS 2373 ja SFS 2378 ovat olleet ensisijaisesti konesuunnittelijoiden käyttöön laadittuja. SFS perustuu IIW:n normeille (Niemi 1993, 202) ja on siten lähempänä koneenrakennusta. Eurocoden lähtökohta ja kohderyhmä on enemmänkin rakennussuunnittelu (esimerkiksi rakennukset ja sillat). Standardi käsittelee hyvin yksityiskohtaisesti erilaiset liitokset, erityisesti palkkirakenteet, joissa liitostapana voi olla ruuvi kiinnitys tai hitsausliitokset. Eurocode standardissa on myös tarkasteltu palomitoitus.

Koneenrakennuksen kannalta standardi sisältää turhankin runsaasti erityistapauksia palkkirakenteista. Konesuunnittelija on kuitenkin ensisijaisesti kiinnostunut voimaliitosten kestävydestä.

Eurocode 3 ja SFS 2373:ssa käytetään periaatteessa samoja mitoitusmenetelmiä: yksinkertaistettu ja komponenttimenetelmä. Menetelmissä on kuitenkin seuraavat eroavaisuudet:

- Eurocoden mukaisessa mitoituksessa käytetään vetomurtolujuutta ja SFS 2373:ssa myötörajaa. Eurocode 3 mukaisessa on tällöin 25 % suurempi osavarmuusluku
- Yksinkertaistettu menetelmä johtaa suurimmillaan noin 22 % ylimitoitukseen (Kouhi).

Taulukossa 1 esitetään vertailu ohjeen B7 (SFS 2373) ja standardin EN 1993-1-8 antamien pienahitsien kestävyyksien välillä eräissä tapauksissa. Taulukossa 1 todetaan, että EN 1993-1-8 antaa 1,07 ... 1,18-kertaisia mitoituslujuuksia ohjeeseen B7 1996 verrattuna.

Taulukko 1. Pienahitsin mitoituslujuuksien vertailu (Kouhi).

Teräslaji	f_y (Mpa)	f_u (Mpa)	β_w	Mitoitus lujuus $\gamma_{M2} = 1,25$ (Mpa)	β (SFS 2373)	Mitoitus lujuus $\gamma_m = 1,0$ (Mpa) (B7 1996)	Suhde: EN 1993-1-8/B7 1996
S235	235	360	0,8	360	0,7	335,7	1,07
S275	275	430	0,85	404,7	0,8	343,8	1,18
S355	355	510	0,9	453,3	0,9	394,4	1,15
S420 N/NL	420	540	1,0	432	–	–	–
S460 N/NL	460	570	1,0	456	–	–	–

1) Voimassa, kun ainepaksuus $t \leq$ viitestandardin antama raja-arvo

SFS 2373 Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta.

Läpihitsattujen liitosten kuten päittäisliitosten ja esimerkiksi K-hitseillä varustettujen T- ja ristiliitosten kantokykyä ei tarvitse laskea, koska standardin pätevyysalueella hitsiaine on vähintään yhtä luja kuin liitettävä rakenneteräs. Osaviistettyihin railoihin tehtävät hitsit, joissa ei pyritä läpihitsaukseen, käsitellään pienahitseinä. Tavallisempia lujuuslaskentaa vaativia hitsejä ovat pienahitsein varustetut päällekkäis- ja kulmaliitokset.

Standardin mukainen laskentatapa ei sovellu liian pienen eikä liian suuren a-mitan omaaviin pienahitseihin. Liian pienet hitsit jäähtyvät liian nopeasti ja niiden mikrorakenne saattaa tulla liian kovaksi ja sitkeydeltään riittämättömiksi. Liian paksuissa pienahitseissä muodonmuutoskyky heikkenee, koska venymät juuren puolella kasvavat ja on hyvin suuri riski lovivaikutuksen johdosta. Silloin juuren puoli voi alkaa revetä, ennenkuin laskentakaavojen otaksuma jännitysten tasaantuminen koko poikkileikkaukseen on tapahtunut. Näistä syistä a-mitalle on annettu rajat:

Liitoksen mitoitusta koskevat rajoitukset.

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 15 \text{ mm} \quad (1.1)$$

Yläraja 15 mm on järkevä myös taloudelliselta kannalta. Railo kannattaa viistää ja hitsi muuttaa esimerkiksi puoli-V-hitsiksi, jos näin suuri a-mitta on todella tarpeen.

Suunniteltaessa pienahitsin a-mittaa on syytä ottaa huomioon myös riittävä lämmöntuonti, jotta välttyttäisiin käyttämästä korotettua työlämpötilaa. Tällä perusteella on hyvä soveltaa seuraavaa nyrkkikaavaa, jossa t on liitettävän materiaalin paksuus:

$$a \geq \sqrt{t} - 0.5 \text{ mm} \quad (1.2)$$

Esimerkki:

$$t = 40 \text{ mm} \Rightarrow a \geq \sqrt{40} - 0,5 = 5,9 \text{ mm} \text{ valitaan a-mitaksi } 6 \text{ mm}$$

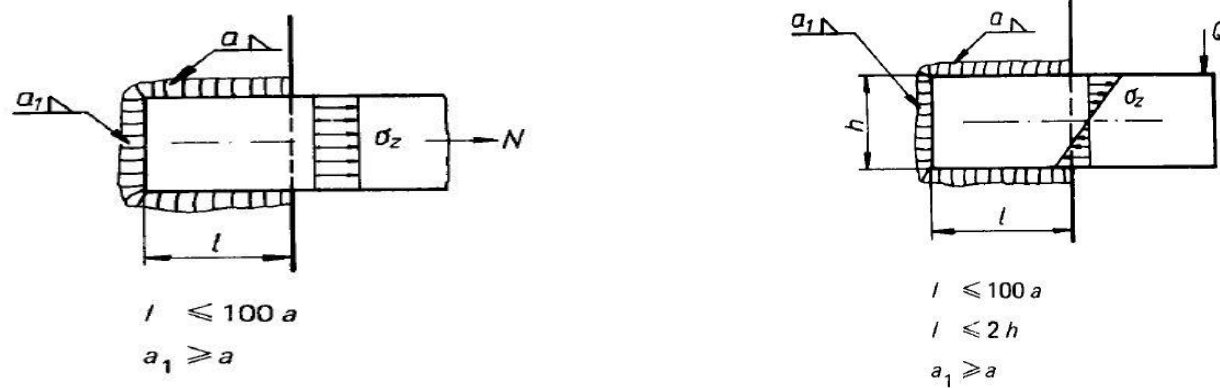
Voimaliitoksessa olevalle kylkihitsille suurin tehollinen kuormaa kantavalle laskentapituudelle on voimassa on rajoitus $100 \cdot a$ eli:

$$l \leq 100 \cdot a \quad (1.3)$$

Liian lyhyetkään pienahitsit eivät ole suositeltavia. Hitsin päätteet eli aloitus- ja lopetuskohta eivät ole laadullisesti aivan täysarvoisia. Näinollen kaikille pienahitseille pätee:

$$l \geq 8 \cdot a \quad (1.4)$$

SFS 2373 lieventää rajoitusta kuitenkin siten, ettei se koske nurkkien ympäri hitsattuja osahitsejä esim. nelikulmaputken päässä.

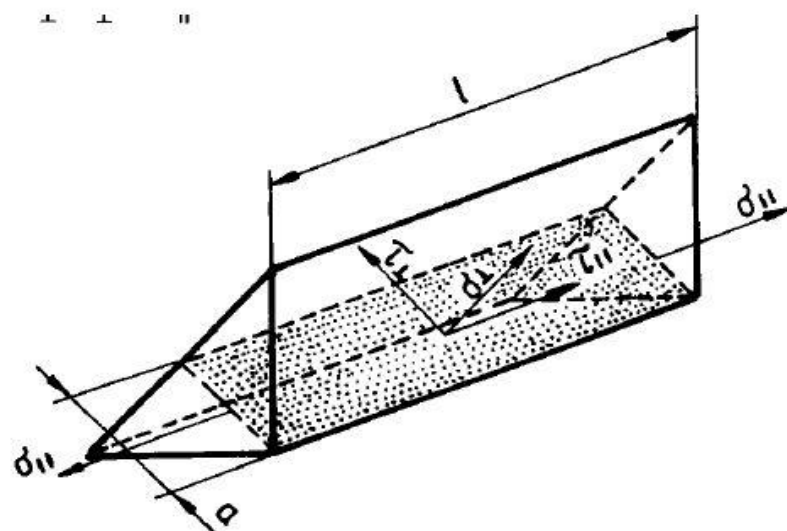


Kuva 6. Päälekkäishitsien mittasuhteille asetettuja rajoituksia.

Yksittäisen pienahitsin kestävyyslaskenta.

Yleistä

Pienahitsin laskentapinta, kuva 7, muodostuu suorakaiteesta, jonka korkeutena on hitsin a -mitta ja pituutena hitsin pituus l . Pienahitsin jännitys σ_w lasketaan primaarisena jännityksenä. Sen arvo saadaan jakamalla tutkittavaan hitsiin (tai sen osaan) kohdistuva rasitus F hitsin laskentapinnalla $a \cdot l$.



Kuva 7. Pienahitsin pinta-ala ja siihen kohdistuvat primaariset jännityskomponentit,

Tarkempi laskentatapa

Hitsiin vaikuttava mielivaltaisen suuntainen voima jaetaan komponentteihin ja kun nämä voimakomponentit jaetaan laskentapinta-alalla, saadaan kuvaan 7 merkityt jännityskomponentit σ_{\perp} , τ_{\perp} ja $\tau_{//}$.

Hitsissä vaikutta vertailujännitys lasketaan kaavasta:

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (1.5)$$

Kerroin β määritellään taulukon 1 mukaisesti

Taulukko 2. Eri rakenneteräksille käytettävät hitsin lujuuskerroin β .

materiaali	β
Fe 360 (Fe 37)	0,7
Fe 430 (Fe 44)	0,8
Fe 510 (Fe 52)	0,9
Fe 420	1
Fe 460	1

Hitsin kestävyys riittää kun seuraavat mitoitus ehdot täytetään:

$$\sigma_{\text{vert}} \leq \sigma_{\text{sall}} \quad (1.6)$$

$$\text{ja } \sigma_{\perp} \leq \sigma_{\text{sall}} \quad (1.7)$$

Yksinkertaisempi laskentatapa:

Jännityksiä ei jaeta komponentteihin, vaan syntyvä jännitys oletetaan aina mahdollisimman epäedulliseksi eli leikkausjännitykseksi τ . Vain kylkihitsejä sisältävälle liitokselle saadaan sama tulos kuin tarkemmalla laskutavalla. Poikittaisia otsahitsejä sisältävässä liitoksessa menettely johtaa lievään ylimitoitukseen. Tästä johtuva taloudellinen menetys on kuitenkin yleensä vähäinen verrattuna suunnittelulaskennan yksinkertaisuuden tuottamiin säästöihin. *Mainittakoon, että eurooppalaisessa suunnitteluohjeessa (Eurocode 3) tämä yksinkertaisempi laskentatapa on perusmenettely.*

Yksinkertaisemman laskentatavan mukaisesti ratkaistaan nimellinen jännitys voiman F suunnasta riippumatta kaavasta

$$\sigma_w = F/(a \cdot l) \quad (1.8)$$

Mitoitusehdot kuuluvat tässä tapauksessa

$$\sigma_w \leq \sigma_{\text{sall}} \quad (1.9) \text{ (tai } f_{wd})$$

missä

$$\sigma_{w\text{sall}} = \sigma_{\text{sall}} / (\beta \cdot \sqrt{3}) \quad (1.10)$$

$$f_{wd} = f_d / (\beta \cdot \sqrt{3}) \quad (1.11)$$

Mitoitusehdot kuuluvat tässä tapauksessa

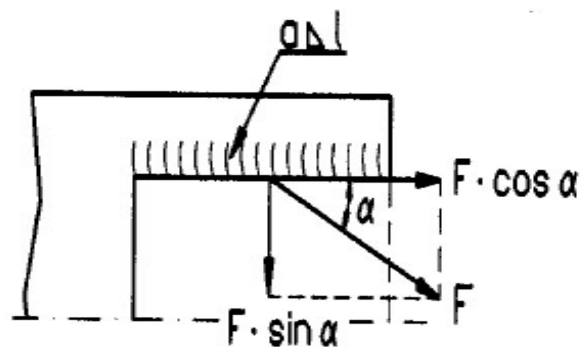
$$\sigma_w \leq \sigma_{sall} \quad (1.9) \text{ (tai } f_{wd})$$

missä

$$\sigma_{wsall} = \sigma_{sall} / (\beta \cdot \sqrt{3}) \quad (1.10)$$

$$f_{wd} = f_d / (\beta \cdot \sqrt{3}) \quad (1.11)$$

Standardi SFS 2373 sisältää useita laskuesimerkkejä kuten kuvan 8 päällekkäisliitos, jossa hitsiä rasittava voima vaikuttaa liitoksen tasossa kulmassa α . Näistä osa on myös liitetty



tämän aineiston liitteeksi.

Kuva 8 Päälekkäisliitos, jossa hitsin rasittava voima vaikuttaa tasossa kulmassa α .

Osion lähteet SFS 2373 ja Koneenosien suunnittelu 2 sivut 418-421.

SFS 2378 Väsyttävästi kuormitettujen hitsausten mitoitus ja lujuuslaskenta (dynaaminen kuormitus).

Eri normien mukaan laskettaessa esiintyy useita tarkastelutapoja:

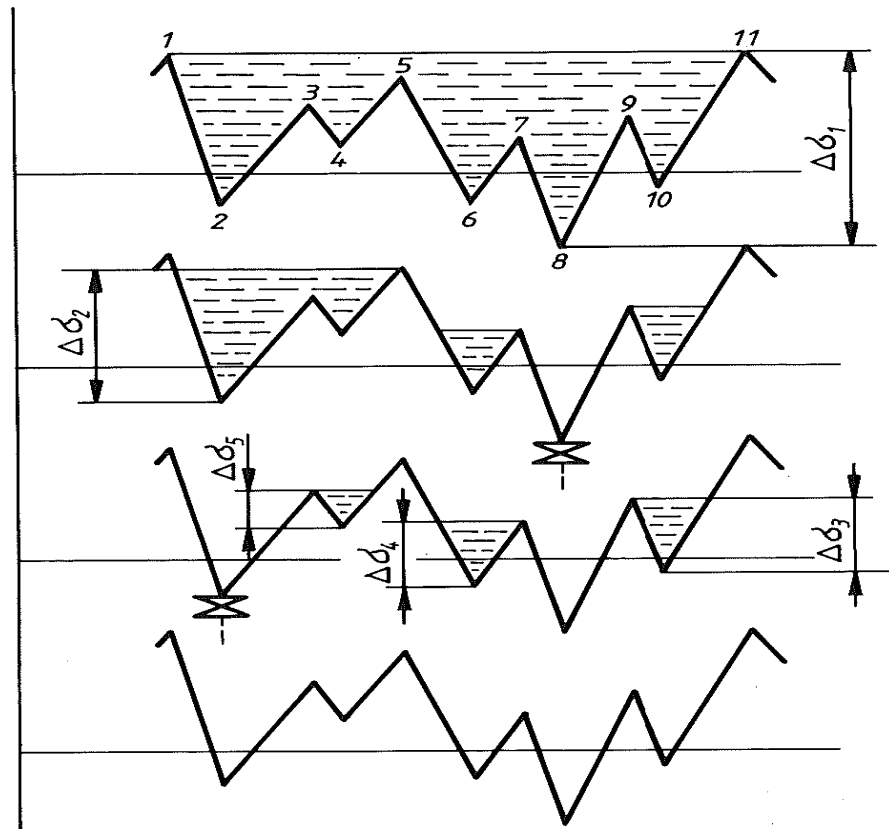
- 1) Nimellisten jännitysten menetelmä, SFS 2378
- 2) Hot-spot menetelmä
- 3) paikalliseen lovikohdan jännitykseen tai venymään ja
- 4) murtumismekaniikkaan perustuva.

Standardi SFS 2378 on tarkoitettu väsymistarkasteluun teräsrakenteisille hitsausliitoksille, jotka normaalisti ovat jälkikäsittelemättömiä ja myöstämättömiä. Rakenteen kuormitukset voivat olla luonteeltaan pysyviä tai muuttuvia. Yleisin pysyvä kuorma on kiinteän kappaleen oma paino. Väsyttävään kuormitukseen voi liittyä myös dynaamisia vaikutuksia. Mitoituksessa selvitetään jännityshistoria.

Taulukko 3 Jännitysvaihtelujen raja-arvoja N_G , joiden alapuolella väsymistarkastelu on tarpeeton.

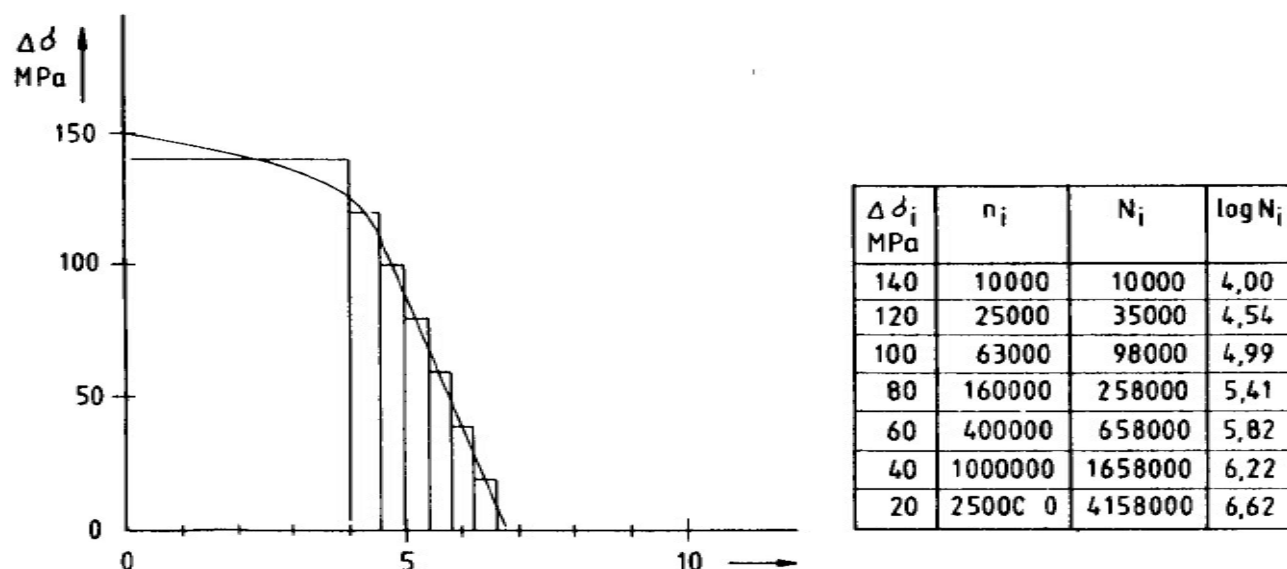
Suurin jännityksen vaihteluväli Biggest stress range $\Delta\sigma_{\max}$ MPa	N_G
25	3 000 000
32	1 400 000
40	700 000
50	370 000
63	185 000
80	90 000
100	46 000
125	24 000
160	11 000
200	6 000
250	3 000
320	1 400
400	700
500	370

Usein käytetään niin sanottua Rainflow-menetelmää, jota kuvataan vesisäiliöanalogialla kuva 9. Rainflow-analyysin tuloksena saadaan $\Delta\sigma - n_i$ -taulukko. Tämä saatu $\Delta\sigma$ -taulukko jaetaan tavallisesti tasavälisiin portaisiin esimerkiksi 32 osaan. Tarkastelujaksoa koskevat lukumäärä n_i on jossain vaiheessa muunnettava laitteen koko käyttöikää vastaavaksi. Kuvassa 10 on jännitysvaihtelujen kertymän graafinen esitys.



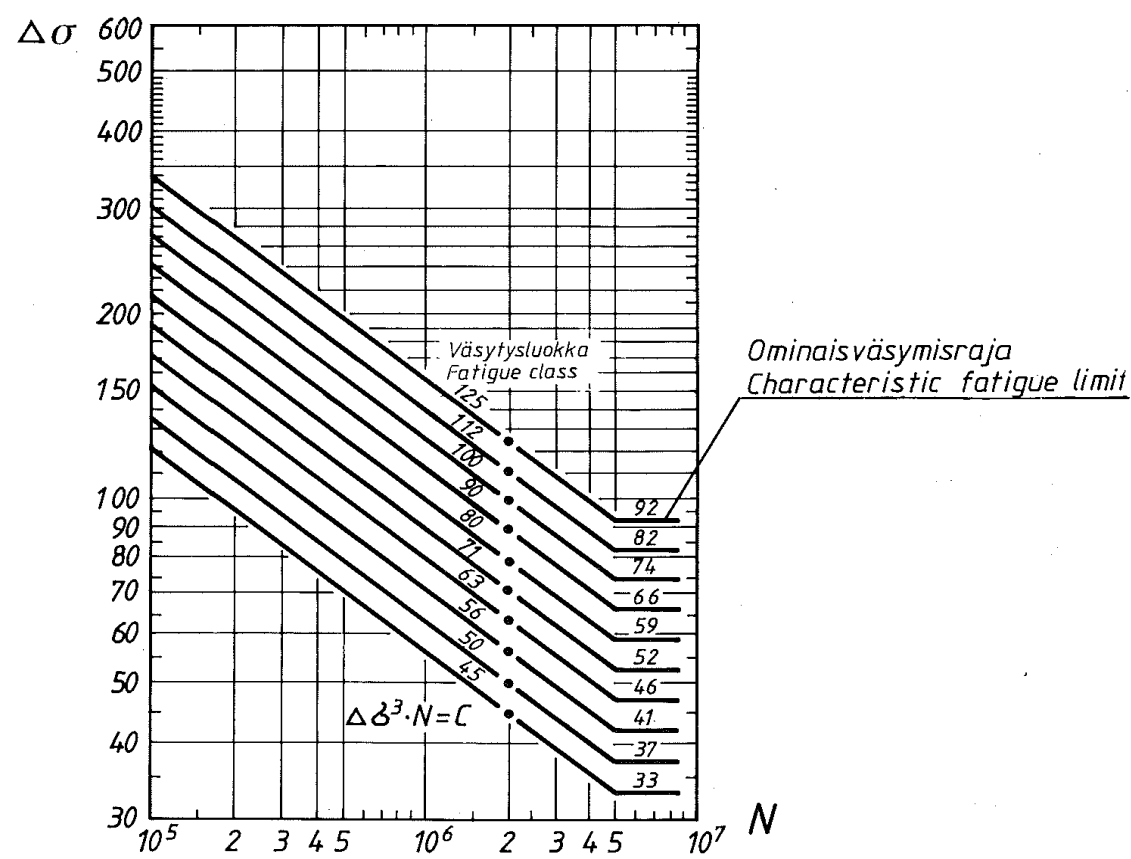
Kuva 9

Rainflow-menetelmän periaate vesisäiliöanalogialla havainnollistettuna. Pohjaventtiilejä avaamalla saadut vedenpinnan laskut vastaavat jännityksen vaihteluvälejä. Avausjärjestys valitaan niin, että aina saavutetaan suurin lasku.



Kuva 10 Jännitysvaihtelujen kertymän muodostamisen periaate $\Delta\sigma - n_i$ (logaritminen asteikko $\log N$).

International Institute of Welding (IIW) on kerännyt ja laatinut kuvan 11 Wöhler-käyrästä. Eri Wöhler-käyrien tunnusmerkkinä on väsytyluokka, joka ilmaisee 2 miljoonan jännitysjakson kestoikää vastaavan väsymislajuuden (Niemi & Kemppi 1993, 246).



Kuva 11. Wöhler-käyrästä

Rakenteen käyttötarkoituksen ja luotettavuusvaatimuksen mukaan näihin käyriin sovelletaan sopivaa osavarmuuslukua γ_m väliltä 1,0...1,6.

Standardi SFS sisältää runsaasti eri tapauksia, joille on määritelty osavarmuusluku ja väsytyluokka.

Paksut kappaleet väsyvät nopeammin kuin ohuet. Tämä vaikutus otetaan huomioon paksuuskertoimella k_s , joka tulee ykköistä suuremmaksi aineen paksuuden ylittäessä 25 mm.

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{s}{25}} \quad (2.1)$$

Vaihtuva-amplitudinen kuormitus otetaan huomioon ekvivalentilla jännitysvaihtelulla, kaava 2.2.

$$\psi = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^k (\Delta\sigma_i^3 \cdot n_i)}{5 \cdot 10^6}} \quad (2.2)$$

Käytännössä toimitaan standardin mukaan liitetyn taulukon avulla, josta saatavalla y -kertoimella päästään suoraan käsiksi ekvivalenttiin jännitysvaihteluun, joka vastaa $5 \cdot 10^6$ jännitysjakson käyttöikä:

$$d_{\text{ekv}} = y \cdot D d_{\text{max}} \quad (2.3)$$

Osion lähteet SFS 2378 ja Koneenosien suunnittelu 2 sivut 434-448.

EUROCODE 3. TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU. OSA 1-8: LIITOSTEN MITOITUS

Pienahitsin mitoitusperiaatteet.:

Pienahitsejä voidaan standardin SFS-EN 1993-1-8: 2005 mukaan käyttää osien liittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on 60°...120°. Myös pienemmät kulmat ovat sallittuja, mutta silloin hitsiä tulee tarkastella osittain läpihitsattuna päittäishitsinä. Kulman ollessa yli 120° ei saa luottaa siihen, että pienahitsi siirtää voimia. Pienahitsejä ei saa lopettaa osien tai sauvojen kulmissa, vaan ne hitsataan jatkuvina ja täysikokoisina kulman ympäri kaksi kertaa hitsin kyljen pituiseksi edellyttäen, että kyseessä oleva hitsaus voidaan tehdä samassa tasossa (Teräsrakenneyhdistys 2010, 105). Katkopianahitsien tapauksessa tätä sääntöä sovelletaan vain nurkkien viimeiseen hitsiin.

Rakennepaksuus tulisi olla vähintään 4 mm.

Katkopianahitsissä hitsaamaton osa ei saa olla suurempi kuin pienin seuraavista arvoista:

- 200 mm
- 12 kertaa ohuemman osan paksuus, jos liitettävä osa on puristettu
- 16 kertaa ohuemman osan paksuus, jos liitettävä osa on vedetty
- yksi neljäsosa jäykisteiden välisestä etäisyydestä, jos hitsiä käytetään jäykisteiden liittämiseen levyyn tai muuhun osaan, joka on puristettu tai leikkausrasituksen alainen.

Katkopianahitsejä ei saa käyttää syövyttävissä olosuhteissa.

Standardin mukainen mitoitus tapa ei sovellu liian pienen eikä liian suuren a-mitan omaaviin pienahitseihin.

Pienahitsin tehollisena pituutena käytetään täysikokoisen pienahitsin kokonaispituutta. Tehollisen pituuden arvoksi voidaan valita hitsin kokonaispituus vähennettynä arvolla kaksi kertaa efektiivinen a-mitta. Edellyttäen, että hitsi on täysikokoinen koko pituudeltaan, ei tehollista pituutta tarvitse pienentää hitsin aloitus- tai lopetuskohtien takia.

Pienahitsejä, joiden tehollinen pituus on lyhyempi kuin suurempi arvoista 30 mm tai 6 kertaa a-mitta, ei käsitellä voimia siirtävinä:

$$l_{\text{eff}} \geq \max [6 \cdot a; 30 \text{ mm}] \quad (3.1)$$

Perusmitoitusmenetelmä

Hitsien perusmitoitusmenetelmänä on niin sanottu komponenttimenetelmä, joka on esitetty ohjeessa EN 1993 1-8: 2005, Design of joints, päävaihtoehtona. Pienahitsiin vaikuttava ulkoinen kuormitus jaetaan siinä komponenteiksi hitsin pituusakselin suuntaan (\parallel) ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan (\perp), sekä hitsin laskentapoikkipinnan suuntaan ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Näitä vastaavat jännitykset (kuva 12) ovat:

$$\sigma_{\perp} = F \sigma_{\perp} / (a l)$$

on normaalijännitys hitsin laskentapoikkipinnassa.

$$\tau_{\perp} = F \tau_{\perp} / (a l)$$

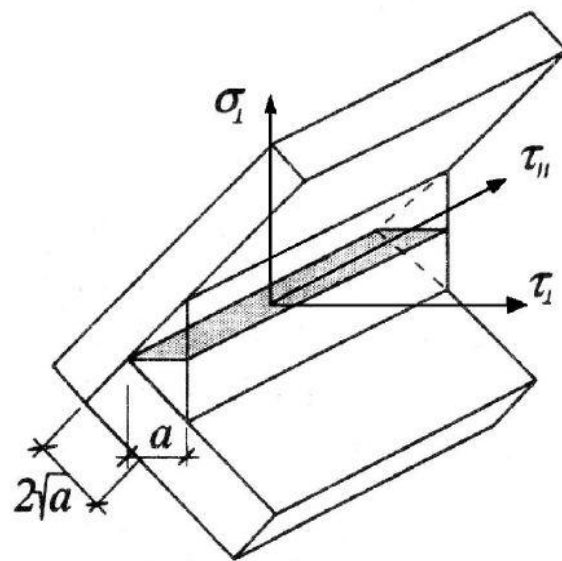
on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa kohtisuoraan hitsin pituussuuntaa vastaan.

$$\tau_{\parallel} = F \tau_{\parallel} / (a l)$$

on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa hitsin pituus suuntaan.

$$\sigma_{\parallel}$$

on hitsin suuntainen normaalijännitys hitsin poikkileikkauksessa (laskentapoikkipinta).



Kuva 12 Pienahitsin jännitykset ja niiden suunnat

Normaalijännitystä σ_{\parallel} ei oteta mitoituksessa huomioon, koska sillä on häviävän pieni vaikutus muihin komponentteihin verrattuna.

Hitsin jännitys ja sen raja-arvo lasketaan von Misesin myötöehdon mukaisesti:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (3.1 \text{ ja } 3.2)$$

missä

- f_u on liitettävistä osista heikomman materiaalin vetumurtolujuuden nimellisarvo
- γ_{M2} on hitsiliitoksen osavarmuusluku.

Jälkimmäisessä kaavassa kerroin 0,9 on Suomen soveltamisohjeen mukainen arvo.

Korrelaatiokerroin b_w otetaan seuraavasta taulukosta 4. Vetomurtolujuuden arvo f_u valitaan standardeista SFS-EN 10025-1...4 riippuen ainepaksuudesta ja teräslajista.

Taulukko 4 Korrelaatiokerroin b_w teräslaaduittain

SFS-EN 10025-1...4 Teräslaatu	S235	S275	S355	S420	S460
Vetomurtolujuuden nimellisarvo f_u	360	430	510	550 (-660)	530 (-720)
Korrelaatio- kerroin b_w	0,8	0,85	0,9	1,0	1,0

Yksinkertaistettu menetelmä

Eurocode 3:ssa esitetään myös yksinkertaistettu kaava, joka ei vaadi jännityskomponenttien tuntemista itse hitsissä, eli voiman suuntaa ei ole rajoitettu. Kaava perustuu keskiarvojännitysmenetelmään, jossa oletetaan hitsin kestävyuden olevan yhtä suuri kuin leikkauslujuus riippumatta siitä, missä suunnassa voima vaikuttaa. Koska hitsi on heikoin puhtaasti leikattuna, keskiarvojännitysmenetelmä antaa varmallalla puolella olevan tuloksen.

Pienahitsin tulee täyttää seuraava mitoitusehto:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (3.3)$$

missä $F_{w,Ed}$ on hitsiin vaikuttava ulkoinen rasitus = F/l , eli pituusyksikköä kohti ja $F_{w,Rd}$ on hitsin vastaava kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti. $F_{w,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a \quad (3.4)$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (3.5)$$

missä a on hitsin a-mitta ja l on hitsin pituus,
 F on hitsiin vaikuttavien ulkoisten voimien resultantin, ja
 $f_{vw,d}$ on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.

Osion lähteet SFS-EN-1993-1-8-2005 ja Leino 2006 sivut 44-47.

Muut huomiot:

Standardissa on lisäksi laajasti tarkat mitoitusohjeet pitkille hitsausaumoille ja katkohitseille.

Taulukko 5. Materiaalivakioiden mitoitusarvot

Rakenneteräksille käytetään laskelmissa materiaalivakioina seuraavia arvoja normaalilämpötilamitoituksessa:

• kimmokerroin	$E=210\ 000\ N/mm^2$
• liukukerroin	$G= E/2(1 + \nu) \approx 81\ 000\ N/mm^2$
• Poissonin luku kimmoisella alueella	$\nu = 0,3$
• lineaarinen lämpölaajeneminen	$\alpha= 12 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ (kun $T \leq 100\ ^\circ C$)
• tiheys	$\rho = 7850\ kg/m^3$

EUROCODE 3. TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU. OSA 1-9: VÄSYMINEN

Suunniteltaessa dynaamisten kuormien rasittamia rakenteita, suunnitteluperusteina tapauksesta riippuen voivat olla:

- rakenteen vaurioituminen
- värähtelyn ihmiseen aiheuttamat fysiologiset ja psykologiset vaikutukset
- värähtelyjen vaikutukset prosesseihin, koneisiin ja laitteisiin.

Dynaamiset kuormat voidaan ottaa huomioon suunnittelussa eri tavoin kohteesta riippuen:

- käytetään sysäyskertoimia tai staattisia korvausvoimia
- lasketaan sisäiset voimasuureet dynaamisella analyysillä ja suoritetaan mitoitus kuten staattisilla voimilla
- estetään rakenteen ja herätteen välinen resonanssitila tai lisätään systeemiin vaimennusta
- vähennetään dynaamista kuormaa.

Kuormavaikutuksia voivat olla esimerkiksi:

- hyötykuorman suuruuden vaihtelu
- kuorman suunnan muuttuminen
- kuorman liikkuminen rakenteeseen nähden
- rakenteen asentojen vaihtelu
- kiihdytykset ja jarrutukset
- ajoradan epätasaisuudet
- rakenteen värähtely
- aalto- ja tuulikuormat
- lämpötilan ja lämpöjännitysten vaihtelu.

Jännitykset lasketaan käyttörajatilassa.

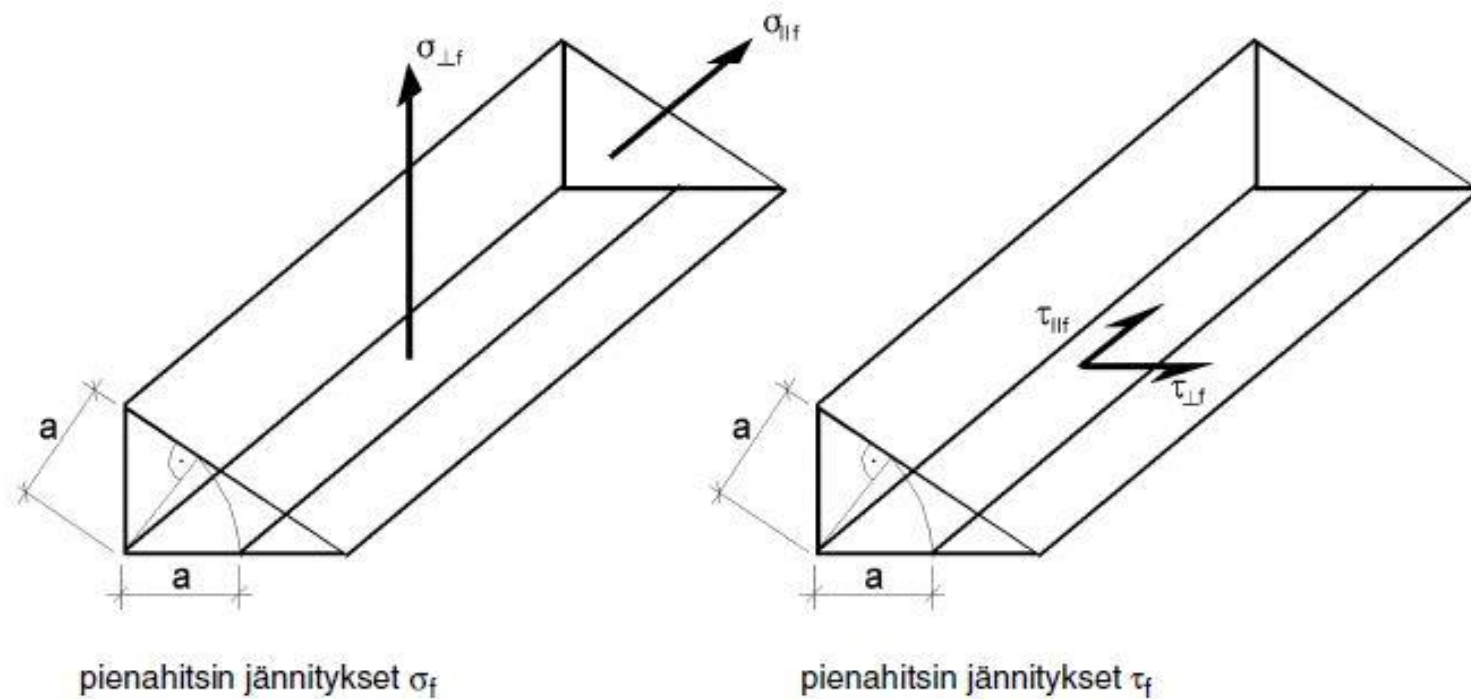
Käytettäessä geometrinen jännitysten (hot-spot-jännitys) menetelmää lasketaan hitsin akselia vastaan kohtisuorat normaalijännitykset

$$\sigma_{wf}: \sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2} \quad (4.1)$$

sekä hitsin akselin suuntaiset leikkausjännitykset:

$$\tau_{wf}: \tau_{wf} = \tau_{\parallel f} \quad (4.2)$$

Joille tehdään jännitysvaihteluvälien laskenta sekä väsymislukuuden laskenta.



pienahitsin jännitykset σ_f

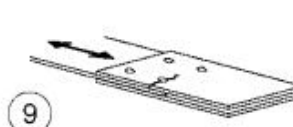
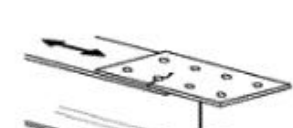

pienahitsin jännitykset τ_f

Jännitysvaihteluvälin laskenta:

Väsymistarkastelu tehdään seuraavasti:

- standardin taulukoista 8.1...8.10 määritellään yksityiskohdille jännitysvaihteluvälit
- käyttämällä geometrisiä jännitysvaihteluvälejä, kun suuria jännitysgradientteja esiintyy standardin taulukon B.1 mukaisten liitosten hitsien rajaviivojen läheisyydessä.

Taulukko 8.1 Sauvat ja levyt sekä mekaaniset liitokset jatkoa

Väsymisluokka	Rakenneyksityiskohta	Kuvaus	Vaatimukset
90	 <p>9)</p>	9) Kaksileikkeinen ruuviliitos soviteruuveja käytettäessä.	9) ... nettopoikkileikkaus.
		9) Kaksileikkeinen ruuviliitos esijännittämättömiä injektioruuveja käytettäessä.	9) ... nettopoikkileikkaus
	 <p>10)</p>	10) Yksileikkeinen ruuviliitos esijännitettyjä korkealujuuksisia ruuveja käytettäessä.	10) ... bruttopoikkileikkaus.
		10) Yksileikkeinen ruuviliitos esijännitettyjä injektioruuveja käytettäessä.	10) ... bruttopoikkileikkaus.
	 <p>11)</p>	11) Reiällinen rakenneosa, johon kohdistuu taivutus ja aksiaalisia voimia.	11) ... nettopoikkileikkaus.
			Keskiöväli: $p_1 \geq 2,5 d$
			Keskiöväli: $p_2 \geq 2,5 d$
			Yksityiskohdat standardin EN 1993-1-8 kuvan 3.1 mukaan.

Kuva 13. Esimerkki taulukosta 8.1

Geometrisen jännityksen (hot-spot-jännitys) jännitysvaihtelu mitoitusarvo lasketaan kaavasta:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} = k_f \left(\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}^* \right) \quad (4.3)$$

Missä,

γ_{Ff} ekvivalenttien vakioamplitudisten jännitysvaihteluvälien $\Delta\sigma_E$ ja $\Delta\tau_E$ osavarmuusluku

k_f jännityskonsentraatiokerroin.

Väsymislujuus

Standardin mukaiset väsymislujuudet ΔS_R vakioamplitudiselle nimelliselle jännitysvaihteluväleille voidaan laskea jännitysvaihtelulukumäärän funktiona seuraavasti:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{missä } m = 3 \text{ kun } N \leq 5 \times 10^6, \text{ ks. kuva 7.1}$$

$$\Delta\tau_R^m N_R = \Delta\tau_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{missä } m = 5 \text{ kun } N \leq 5 \times 10^8, \text{ ks. kuva 7.2}$$

(4.4)

Vakioamplitudisen kuormituksen väsymisrajat voidaan laskea kaavoista:

$$\Delta\sigma_D = \left(\frac{2}{5} \right)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,737 \Delta\sigma_C \quad \text{on vakioamplitudinen väsymisraja, ks. kuva 7.1, ja}$$

$$\Delta\tau_L = \left(\frac{2}{100} \right)^{1/5} \Delta\tau_C = 0,457 \Delta\tau_C \quad \text{on väsymisraja, ks. kuva 7.2.}$$

(4.5.1-2)

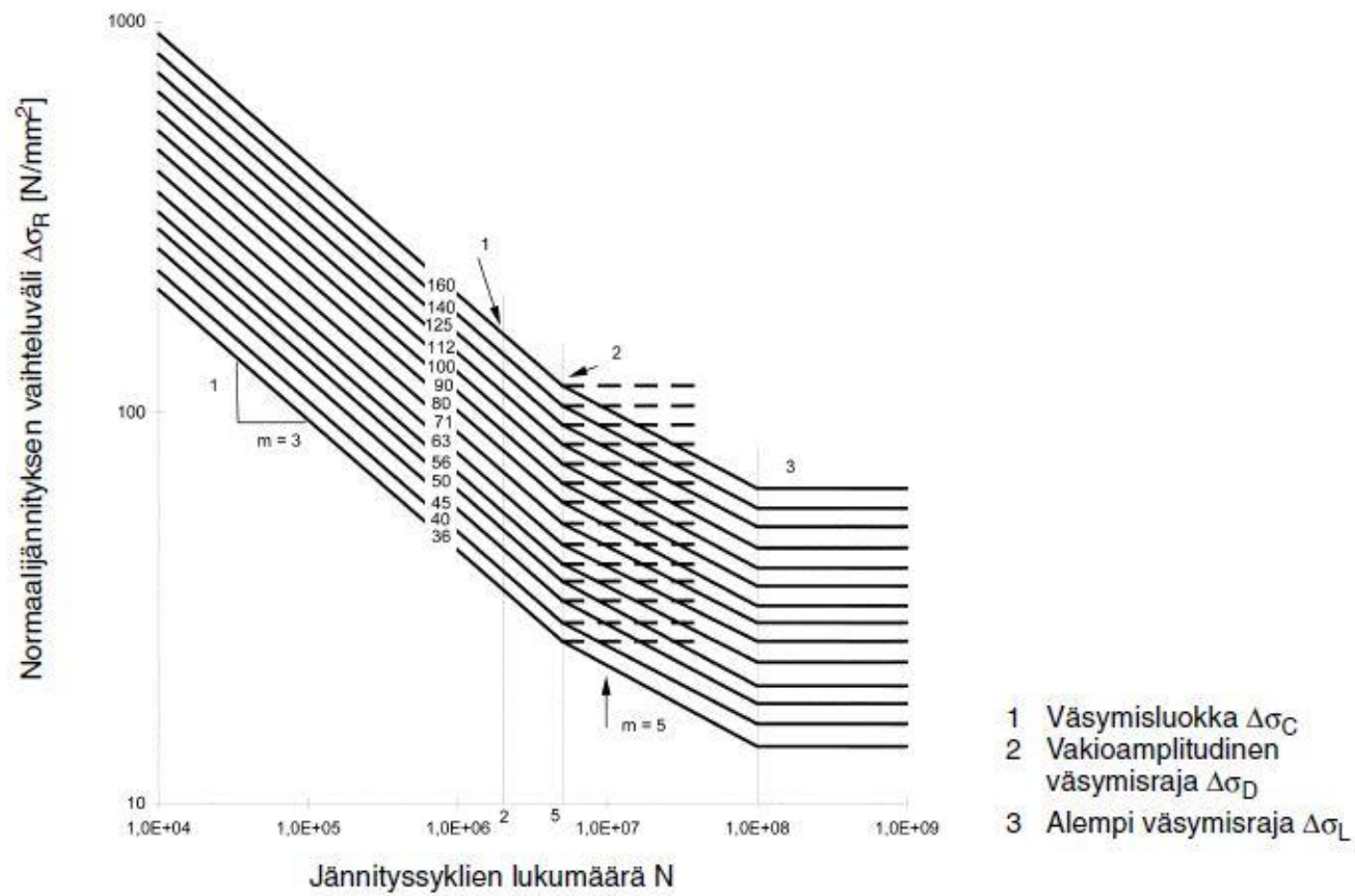
Vaihtuva-amplitudiselle kuormitukselle väsymislujuus normaalijännitykselle lasketaan standardin laajennettujen S-N-käyrien perusteella seuraavasti kaavat (4.6.1-2). Sekä alempi väsymisraja kaavasta (4.6.3).

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{missä } m = 3 \text{ kun } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m 5 \times 10^6 \quad \text{missä } m = 5 \text{ kun } 5 \times 10^6 \leq N \leq 10^8$$

$$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100} \right)^{1/5} \Delta\sigma_D = 0,549 \Delta\sigma_D \quad \text{on alempi väsymisraja, ks. Kuva}$$

(4.6.1-3)



Kuva 14. Väsymislajuuden käyrät normaalijännitysten vaihteluväleille.

Todentaminen väsymisen suhteen:

Tavallisilla kuormituksilla $\Psi_1 Q_k$ lasketut nimelliset, muunnetut nimelliset tai geometriset jännitysvaihteluvälit eivät saa ylittää arvoja:

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &\leq 1,5 f_y && \text{normaalijännitysvaihteluväleille} \\ \Delta\tau &\leq 1,5 f_y / \sqrt{3} && \text{leikkausjännitysvaihteluväleille} \end{aligned} \quad (4.7.1-2)$$

Väsyttävälle kuormille tulee olla voimassa:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

ja

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (4.8.1-2)$$

Ellei toisin mainita taulukoiden 8.8. ja 8.9 mukaisissa väytysluokissa yhdistettyjen jännitysvaihteluvälien $\Delta S_{E,2}, \Delta T_{E,2}$ tapauksissa, todennetaan seuraava ehto:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0 \quad (4.9)$$

Merkinnät standardissa Eurocode 3, 1-9

ΔS	jännitysvaihteluväli (normaalijännitys)
ΔT	jännitysvaihteluväli (leikkausjännitys)
$\Delta \sigma_E, \Delta \tau_E$	arvoa n_{\max} vastaava ekvivalentti vakioamplitudinen jännitysvaihteluväli
$\Delta S_{E,2}, \Delta T_{E,2}$	2 miljoonaa sykliä vastaava ekvivalentti vakioamplitudinen jännitysvaihteluväli
$\Delta \sigma_C, \Delta \tau_C$	väsymislujuuden referenssiarvo, joka vastaa arvoa $N_C = 2$ miljoonaa jännitysjaksoa
$\Delta \sigma_D, \Delta \tau_D$	vakioamplitudisia jännitysvaihteluvälejä vastaava väsymisraja, kun jännitysjaksojen lukumäärä on N_D
$\Delta \sigma_L, \Delta \tau_L$	väsymisrajan alaraja-arvo, joka vastaa jännitysvaihteluvälien lukumäärää N_L
$\Delta \sigma_{eq}$	ekvivalentti jännitysvaihteluväli ortotrooppisten kansien uumien kiinnityksille
$\Delta \sigma_{C,red}$	väsymislujuuden pienennetty viitearvo
γ_{Ff}	ekvivalenttien vakioamplitudisten jännitysvaihteluvälien $\Delta \sigma_E$ ja $\Delta \tau_E$ osavarmuusluku
γ_{Mf}	väsymisljuuksien $\Delta \sigma_C$ ja $\Delta \tau_C$ osavarmuusluku
m	väsymiskäyrän kaltevuus
λ_i	ekvivalentteja vauriokertoimia
Ψ_1	muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin
Q_k	yksittäisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
k_s	koon vaikutukset huomioon ottava väsymisljuuden pienennystekijä
k_1	nimellisten jännitysvaihteluvälien suurenuskerroin ristikoiden sekundaaristen momenttien huomioon ottamiseksi
k_f	jännityskonsentraatiokerroin
N_R	suunniteltu käyttöikä

LÄHTEET

Hitsatut profiilit EN-1993-käsikirja, 2010 3. painos. ISBN 978-952-5010-02-2, Rautaruukki Oyj, Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2010. 609 s.

Jouko Kouhi EN 1993-1-8: Teräsrakenteiden suunnittelu, Liitosten mitoitus.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK060103.pdf>

Koneenosien suunnittelu 2, Liitokset. WSOY, 1985. 482 s. ISBN: 951-0-13142-3

Niemi, E. Kemppi, J. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet, Helsinki: Painatuskeskus Oy. 337 s. 1993. ISBN: 951-37-1115-3

SFS-EN 1993-1-8:2005. (EN 1993-1-8:2005) Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 149 s.

SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1980. 38 s.

SFS 2378. Hitsaus. Väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1980. 51 s.

Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu, VTT, Tapio Leino, versio 19.7.2006, 74s.

Suomen kansallinen liite standardiin SFS-EN 1993-1-5. 3.7.2008. Ympäristöministeriö. 3 s.

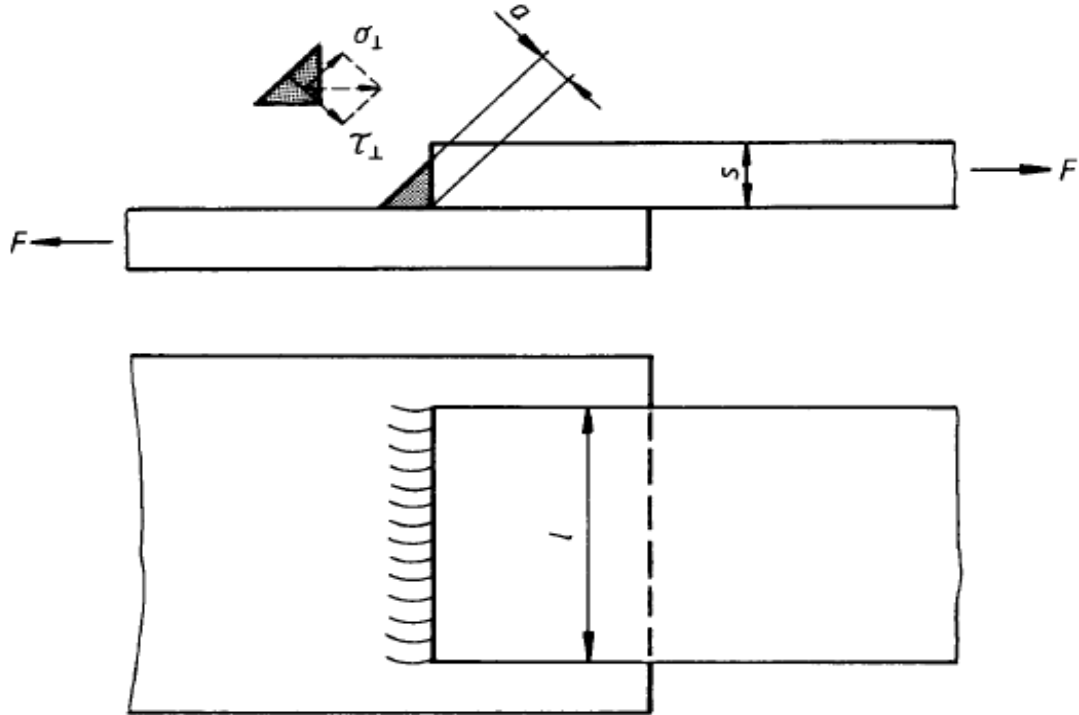
Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3-oppikirja. Teräsrakeneyhdistys ry (TRY) , 2010 ISBN 978-952-9683-50-5, 183 s.

Terminologia / symboliluettelo SFS 2373 ja 2379 yhteydessä:

A [mm ²]	Pinta-ala
a [mm]	Hitsin a-mitta, laskentapaksuus
a_i [mm]	Tehollinen tunkeuma
b [mm]	Leveys
E [N/mm ²]	Kimmokerroin, kimmomoduuli
F [N]	Voima
F_{sall} [N]	Sallittu kuormittava voima
F_u [N]	Kantokyky
f_y [N/mm ²]	Myötörajan ominaisarvo
h [mm]	Korkeus
i [mm]	Tunkeuma
IIW	International Institute of Welding
K_s [-]	Aineenpaksuudesta riippuva nimellisjännityksen suurennuskerroin
l [mm]	Laskentapituus
M [Nm]	Momentti
N [N]	Normaalivoima
N [-]	Kestoluku, jännitysjaksojen lukumäärä
n_i [-]	Jännitysjaksojen lukumäärä luokassa i
n	Kokonaisvarmuuskerroin
Q [N]	Leikkausvoima
q [N/m]	Kuormitustiheys
R [-]	Jännityssuhde
R_e [N/mm ²]	Materiaalin myötölujuus
R_m [N/mm ²]	Materiaalin murtolujuus
S [mm ³]	Staattinen momentti
t	hitsaamalla liitettävän kappaleen paksuus
W [mm ³]	Taivutusvastus
b	Lujuuskerroin
ε [%]	Suhteellinen venymä
σ [MPa]	Normaalijännitys
ν [-]	Poissonin luku
$\Delta\sigma$ [MPa]	Jännitysvaihtelu
σ_{II} [MPa]	Hitsin pituussuuntainen aksiaalijännitys
τ [MPa]	Leikkausjännitys
τ_{II} [MPa]	Hitsin pitkittäinen leikkausjännitys
δ [mm]	Siirtymä
max	Suurin arvo
min	Pienin arvo
FEM	Finite element method, elementtimenetelmä
FAT	Fatigue resistance value, väsymiskestävyysluokka
S_{ar}	keskijännityksen vaikutuksen huomioon ottava jännitysamplitudi
S_k	vaihtelevan kuormituksen keskijännitys
S_a	vaihtelevan kuormituksen jännitysamplitudi

LIITE 2

Laskentaesimerkkejä SFS 2373



Jännityskomponentit

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F}{al}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \cdot 2\sigma_{\perp} = \sqrt{2} \cdot \beta \cdot \frac{F}{al}$$

Ehdot

$$\sigma_{\text{vert}} \leq \sigma_{\text{sall}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \sigma_{\text{sall}} \quad (\text{määäävää vain erikylkisellä hitsillä})$$

Laskentavaihtoehdot

- a) jännityksen tarkistus
- $$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\sqrt{2}\beta F}{al} \leq \sigma_{\text{sall}}$$
- b) sallitun voiman laskenta
- $$F_{\perp \text{sall}} = \frac{\sigma_{\text{sall}} \cdot al}{\sqrt{2}\beta} \geq F$$
- c) vaaditun a -mitan laskenta
- $$a \geq \frac{\sqrt{2}\beta F}{l \sigma_{\text{sall}}}$$
- tarkistus
- $$\frac{l}{a} \geq 8$$

Numeroesimerkki

$F = 50 \text{ kN}$
 $l = 60 \text{ mm}$
 teräs Fe 37
 $s = 15 \text{ mm}$
 $\sigma_{\text{sall}} = 147 \text{ N/mm}^2$
 $\beta = 0,7$

Vaihtoehto c

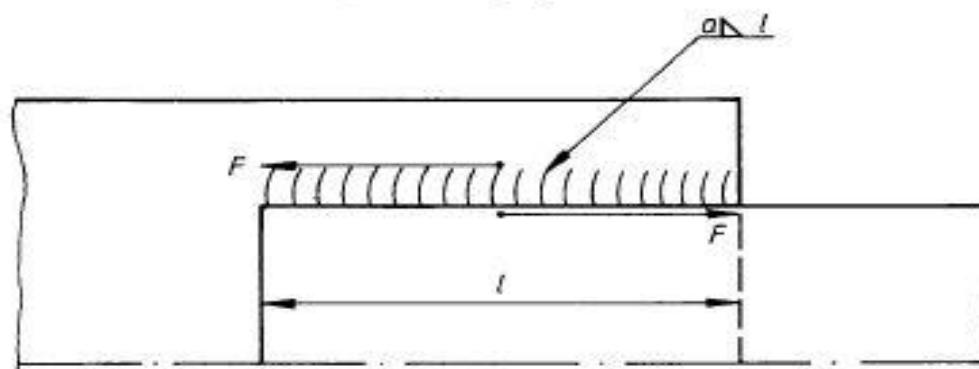
$$a \geq \frac{\sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot 50\,000}{60 \cdot 147} = 5,61 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{a} = \frac{60}{5,61} = 10,7 > 8$$

Valitaan $a = 6 \text{ mm}$

Esimerkki 2

Mitoitusvoiman suuntainen pienahitsi (kylkiapiena).



Jännityskomponentit

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{al}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{3 \tau_{\parallel}^2} = \beta \sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel}$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{3} \cdot \frac{F}{al}$$

Ehto

$$\sigma_{\text{vert}} \leq \sigma_{\text{sall}}$$

Laskentavaihtoehtoja

a) jännityksen tarkistus

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta \sqrt{3} F}{al} \leq \sigma_{\text{sall}}$$

b) sallitun voiman laskenta

$$F_{\parallel \text{ sall}} = \frac{\sigma_{\text{sall}} \cdot al}{\sqrt{3} \cdot \beta} \geq F$$

c) vaaditun a -mitan laskenta, kun l on tunnettu

$$a \geq \frac{\sqrt{3}\beta F}{l \cdot \sigma_{\text{sall}}}$$

tarkistukset

$$8 \leq \frac{l}{a} \leq 100$$

d) vaaditun a -mitan laskenta, kun (l/a) on valittu, esim. $(l/a) = 100$.

$$a \geq \sqrt{\frac{\sqrt{3}\beta F}{(l/a) \sigma_{\text{sall}}}}$$

vaaditun pituuden laskenta, kun a on valittu

$$l \geq \frac{\sqrt{3}\beta F}{a \sigma_{\text{sall}}}$$

Numeroesimerkki:

$$F = 100 \text{ kN}$$

teräs Fe 44

$$s = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{sall}} = 180 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,8$$

Vaihtoehto c, olettaen $l = 200 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 100\,000}{200 \cdot 180} = 3,85 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{a} = \frac{200}{3,85} = 52$$

$$8 \leq 52 \leq 100$$

Valitaan $a = 4 \text{ mm}$.

Vaihtoehto d, olettaen $(l/a) = 100$

$$a \geq \sqrt{\frac{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 100\,000}{100 \cdot 180}} = 2,77 \text{ mm}$$

Valitaan $a = 3 \text{ mm}$ (minimi tällä s -mitalla)

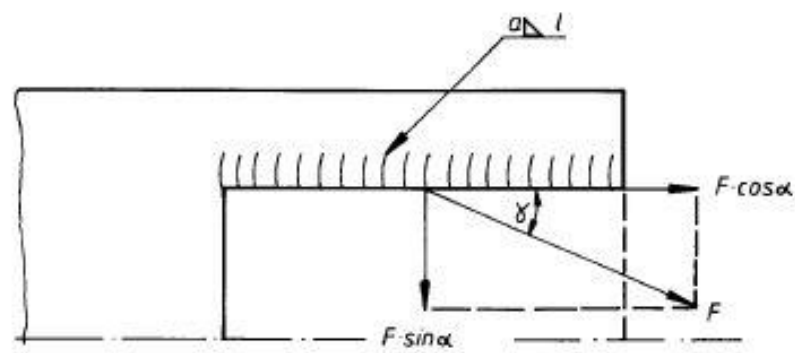
$$l \geq \frac{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 100\,000}{3 \cdot 180} = 257 \text{ mm}$$

Valitaan $l = 260 \text{ mm}$.

Esimerkki 3

Pienahitsin mitoitusvoima vaikuttaa liitettävien osien tasossa kulmassa α hitsiin nähden.

(Tarkka laskenta komponentteihin jakamalla.)



Jännityskomponentit

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F \sin \alpha}{\sqrt{2} a l}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F \cos \alpha}{a l}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \beta \sqrt{4\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta F}{a l} \cdot \sqrt{2 \sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}$$

Ehto $\sigma_{\text{vert}} \leq \sigma_{\text{sall}}$

Laskentavaihtoehtoja

a) jännityksen tarkistus

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta F}{a l} \sqrt{2 \sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha} \leq \sigma_{\text{sall}}$$

b) sallitun voiman laskenta

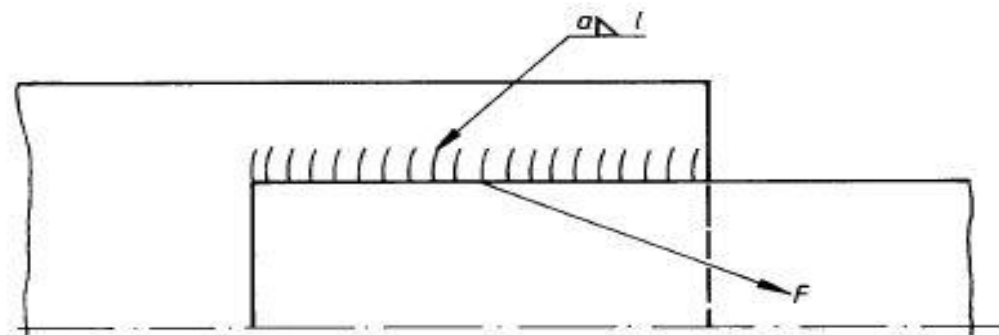
$$F_{\alpha \text{ sall}} = \frac{\sigma_{\text{sall}} \cdot a \cdot l}{\beta \sqrt{2 \sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \geq F$$

c) vaaditun a-mitan laskenta

$$a \geq \frac{\beta F \sqrt{2 \sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}}{l \cdot \sigma_{\text{sall}}}$$

Esimerkki 4

Pienahitsin yksinkertainen laskenta ilman komponentteihin jakamista.



Hitsin jännitys

$$\sigma_w = \frac{F}{al}$$

Sallittu jännitys

$$\sigma_{wsall} = \frac{\sigma_{sall}}{\beta\sqrt{3}}$$

Laskentavaihtoehdot

a) jännityksen tarkistus

$$\sigma_w = \frac{F}{al} \leq \sigma_{wsall}$$

b) sallitun voiman laskenta

$$F_{sall} = \sigma_{wsall} \cdot al \geq F$$

c) vaaditun a -mitan laskenta, kun l on tunnettu

$$a \geq \frac{F}{l \cdot \sigma_{wsall}}$$

tarkistus

$$8 \leq \frac{l}{a} \leq 100$$

(oikeanpuoleinen raja on voimassa vain, kun voimalla on huomattava pituussuuntainen komponentti).

d) vaaditun a -mitan laskenta, kun l/a on valittu

$$a \geq \sqrt{\frac{F}{(l/a) \cdot \sigma_{wsall}}}$$

e) pituuden laskenta, kun a on tunnettu

$$l \geq \frac{F}{a \cdot \sigma_{wsall}}$$

Numeroesimerkki:

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$l = 150 \text{ mm}$$

teräs Fe 52

$$s = 12 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{sall}} = 227 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,9$$

$$\sigma_{\text{wsall}} = \frac{227}{0,9 \sqrt{3}} = 145 \text{ N/mm}^2$$

Hitsin sallittu kuormitus

$$F_{\text{sall}} = 145 \cdot 5 \cdot 150 = 109 \text{ kN}$$

a) jännityksen tarkistus

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta \cdot \sigma_z \cdot s}{\sqrt{2} \cdot a} \ll \sigma_{\text{sall}}$$

b) sallitun jännityksen σ_z laskenta

$$\sigma_{z \text{ sall}} = \frac{\sqrt{2} \cdot a \cdot \sigma_{\text{sall}}}{\beta \cdot s} \geq \sigma_z$$

c) vaaditun a -mitan laskenta

$$a \geq \frac{\beta \cdot \sigma_z \cdot s}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{\text{sall}}}$$

tarkistus

$$\frac{l}{a} \geq 8$$

Numeroesimerkki:

$$\sigma_z = 155 \text{ N/mm}^2$$

teräs Fe 44

$$s = 20 \text{ mm}$$

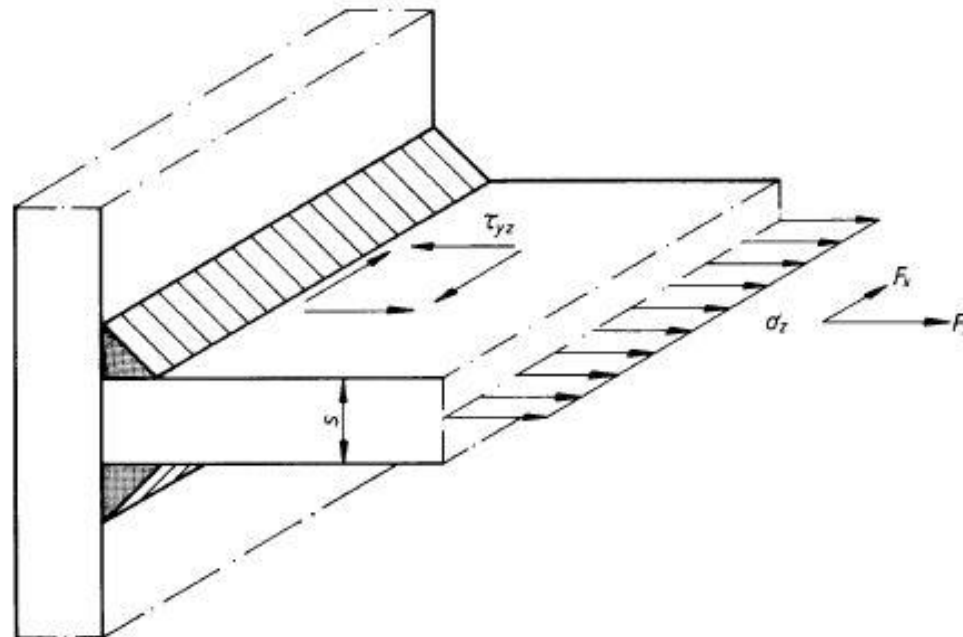
$$\sigma_{\text{sall}} = 173 \text{ N/mm}^2$$

$$a \geq \frac{0,8 \cdot 155 \cdot 20}{2 \cdot 173} = 10,1 \text{ mm}$$

Valitaan $a = 11 \text{ mm}$

Esimerkki 6

Kaksoispienahitsien mitoitus, kun perusaineessa vaikuttaa poikittainen jännitys σ_z ja leikkausjännitys τ_{yz} .



Olettaen σ_z ja τ_{yz} muuttuviksi pitkin levyn leveyttä on tarkasteltava ainakin ne kaistat, joissa $\sigma_z = \sigma_{z\max}$ ja $\tau_{yz} = \tau_{yz\max}$.

1 mm leveässä kaistassa yhtä hitsiä kohti

$$F_{\perp} = \frac{\sigma_z \cdot s}{2}$$

$$F_{\parallel} = \frac{\tau_{yz} \cdot s}{2}$$

Esimerkkien 1 ja 2 kaavoilla (1) ja (6) saadaan jännityskomponentit

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_z \cdot s}{2\sqrt{2}a} \quad (28)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{\tau_{yz} \cdot s}{2a} \quad (29)$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{vert}} = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \beta \sqrt{4\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2}$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta s}{2a} \sqrt{2\sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2}$$

Laskentavaihtoehdot

a) jännityksen tarkistus

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\beta s}{2a} \sqrt{2\sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2} \leq \sigma_{\text{sall}}$$

b) vaaditun a -mitan laskenta

$$a \geq \frac{\beta s}{2\sigma_{\text{sall}}} \cdot \sqrt{2\sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2}$$

tarkistus

$$\frac{l}{a} \geq B$$

Hitsausliitosten mitoittaminen - Design guide

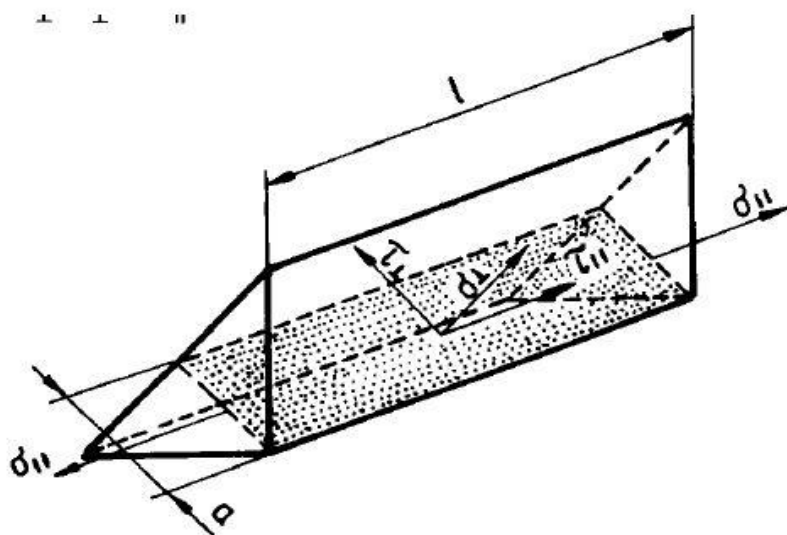
Tähän liitteeseen on poimittu oleellisimpia kohtia hitsausliitosten mitoituksesta, liittyen Eurocode 3, 1-8.

Mitoituksen aluksi määritteellään liitokseen kohdistuvat voimat.

Seuraavaksi arvioidaan se tapa ja tarkkuus, jolla mitoitus on käytävä läpi. Staattista kantokykyä ja väsymistä koskevat lujuuslaskelmat eivät korvaa toisiaan, vaan ne tulisi tehdä rinnakkain. Jos kuitenkin jännitysvaihtelujen suuruus ja/tai lukumäärä on pieni, voidaan väsymistarkastelusta luopua.

Varsinaisessa mitoituksessa voidaan käyttää yksinkertaistettua tai komponenttimenetelmällä suoritettua mitoitusta. Yksinkertaistettu antaa isommalla varmuuskertoimella isomman a-mitat. Tämä on myös Eurocode 3:ssa perusmenettely. Vaativimmissa kohteissa ja suurille valmistussarjoille tulee käyttää komponentti menetelmää.

Läpihitsattu liitos ei tarvitse erillistä, sillä liitos oletetaan yhtä lujaksi perusaineen kanssa, jolle on tehty oma mitoitustarkastelu niin tarvittaessa.



A-mitan minimin määrittely tehdään käyttäen kaavaa (1.2), jossa t on liitettävän materiaalin paksuus:

$$a \geq \sqrt{t} - 0.5 \text{ mm} \quad (1.2)$$

Esimerkki:

$t = 40 \text{ mm} \Rightarrow a \geq \sqrt{40} - 0,5 = 5,9 \text{ mm}$ valitaan a-mitaksi 6 mm

Hitsausliitoksen pituudelle tulee käyttää seuraavia rajoituksia:

$$l \leq 100 * a$$

$$l \geq 8 * a$$

Perusmitoitusmenetelmä

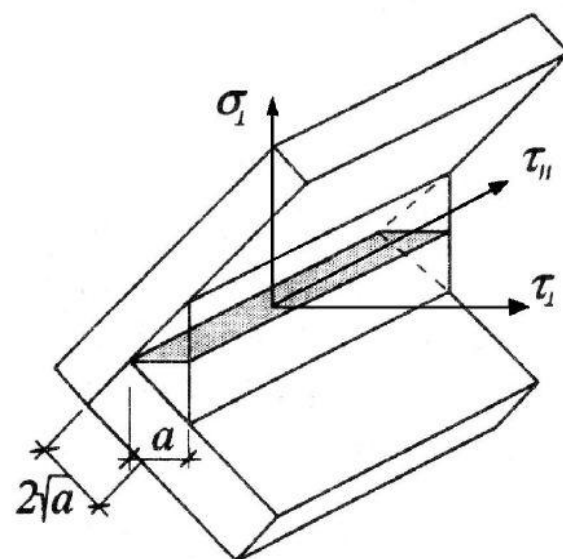
Hitsien perusmitoitusmenetelmänä on niin sanottu komponenttimenetelmä, joka on esitetty ohjeessa EN 1993 1-8: 2005, Design of joints, päävaihtoehtona. Pienahitsiin vaikuttava ulkoinen kuormitus jaetaan siinä komponenteiksi hitsin pituusakselin suuntaan (\parallel) ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan (\perp), sekä hitsin laskentapoikkipinnan suuntaan ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Näitä vastaavat jännitykset (kuva 12) ovat:

$\sigma_{\perp} = F_{\sigma_{\perp}} / (al)$ on normaalijännitys hitsin laskentapoikkipinnassa.

$\tau_{\perp} = F_{\tau_{\perp}} / (al)$ on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa kohtisuoraan hitsin pituussuuntaa vastaan.

$\tau_{\parallel} = F_{\tau_{\parallel}} / (al)$ on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa hitsin pituus suuntaan.

σ_{\parallel} on hitsin suuntainen normaalijännitys hitsin poikkileikkauksessa (laskentapoikkipinta).



Kuva 12 Pienahitsin jännitykset ja niiden suunnat

Normaalijännitystä σ_{\parallel} ei oteta mitoituksessa huomioon, koska sillä on häviävän pieni vaikutus muihin komponentteihin verrattuna.

Liite 3

Hitsin jännitys ja sen raja-arvo lasketaan von Misesin myötöehdon mukaisesti:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (3.1 \text{ ja } 3.2)$$

missä

f_u on liitettävistä osista heikomman materiaalin vetomurtolujuuden nimellisarvo

β_{M2} on hitsiliitoksen osavarmuusluku.

Jälkimmäisessä kaavassa kerroin 0,9 on Suomen soveltamisohjeen mukainen arvo.

Korrelaatiokerroin β_w otetaan seuraavasta taulukosta 3. Vetomurtolujuuden arvo f_u valitaan standardeista SFS-EN 10025-1...4 riippuen ainepaksuudesta ja teräslajista.

Taulukko 3 Korrelaatiokerroin β_w teräslaaduittain

SFS-EN 10025-1...4 Teräslaatu	S235	S275	S355	S420	S460
Vetomurtolujuuden nimellisarvo f_u	360	430	510	550 (-660)	530 (-720)
Korrelaatio- kerroin β_w	0,8	0,85	0,9	1,0	1,0

Yksinkertaistettu menetelmä

Eurocode 3:ssa esitetään myös yksinkertaistettu kaava, joka ei vaadi jännityskomponenttien tuntemista itse hitsissä, eli voiman suuntaa ei ole rajoitettu. Kaava perustuu keskiarvojännitysmenetelmään, jossa oletetaan hitsin kestävyys olevan yhtä suuri kuin leikkauslujuus riippumatta siitä, missä suunnassa voima vaikuttaa. Koska hitsi on heikoin puhtaasti leikattuna, keskiarvojännitysmenetelmä antaa varmalla puolella olevan tuloksen.

Pienahitsin tulee täyttää seuraava mitoitusehto:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (3.3)$$

missä $F_{w,Ed}$ on hitsiin vaikuttava ulkoinen rasitus $= F / l$, eli pituusyksikköä kohti ja $F_{w,Rd}$ on hitsin vastaava kestävyys mitoitusarvo pituusyksikköä kohti. $F_{w,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a \quad (3.4)$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (3.5)$$

missä a on hitsin a-mitta ja l on hitsin pituus,

F on hitsiin vaikuttavien ulkoisten voimien resultantin, ja

$f_{vw,d}$ on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.