

Käsikirja - Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa

**(Kolmas painos Euro Inox:n käsikirjasta: Design Manual for
Structural Stainless Steel)**

Lisätietoja:

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh: 020 722 111
Fax: 020 722 7007
Email: jouko.kouhi@vtt.fi, asko.talja@vtt.fi
Kotisivu: www.vtt.fi

© 2006 Euro Inox ja The Steel Construction Institute

ISBN 2-87997-208-6
(Toinen painos 2002: ISBN 2-87997-037-7)

Euro Inox ja The Steel Construction Institute (SCI) ovat tehneet kaiken mahdollisen, jotta tässä esitetyt tiedot ovat teknisesti oikeita. Lukijalle todetaan kuitenkin, että tässä esitetty aineisto on tarkoitettu vain yleiseksi informaatioksi. Euro Inox, The Steel Construction Institute ja muut mukana olleet sanoutuvat erityisesti irti kaikista tuottamuvastuista tai menetyksistä, vaurioista ja vammoista, jotka aiheutuvat tässä julkaisussa esitettyjen tietojen käytöstä.

CD-ROM, 7 kielellä	ISBN 2-87997-187-X
Yhdistynyt kuningaskunta	ISBN 2-87997-204-3
Ranska	ISBN 2-87997-205-1
Saksa	ISBN 2-87997-210-8
Italia	ISBN 2-87997-206-X
Espanja	ISBN 2-87997-207-8
Ruotsi	ISBN 2-87997-209-4

JOHDANTO

Kolmas painos

Tämän käsikirjan kolmas painos on syntynyt RFCS-projektin *Valorisation Project - Structural design of cold worked austenitic stainless steel* (sopimus RFS2-CT-2005-00036) tuloksena. Projektin koordinaattorina on toiminut Steel Construction Institute (SCI). Tässä kolmannessa painoksessa päivitetään toinen painos kokonaan ja soveltamisalaa laajennetaan kylmämuokattuihin ruostumattomiin teräksiin sekä päivitetään viittaukset Eurocodeihin. Tässä kolmannessa painoksessa viitataan standardien EN 1990, EN 1991 ja EN 1993 kyseeseen tuleviin osiin. Luvun 7 rakenteellista palomitoitusta koskeva osa on päivitetty ja ruostumattomien terästen säilyvyyttä erilaisissa maaperissä ja elinkaarikustannuksia koskevat kohdat on lisätty.

Kolme uutta esimerkkiä on lisätty ja ne koskevat kylmämuokattujen ruostumattomien terästen käyttöä. Seuraavat tahot ovat laatineet ko. uudet esimerkit:

- Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
- The Swedish Institute of Steel Construction (SBI)
- Technical Research Centre of Finland (VTT).

Tämän käsikirja-projektin johtoryhmä on koostunut projektin sopijaosapuolista ja rahoittajista ja johtoryhmä on valvonut työtä ja vaikuttanut käsikirjan sisältöön. Seuraavat organisaatiot ovat osallistuneet tämän kolmannen painoksen kirjoittamiseen:

- The Steel Construction Institute (SCI) (Projektin koordinaattori)
- Centro Sviluppo Materiali (CSM)
- CUST, Blaise Pascal University
- Euro Inox
- RWTH Aachen Institute of Steel Construction
- VTT Technical Research Centre of Finland
- The Swedish Institute of Steel Construction (SBI)
- Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Toisen painoksen esipuhe

Tämä käsikirja on syntynyt ECSC:n rahoittaman projektin *Valorisation Project - Development of the use of stainless steel in construction* (sopimus 7215-PP-056) tuloksena. Projektin koordinaattorina on toiminut Steel Construction Institute (SCI). Tässä käsikirjassa päivitetään Euro Inox:n v. 1994 julkaisema ja SCI:n vuosina 1989 - 1992 laatima käsikirja *Design manual for structural stainless steel*.

Tässä uudessa käsikirjassa on otettu huomioon noin kymmenen viime vuoden aikana tuotettu uusi tieto koskien ruostumattomasta teräksestä tehtyjen rakenteiden käyttäytymistä. Erityisesti on otettu huomioon ECSC:n rahoittamassa projektissa, *Development of the use of stainless steel in construction* (sopimus 7210-SA/842) laaditut uudet suositukset, joiden perusteella käsikirjan soveltamisalaa on myös laajennettu koskemaan pyöreitä rakenneputkia ja paloteknistä mitoitusta. Viimeisten kymmenen vuoden aikana on laadittu lukuisia euroop-

palaisia standardeja, jotka koskevat mm. materiaaleja, kiinnittimiä, valmistusta, asennusta, hitsausta, jne. Tämä käsikirja on päivitetty myös standardien ja niihin viittaamisen osalta.

Tämän käsikirja projektin johtoryhmä on koostunut seuraavista tahoista: projektin sopijaosapuolet, alihankkijat ja rahoittajat. Projektin johtoryhmä on kommentoinut käsikirjan sisältöä valmisteluvaiheessa.

Seuraavat tahot ovat laatineet mitoitusesimerkit:

- Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)
- Luleå Institute of Technology
- VTT Technical Research Centre of Finland
- RWTH Aachen
- The Steel Construction Institute (SCI).

Seuraavat henkilöt ovat muodostaneet projektin johtoryhmän ja/tai osallistuneet esimerkkien laatimiseen:

Nancy Baddoo	The Steel Construction Institute
Massimo Barteri	Centro Sviluppo Materiali (CSM)
Bassam Burgan	The Steel Construction Institute
Helena Burstrand Knutsson	Swedish Institute of Steel Construction (SBI)
Lars Hamrebjörk	Swedish Institute of Steel Construction (SBI)
Jouko Kouhi	VTT Technical Research Centre of Finland
Roland Martland	Health and Safety Executive (UK)
Enrique Mirambell	Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Anders Olsson	AvestaPolarit AB (<i>formerly</i> , Luleå Inst. of Technology)
Thomas Pauly	Euro Inox
Esther Real	Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Ivor Ryan	Centre Technique Industriel de la Construction Métallique
Heiko Stangenberg	RWTH Aachen Institute of Steel Construction
Asko Talja	VTT Technical Research Centre of Finland

RAHOITTAJAT

Seuraavat tahot ovat rahoittaneet tämän käsikirjan laatimisen:

- Research Fund for Coal and Steel (RFCS) (aikaisemmin European Coal and Steel Community (ECSC))
- Euro Inox.

Eurooppalaiset ruostumattomien terästen valmistajat ja muutamat muut organisaatiot ovat osallistuneet sekä uuden että kahden edellisen painoksen laatimiseen.

Käsikirjan tekijät kiittävät rahoittajia.

ESIPUHE

Käsikirja on laadittu ohjeeksi kokeneille teräsrakennesuunnittelijoille, joilla ei välttämättä ole kokemusta ruostumattomien terästen käytöstä. Käsikirjalla ei ole erityistä laillista statusta eikä se vapauta suunnittelijaa vastuusta.

Käsikirja jakaantuu kahteen osaan:

- Osa I - Suositukset
- Osa II - Mitoitus esimerkit.

Osan I suositukset on kirjoitettu rajatilamuotoon ja mahdollisuuksien mukaan suositukset ovat yhteneväiset seuraavien Eurocode 3 *Design of steel structures (Teräsrakenteiden suunnittelu)* osien kanssa:

- EN 1993-1-1 *Design of steel structures: General rules and rules for buildings (SFS-EN 1993-1-1: Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt)*
- EN 1993-1-2 *Design of steel structures: Structural fire design (SFS-EN 1993-1-2: Teräsrakenteiden suunnittelu. Palonkestävyys)*
- EN 1993-1-3 *Design of steel structures: General rules: Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (SFS-EN 1993-1-3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt. Lisäsääntöjä kylmämuovaamalla valmistetuille sauville ja levyille)*
- EN 1993-1-4 *Design of steel structures: General rules: Supplementary rules for stainless steels (SFS-EN 1993-1-4: Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt)*
- EN 1993-1-5 *Design of steel structures: Plated structural elements (SFS-EN 1993-1-5: Teräsrakenteiden suunnittelu. Levyrakenteet)*
- EN 1993-1-8 *Design of steel structures: Design of joints (SFS-EN 1993-1-8. Teräsrakenteiden suunnittelu. Liitosten suunnittelu)*
- EN 1993-1-9 *Design of steel structures: Fatigue (SFS-EN 1993-1-9. Teräsrakenteiden suunnittelu. Väsyminen)*
- EN 1993-1-10 *Design of steel structures: Material toughness and through-thickness properties (SFS-EN 1993-1-10. Teräsrakenteiden suunnittelu. Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet)*

Tässä käsikirjassa esitetään suosituksia tietyille kertoimille. Näitä arvoja voidaan muuttaa kansallisissa liitteissä (NA, National Annex).

Osan II mitoitus esimerkeissä havainnollistetaan ohjeiden käyttöä. Mitoitus esimerkkien yhteydessä viitataan tämän käsikirjan eri kohtiin ellei toisin mainita.

Suosituksien ja mitoitus esimerkkien ovat ladattavissa sähköisessä muodossa SCI:n teknisestä informaatiojärjestelmästä (www.steelbiz.org) ja Euro Inox:n kotisivulta (<http://www.euro-inox.org>). Käsikirjan kommenttiosa, joka sisältää myös kirjallisuusviitteitä, on myös ladatta-

vissa em. kotisivuilla. Kommenttiosan tarkoitus on, että suunnittelija voi arvioida suositusten perusteet ja että helpotetaan käsikirjan uudistamista, kun uutta tietoa tuotetaan. Kommenttiosassa esitetään erilaisten kokeiden tuloksia, jotka muodostavat tämän käsikirjan taustaineiston. Suositukset, mitoitusesimerkit ja kommenttiosa ovat saatavissa myös CD:nä Euro Inox:lta.

Euro Inox:n kotisivuilla on mitoitushjelma (www.steel-stainless.org/software), joka soveltuu kylmämuovattujen ruostumattomasta teräksestä tehtyjen vedettyjen, taivutettujen ja aksiaalisesti puristettujen sauvojen mitoittamiseen. Ohjelma laskee sauvojen poikkileikkaussuureet ja kestävyyydet tämän käsikirjan ohjeiden mukaan.

Tässä käsikirjassa esitetyt ohjeet perustuvat kirjoittamishetkellä parhaaseen olemassa olevaan tietoon. Käsikirjan tekijät tai muut projektin osapuolet eivät ota mitään vastuuta ohjeiden käytöstä aiheutuvista mahdollisista henkilövahingoista, kuolemista, muista menetyksistä, vaurioista tai aikatauluviiveistä.

Sisältö

	Sivu No.
JOHDANTO	iv
RAHOITTAJAT	vi
ESIPUHE	vii
OSA I - SUOSITUKSET	
1 JOHDANTO	1
1.1 Soveltamisala	1
1.2 Merkinnät	1
1.3 Sauvojen akselit	3
1.4 Yksiköt	3
2 SUUNNITTELUPERUSTEET	5
2.1 Yleiset vaatimukset	5
2.2 Rajatilamitoitus	5
2.3 Kuormitukset	7
3 MATERIAALIT: OMINAISUUDET, VALINTA JA SÄILYVYYS	11
3.1 Teräslajit	11
3.2 Mekaaninen käyttäytyminen ja ominaisuuksien mitoitusarvot	17
3.3 Fysikaaliset ominaisuudet	22
3.4 Lämpötilan vaikutukset	22
3.5 Elinkaarikustannukset	23
3.6 Materiaalin valinta	23
3.7 Säilyvyys	26
4 POIKKILEIKKAUSTEN OMINAISUUDET	35
4.1 Yleistä	35
4.2 Suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet	35
4.3 Poikkileikkausluokitus	35
4.4 Teholliset leveydet	39
4.5 Jäykistetyt taso-osat	44
4.6 Poikkileikkausominaisuuksien laskenta	47
4.7 Poikkileikkauskestävyydet	50
5 SAUVOJEN MITOITUS	54
5.1 Johdanto	54
5.2 Vedetyt sauvat	54
5.3 Puristetut sauvat	54
5.4 Taivutetut sauvat	58
5.5 Sauvat, joihin kohdistuu samanaikaisia aksiaalisia kuormia ja taivutusmomentteja	67
6 KIINNITYSTEN JA LIITOSTEN SUUNNITTELU	70
6.1 Yleiset ohjeet	70
6.2 Ruuvikiinnitykset	71
6.3 Ohutlevyjen mekaaniset kiinnittimet	76
6.4 Hitsauskiinnitykset	77
7 PALOMITOITUS	81

7.1	Yleistä	81
7.2	Mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa	81
7.3	Termiset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa	84
7.4	Rakenteellisen palonkestävyyden määrittäminen	85
8	VÄSYMINEN	92
9	Kokeellinen mitoitus	93
9.1	Yleistä	93
9.2	Jännitys-venymäkäyrän määrittäminen	93
9.3	Rakenneosien koestus	93
10	VALMISTUS	95
10.1	Johdanto	95
10.2	Varastointi ja käsittely	96
10.3	Muotoilu	96
10.4	Hitsaus	98
10.5	Kitkasyöpyminen ja kiinnileikkautuminen	102
10.6	Pinnan viimeistely	103
	LIITE A RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN MERKINTÖJEN VASTAAVUUS	105
	LIITE B KIEPAHDUS	107
	LIITE C MATERIAALITietoja taipumalaskelmia varten	110
	OSA II - MITOITUSESIMERKIT	
	Mitoitusesimerkki 1	115
	Mitoitusesimerkki 2	117
	Mitoitusesimerkki 3	121
	Mitoitusesimerkki 4	129
	Mitoitusesimerkki 5	133
	Mitoitusesimerkki 6	141
	Mitoitusesimerkki 7	147
	Mitoitusesimerkki 8	153
	Mitoitusesimerkki 9	159
	Mitoitusesimerkki 10	167
	Mitoitusesimerkki 11	175
	Mitoitusesimerkki 12	181
	Mitoitusesimerkki 13	189

1 JOHDANTO

1.1 Soveltamisala

Käsikirjan tässä osassa esitetyt suositukset soveltuvat rakentamisessa yleisesti käytetyille ruostumattomille teräslajeille. Suositukset on tarkoitettu pääasiassa rakennusten, off-shore rakenteiden ja vastaavien rakenteiden rakenneosien suunnitteluun. Näitä suosituksia ei tule soveltaa erikoisrakenteisiin kuten ydinvoimaloiden rakenteet tai paineastiat, joille on olemassa erityisstandardeja ruostumattoman teräksen käytöstä.

Nämä ohjeet koskevat materiaalin käyttäytymistä, kylmämuovattujen ja hitsattujen rakenneosien ja niiden liitosten suunnittelua. Nämä ohjeet koskevat austeniittisia ruostumattomia tai dulpex-teräksiä, joita tyypillisesti käytetään rakenteissa tai arkitektonisissa sovellutuksissa. Ohjeet esitetään rajatilamitoituksen muodossa.

1.2 Merkinnot

Tässä käsikirjassa käytetyt merkinnot ovat standardissa EN 1993-1-1 (*Eurocode 3, Design of steel structures, Part 1.1 General rules and rules for buildings*) (SFS-EN 1993-1-1: *Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*.) mukaiset. Alaindeksejä käytetään runsaasti, esim. $N_{b,z,Rd}$ on aksiaalisesti puristetun pilarin (N) nurjahduskestävyyden (alaindeksi b) mitoitusarvo (alaindeksi Rd) heikomman akselin suhteen (alaindeksi z).

Poikkileikkausten merkinnot ja akselit esitetään kuvassa 1.1. Monissa maissa vielä vallitsevasta käytännöstä poiketen poikkileikkauksen vahvempi pääjäyhyysakseli on y-y-akseli ja heikompi pääjäyhyysakseli on z-z, ks. kohta 1.3.

Latinalaiset isot kirjaimet

<i>A</i>	Onnettomuuskuormitus; pinta-ala
<i>C</i>	Kiinteä arvo; tekijä
<i>E</i>	Kimmokerroin; kuormien vaikutus
<i>F</i>	Vaikutus; voima
<i>G</i>	Pysyvä vaikutus; liukukerroin
<i>I</i>	Hitausmomentti
<i>L</i>	Pituus; jänneväli, systeempituus
<i>M</i>	Taivutusmomentti
<i>N</i>	Aksiaalinen voima
<i>Q</i>	Muuttuva kuorma
<i>R</i>	Kestävyys
<i>V</i>	Leikkausvoima
<i>W</i>	Taivutusvastus.

Kreikkalaiset isot kirjaimet

Δ	Ero (päämerkinnän edessä).
----------	----------------------------------

Latinalaiset pienet kirjaimet

<i>a</i>	Jäykisteiden välinen etäisyys; hitsin a-mitta
<i>b</i>	Leveys
<i>c</i>	Etäisyys; ulokkeen leveys
<i>d</i>	Halkaisija; syvyys
<i>e</i>	Epäkeskisyys; neutraaliakselin siirtymä; päätyetäisyys; reunaetäisyys

f	Lujuus (aineen lujuus)
g	Rako
h	Korkeus
i	Hitaussäde; kokonaisluku
k	Kerroin; tekijä
l	Nurjahduspituus
m	Vakio
n	Jonkin numero
p	Etäisyys, keskiöetäisyys
q	Jakaantunut voima
r	Säde; juuren säde
s	Limitetty etäisyys
t	Paksuus
uu	Vahvempi pääjäyhyysakseli
vv	Heikompi pääjäyhyysakseli
w	Poikkipinnan painumisesta aiheutuva muodonmuutos
xx, yy, zz	Kohtisuorassa toisiaan vastaan olevat akselit.

Kreikkalaiset pienet kirjaimet

α	(alpha)	Suhde; tekijä
β	(beta)	Suhde; tekijä
γ	(gamma)	Osavarmuusluku
ε	(epsilon)	Venymä; tekijä $= \left(\frac{235 E}{210000 f_y} \right)^{0.5}$
λ	(lambda)	Hoikkuusluku (hoikkuusluvun päällä oleva viiva tarkoittaa muunnettua hoikkuutta)
ρ	(rho)	Pienennystekijä
σ	(sigma)	Normaalijännitys
τ	(tau)	Leikkausjännitys
φ	(phi)	Suhde
χ	(chi)	Pienennystekijä (nurjahduksessa)
ψ	(psi)	Jännityssuhde; pienennystekijä.

Alaindeksit

a	Keskiarvo
b	Reunapuristus, nurjahdus, ruuvi
c	Brutto poikkileikkaus
cr	Kriittinen
d	Suunnittelu
E	Euler, sisäinen voima, sisäinen momentti
eff	Tehollinen
e	Tehollinen (yhdessä muiden alaindeksien kanssa)
el	Kimmoteorian mukainen
f	Laippa
g	Brutto poikkileikkaus
i, j, k	Indeksejä
k	Ominaisarvo
LT	Kiepahdus
M	Taivutusmomentti huomioon ottaen
N	Aksiaalinen voima huomioon ottaen
net	Nettopinta-ala
o	Alku-
pl	Plastisuusteorian mukainen
R	Kestävyys

r	Pienennetty arvo
S	Sekantti
s	Vetojännitys (jännityspoikkipinta-ala); jäykiste
t	Veto; vääntö
u	Poikkileikkauksen vahvempi pääjäyhyysakseli; ääriraja
V	Leikkausvoima huomioon ottaen
v	Leikkaus; poikkileikkauksen heikompi pääjäyhyysakseli
w	Uuma; hitsi; käyristyminen
x	Sauvan pituusakseli
y	Myötö (taattu arvo); poikkileikkauksen akseli (vahvempi pääjäyhyysakseli epäsymmetrisiä profiileja lukuun ottamatta)
z	Poikkileikkauksen akseli; (heikompi pääjäyhyysakseli epäsymmetrisiä profiileja lukuun ottamatta)
σ	Normaalijännitys
τ	Leikkausjännitys.

1.3 Sauvojen akselit

Akselit ovat yleensä:

xx	-	Sauvan pituussuuntainen akseli.
yy	-	Uumaa tai kulmateräksen leveämpää laippaa vastaan kohtisuora poikkileikkauksen akseli.
zz	-	Uuman tai kulmateräksen leveämmän laipan suuntainen poikkileikkauksen akseli.

Yleensä yy -akseli on poikkileikkauksen vahvempi pääjäyhyysakseli ja zz -akseli on poikkileikkauksen heikompi pääjäyhyysakseli. Kulmateräksillä, pääjäyhyysakselit (uu ja vv) ovat tietyssä kulmassa yy - ja zz -akseleiden suhteen, ks. kuva 1.1.

Momenttiakseleihin viittaavien alaindeksien osalta sopimus on:

“Käytetään akselia, jonka suhteen momentti vaikuttaa”.

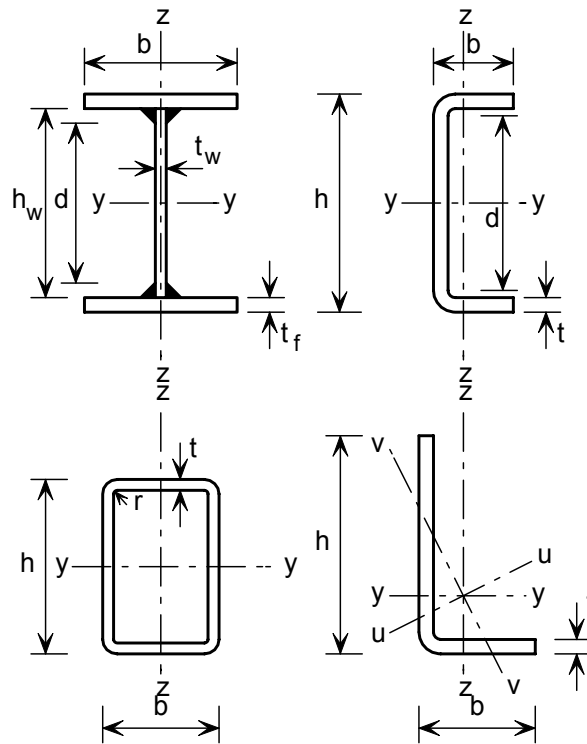
Esimerkiksi I-poikkileikkauksen uuman tasossa vaikuttavaa momenttia merkitään M_y :llä, koska se vaikuttaa poikkileikkauksessa sen akselin suhteen, joka on yhden-suuntainen laippojen kanssa.

1.4 Yksiköt

Laskelmissa suositellaan käytettäväksi seuraavia yksiköitä:

- voimat ja kuormat $kN, kN/m, kN/m^2$
- tiheys kg/m^3
- tilavuuspaino kN/m^3
- jännitykset ja lujuudet $N/mm^2 (= MN/m^2 \text{ tai } MPa)$
- taivutusmomentit kNm

Eurooppalainen käytäntö on käyttää pilkkua “,” luvun kokonaisosan ja desimaaliosan erottamiseksi toisistaan.



Kuva 1.1 Poikkileikkausten merkinnät ja akselit

2 SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Yleiset vaatimukset

Rakenne suunnitellaan ja valmistetaan ottaen huomioon seuraavat asiat:

- rakenne soveltuu käyttöön sen tarkoitettuna elinaikana;
- rakenne kestää kuormitukset, jotka voivat esiintyä rakentamisen, asennuksen ja käytön aikana;
- onnettomuudesta aiheutuvien ylikuormitusten aiheuttamat vauriot jäävät paikallisiksi;
- rakenteella on riittävä säilyvyys suhteessa huoltokustannuksiin.

Edellä olevat vaatimukset voidaan täyttää sopivalla materiaalien valinnalla, tarkoituksenmukaisella suunnittelulla ja yksityiskohdilla sekä määrittämällä rakentamiselle laadunvalvontamenetelmät ja huolto-ohjelma.

Rakenteet suunnitellaan ottamalla huomioon kaikki kyseeseen tulevat rajatilat.

2.2 Rajatilamitoitus

Rajatiloilla tarkoitetaan tilanteita, joiden ylittyessä rakenne ei enää täytä asetettuja toimivuusvaatimuksia. Käytetään kolmea rajatilaa: murtorajatila, käyttörajatila ja säilyvyys. Murtorajatiloilla tarkoitetaan tilanteita, joiden ylittyminen voi aiheuttaa rakenteen tai sen osan murtumiseen vaarantaen ihmisten turvallisuuden. Käyttörajatiloilla tarkoitetaan tilanteita, joiden ylittymisen jälkeen rakenteen käytölle asetettuja vaatimuksia ei enää täytetä. Säilyvyyttä koskeva rajatila voidaan käsittää murto- ja käyttörajatilojen osajoukoksi riippuen siitä vaikuttaako esim. korroosio rakenteen lujuuteen vai esteettiseen ilmeeseen. Alla esitetään esimerkkejä rajatiloista:

Murtorajatila:

- Lujuus (mukaan lukien yleinen myötääminen, murtuminen, nurjahdus ja mekanismin syntyminen);
- Rakenteen kaatuminen tai sivusuuntainen siirtyminen;
- Väsymisestä aiheutuva murtuminen.

Käyttörajatila:

- Taipuma;
- Värähtely (esim. tuulesta aiheutuva);
- Korjattavissa oleva väsymisvaurio;
- Viruminen.

Säilyvyysrajatila:

- Korroosio;
- Metallurginen stabiilius.

Murtorajatilat

Murtorajatiloiissa seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$E_d \leq R_d \quad (2.1)$$

missä:

E_d on tarkasteltavaan rakenneosaan vaikuttavan rasituksen mitoitussarvo, kuten esim. voiman tai momentin mitoitussarvo, joka aiheutuu kuorman osavarmuusluvulla kerrotuista kuormista (F_d , ks. kohta 2.3) ja

R_d on kestävyysmitoitussarvo, jonka laskemiseksi tässä käsikirjassa esitetään suosituksia.

Kestävyyden mitoitussarvo R_d esitetään yleensä muodossa R_k/γ_M , missä R_k on kestävyysominaisarvo ja γ_M on osavarmuusluku. Osavarmuusluku γ_M saa erilaisia arvoja. Taulukossa 2.1 esitetään tässä käsikirjassa käytetyt osavarmuuslukujen γ_M arvot. Nämä arvot on otettu standardeista EN 1993-1-4 ja EN 1993-1-8. Lisäksi viitataan standardin EN 1993-1-4 sen maan kansalliseen liitteeseen (NA) sekä muihin kyseeseen tulevien standardin EN 1993 osien kansallisiin liitteisiin, johon maahan rakenne suunnitellaan. Kyseessä olevan maan kansallisessa liitteessä voidaan esittää muita kuin taulukossa 2.1 esitettyjä arvoja osavarmuusluville γ_M . (Jos kansallista liitettä ei ole, osavarmuusluvuista γ_M tulee sopia kyseeseen tulevan maan kansallisen viranomaisen kanssa).

Vaihtoehtona laskelmille kestävyys voidaan arvioida myös materiaalien, rakenneosien tai rakenteiden testauksen perusteella (ohjeet kokeellisesta mitoituksesta, ks. luku 9).

Taulukko 2.1 Osavarmuusluvun γ_M suositeltavat arvot

Kestävyys:	Merkintä	Standardin EN 1993-1-4 mukainen arvo
Poikkileikkauksen kestävyys myötäämisen ja paikallisen lommahduksen suhteen	γ_{M0}	1,10
Sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen, kun laskelmat tehdään sauvan tarkastuksena	γ_{M1}	1,10
Poikkileikkausten kestävyys vetomurtumisen suhteen	γ_{M2}	1,25
Ruuvit, hitsit, niveltapit ja levyjen reunapuristuskestävyys	γ_{M2}	1,25
Kestävyys:	Merkintä	Standardin EN 1993-1-8 mukainen arvo
Rakenneputkista tehtyjen ristikoiden liitokset	γ_{M5}	1,00
Niveltappiliitokset käyttörajatilassa	$\gamma_{M6,ser}$	1,00

Käyttörajatilat

Käyttörajatiloiissa mitoitusehto on:

$$E_d \leq C_d \quad (2.2)$$

missä:

- E_d on vaikutuksen mitoitusarvo, joka määräytyy käyttörajan ehdon mukaan, esim. sauvan taipuma ominaiskuormien vaikutuksesta (ts. ilman kuorman osavarmuuslukuja), (F_k ks. kohta 2.3.4) ja
- C_d on vastaava vaikutuksen sallittu arvo, joka määräytyy tarkasteltavasta käyttörajan ehdosta.

Säilyvyysrajatilat

Korroosiotarkastelut kuuluvat tähän rajatilaan, ks. kohta 3.7.

2.3 Kuormitukset

2.3.1 Yleistä

Eurocodeissa kuormituksista käytetään myös termiä “vaikutus”. Vaikutus määritellään seuraavasti:

- Joukko rakenteeseen vaikuttavia voimasuureita (kuormia) (suora vaikutus),
- Pakkomuodonmuutokset tai kiihtyvyyssrasitukset, jotka aiheutuvat esim. lämpötilamuutoksista, kosteusvaihteluista, epätasaisesta painumisesta tai maanjäristyksistä (epäsuora vaikutus).

Yksittäisten kuormien ominaisarvot (F_k) määritetään seuraavasti:

- Standardin *EN 1991 Action on structures (SFS-EN 1991 Rakenteiden kuormitukset)* (ottaen huomioon ko. kansallisen liitteen mahdolliset lisäykset ja/tai muutokset) mukaan tai muun kyseeseen tulevan kuormitusstandardin mukaan tai
- Asiakas, tai suunnittelija yhteistyössä asiakkaan kanssa määrittelee kuormitukset edellyttäen, että otetaan huomioon kyseeseen tulevassa kuormitusstandardissa esitetyt tai toimivaltaisen viranomaisen antamat kuormien vähimmäisarvot.

Yksittäisten kuormien mitoitusarvot (F_d) saadaan kertomalla kuormien ominaisarvot kuormien osavarmuusluvulla (γ_F).

Mitoittava kuormitustapaus saadaan käsittelemällä kaikki realistiset kuormitusyhdistelmät ja määrittämällä kriittisin tapaus.

2.3.2 Murtorajatila - maalla olevien rakenteiden mitoituskuormat

Erotellaan seuraavat kuormatyypit:

- Pysyvät kuormat (G) - esim. rakenteiden oma paino, varusteet, liittyvät rakenteet ja kiinteät laitteet
- Muuttuvat kuormat (Q) - esim. hyötykuormat, tuuli- ja lumikuormat ja lämpökuormat
- Onnettomuuskuormat (A) - esim. räjähdykset, tulipalo ja ajoneuvojen törmäykset.

Standardissa *EN 1990 Basis of Structural Design (SFS-EN 1990 Suunnitteluperusteet)* esitetään rakennusten suunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelmät ja suositeltavat kuormien osavarmuusluvut (γ_F). Lisäksi tulee ottaa huomioon sen maan standardin *EN 1990* kansallinen liite (NA, National Annex), johon maahan rakenne

suunnitellaan, koska ko. kansallisessa liitteessä voidaan esittää erilaisia osavarmuuslukujen γ_F arvoja. Kansallisessa liitteessä esitetään myös yhdistelykertoimien (ψ kertoimet) ja epäedullisia pysyviä kuormia koskevat kertoimet (ξ kertoimet). (Jos kansallista liitettä ei ole, tekijöiden γ_F , ψ ja ξ arvoista tulee sopia kyseeseen tulevan maan kansallisen viranomaisen kanssa). Kuormien numeroarvojen osalta viitataan standardin EN 1991 kansallisiin liitteisiin.

Tavanomaisissa tilanteissa, joihin ei liity onnettomuuskuormia, kuormitusyhdistelmät voidaan standardin EN 1990 mukaan esittää seuraavasti:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.3)$$

tai vaihtoehtoisesti käytetään määräävintä lausekkeiden (2.4a) ja (2.4b) antamista arvoista:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.4a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.4b)$$

missä:

- $G_{k,j}$ on pysyvän kuorman ominaisarvo;
- $Q_{k,1}$ on määräävimman muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo (ts. epäedullisin muuttuva kuorma);
- $Q_{k,i}$ ovat samanaikaisesti vaikuttavien muuttuvien kuormien i ominaisarvoja;
- j pysyvän kuorman indeksi;
- i muuttuvan kuorman indeksi;
- $\gamma_{G,j}$ on pysyvän kuorman $G_{k,j}$ osavarmuusluku;
- $\gamma_{Q,1}$ on määräävimman muuttuvan kuorman 1 osavarmuusluku;
- $\gamma_{Q,i}$ on samanaikaisesti vaikuttavien muuttuvien kuormien osavarmuusluku;
- ξ_j on epäedullisen pysyvän kuorman G pienennyskerroin;
- $\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman Q yhdistelykerroin.

Tulee kuitenkin ottaa huomioon sen maan kansallinen liite (NA), johon maahan rakenne suunnitellaan.

Standardissa EN 1990 suositellaan seuraavia arvoja:

$$\gamma_{G,j} = 1,35 \text{ (epäedullisille vaikutuksille)}$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \quad \gamma_{Q,i} = 1,5$$

$$\xi = 0,85$$

$\psi_{0,i}$ arvo riippuu kuormituksen tyypistä (ks. standardi EN 1990 ja sen kansallinen liite).

Lausekkeet (2.4a) ja (2.4b) on otettu käyttöön, koska lauseke (2.3) on kohtuuttomasti varmalla puolella raskaille rakenteille. Lausekkeet (2.4a) ja (2.4b) johtavat yleensä teräsrakenteilla pienempiin kuormiin kuin lauseke (2.3).

2.3.3 Murtorajatila - Offshore rakenteiden mitoituskuormat

Tässä viitataan lähteeseen API RP2A - LRFD *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Load and Resistance Factor Design*, Ensimmäinen painos, 1993.

Tässä käsikirjassa suositellaan seuraavia API RP2A:n mukaisia kuormitusyhdistelmiä ja kuormia ruostumattomasta teräksestä tehtyjen rakenteiden mitoittamiseksi. Merkinnät tässä ovat API RP2A:n mukaisia.

Toimintaolosuhteet:

$$1,3D_1 + 1,3D_2 + 1,5L_1 + 1,5L_2 + 1,2(W_o + 1,25D_n) \quad (2.5)$$

Poikkeukselliset myrskyolosuhteet:

$$1,1D_1 + 1,1D_2 + 1,1L_1 + 1,35(W_e + 1,25D_n) \quad (2.6)$$

Kun alaspäin vaikuttavista kuormista aiheutuvat sisäiset voimat vastustavat tuulesta, aalloista ja virtauksista aiheutuvia sisäisiä voimia, alaspäin vaikuttavia kuormia pienennetään seuraavasti:

$$0,9D_1 + 0,9D_2 + 0,8L_1 + 1,35(W_e + 1,25D_n) \quad (2.7)$$

missä:

- D_1 on pysyvä kuorma mukaan lukien rakenteiden omapaino, varusteet, liittyvät rakenteet ja kiinteät laitteet;
- D_2 on pysyvä kuorma mukaan lukien varusteiden painot ja laitteet, joiden käyttötapa voi muuttua;
- L_1 on hyötykuorma 1 (mukaan lukien putkien ja säiliöiden käyttövarusteet)
- L_2 on hyötykuorma 2 (lyhytaikaisia kuormia, jotka aiheutuvat mm. seuraavista toimenpiteistä: porausputken nosto, nosturilla nostaminen, laivan kiinnittyminen ja helikopterikuormat);
- W_o on operaattorin määrittämä käyttötuuli, aalto- ja virtauskuorma tai niiden vaikutukset;
- W_e poikkeuksellisista myrskyolosuhteista aiheutuvat tuuli-, aalto- ja virtauskuormat tai niiden vaikutus (100 vuoden toistumisaika);
- D_n ovat sisäisiä voimia.

2.3.4 Käyttörajatilan kuormat

Käyttörajatiloissa tarkistetaan seuraavat kuormitusyhdistelmät:

- ominaisyhdistelmä (characteristic);
- tavallinen yhdistelmä (frequent);
- pitkäaikaisyhdistelmä (quasi-permanent).

Standardissa EN 1990 esitetään rakennuksia koskevat kuormitusyhdistelmät. Lisäksi tulee ottaa huomioon sen maan kansallinen liite, johon maahan rakenne suunnitellaan. Standardi EN 1990 edellyttää myös, että taipumarajoista sovitaan asiakkaan kanssa. **Huomautus suomenkielisessä käännöksessä:** Joissakin maissa taipumarajoja esitetään kansallisissa liitteissä.

Ominaisyhdistelmille, joita yleensä käytetään palautumattomille rajatiloille, käytetään seuraavaa kuormitusyhdistelmää:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,l} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.8)$$

missä kaikki merkinnät ovat kohdan 2.3.2 mukaisia.

Standardissa EN 1990 esitetään tarkoituksenmukaiset kuormitusyhdistelmät seuraaville tapauksille:

- taipumien laskeminen tavanomaisissa tapauksissa (kohta A.1.4.3(1)),
- kutistumisesta, relaksaatiosta tai hiipumisesta aiheutuvien pitkäaikaismuodonmuutosten huomioon ottaminen (kohta A.1.4.3(6)),
- ohjeet, milloin rakenteen ulkonäkö tai käyttömukavuus tai koneiden toimintavarmuus otetaan huomioon (kohdat A.1.4.3(4) and (5)).

3 MATERIAALIT: OMINAISUUDET, VALINTA JA SÄILYVYYS

3.1 Teräslajit

3.1.1 Johdanto

On olemassa lukuisia erityyppisiä ruostumattomia teräksiä. Kaikki ruostumattomat teräkset eivät ole hitsattavia. Viisi ruostumattomien terästen perusryhmää niiden metallurgisen rakenteen mukaan luokiteltuina ovat: austeniittiset, ferriittiset, martensiittiset, austeniittis-ferriittiset (duplex-teräkset) ja erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja duplex-teräkset ovat yleisimmin käytetyt rakenteellisissa sovellutuksissa.

Austeniittisissa teräksissä yhdistyy hyvä korroosionkestävyys, muovattavuus ja valmistusominaisuudet. Ruostumattomilla duplex-teräksillä on korkea lujuus ja hyvä kulutuskestävyys sekä hyvä jännityskorroosionkestävyys.

Yleisimmin käytetyt austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat 1.4301 (ASTM:n mukainen merkintä 304) ja 1.4401 (ASTM:n mukainen merkintä 316). Ne sisältävät noin 17 - 18 % kromia ja 8 - 11 % nikkeliä. Teräslaji 1.4301 soveltuu maaseutu- ympäristöön, kaupunkiympäristöön ja vähän rasitettuihin teollisuusympäristöihin, kun taas teräslaji 1.4401 on enemmän seostettu ja käyttäytyy hyvin meri- ja teollisuusympäristöissä.

Näiden terästyyppeiden vähän hiiltä sisältävät teräslajit ovat 1.4307 (304L) ja 1.4404 (316L). Aikaisemmin teräslajeja 1.4301 ja 1.4401 valmistettiin huomattavasti korkeammalla hiilipitoisuudella, joka vaikuttaa korroosiokäyttäytymiseen¹. Lajeja "L" (ASTM:n mukainen merkintä L) tai stabiloituja teräslajeja kuten 1.4541 ja 1.4571 on käytetty, kun on ollut kyse korroosionkestävyydestä hitsatuissa rakenteissa.

Teräslaji 1.4318 on matalahiilinen korkeasti typpipitoinen ruostumaton teräs, joka kylmämuokattaessa muokkauslujittuu hyvin nopeasti. Sitä on käytetty pitkään hyvällä menestyksellä junavaunujen rakenteissa ja se soveltuu myös auto- ja ilmailuteollisuuden tuotteisiin sekä arkkitehtonisiin sovellutuksiin. Teräslajin 1.4318 korroosionkestävyys vastaa teräslajin 1.4301 korroosiokestävyyttä ja se soveltuu parhaiten sovellutuksiin, joissa vaaditaan suurempaa lujuutta kuin teräslajilla 1.4301 ja kun kyseessä on suuret määrät. Teräslaji 1.4318 on saatavissa yleensä vain suoraan valmistajilta ja silloin käyttäjien on syytä tarkistaa teräslajin 1.4318 saatavuus suoraan valmistajalta. Sen hinta on todennäköisesti jonkin verran korkeampi kuin teräslajilla 1.4301 riippuen valmistusmäärästä.

Ruostumattomien terästen kasvava käyttö kantavissa rakenteissa on aikaansaanut kysynnän uusille duplex-teräksille ("lean" duplex), joissa duplex-terästen mekaaniset ja korroosio-ominaisuudet on saavutettu niukemmalla seostuksella. Standardin EN 10088 tulevat osat 4 ja 5 (ks. kohta 3.1.2) sisältävät äskettäin kehitetyn duplex-teräksen 1.4162. Teräslaji 1.4162 soveltuu useisiin rakennusteknisiin sovellutuk-

¹ Teräksessä oleva hiili voi muodostaa kromin kanssa kromikarbideja, jotka erkautuvat raerajoille lämpökäsittelyn yhteydessä tai tietyissä lämpötilamuutoksissa, esim. hitsauksen muutosvyöhykkeelle (HAZ). Kromin paikallinen erkautuminen raerajoilta karbideiksi mahdollistaa rakeidenvälisen korroosion ja teräksen sanotaan olevan *herkistynyt* ja/tai siihen kohdistuu muutosvyöhykkeen raerajakorroosio (*hitauskorroosio*) (ks. 3.7.2).

siin, kun 0,2-raja on välillä 450 - 530 N/mm², korroosionkestävyys on austeniittisten teräslajien 1.4301 ja 1.4404 välillä ja ko. teräksen seostus on niukempi ("lean").

Tässä käsitellään vain valssattuja teräksiä. Valettuja teräksiä ei käsitellä. Teräslajin valintaohjeita esitetään kohdassa 3.6.

3.1.2 Sovellettavat standardit

Litteät ja pitkät tuotteet

Sovellettava materiaalistandardi EN 10088, *Stainless steels (SFS-EN 10088 Ruostumattomat teräkset)* sisältää kolme osaa:

- Osassa 1 *Lists of stainless steels (SFS-EN 10088-1: Ruostumattomat teräkset. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo)* esitetään ruostumattomat teräkset, niiden kemiallinen koostumus ja joidenkin fysikaalisten ominaisuuksien, kuten kimmokerroin E, arvoja.
- Osassa 2 *Technical delivery conditions for sheet, plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes (SFS-EN 10088-2: Ruostumattomat teräkset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot)* esitetään yleiseen käyttöön tarkoitettujen levyjen ja nauhojen tekniset toimitusehdot sekä esitetään profiilien muovaukseen soveltuvien terästen tekniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.
- Osassa 3 *Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for general purposes (SFS-EN 10088-3: Ruostumattomat teräkset. Osa 3: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät tangot, valssilangat, langat, profiilit, kirkkaat tuotteet ja puolivalmisteet. Tekniset toimitusehdot)* esitetään pitkissä tuotteissa käytettävien materiaalien tekniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.

Standardin EN 10088 osat 4 (litteät tuotteet) ja 5 (pitkät tuotteet) ovat parasta aikaa valmisteilla ja ne kattavat rakentamiseen tarkoitettut ruostumattomat teräkset. Ko. osat julkaistaan todennäköisesti v. 2007.

EN 10088:ssa käytetty merkintäjärjestelmä vastaa eurooppalaista teräksen numeroon ja nimeen perustuvaa järjestelmää.

Esimerkiksi teräslajin 1.4307 numero sisältää seuraavat asiat:

1.	43	07
Tarkoittaa terästä	Tarkoittaa ruostumattomien terästen yhtä ryhmää	Yksittäisen teräslajin tunnus

Teräksen nimijärjestelmä sisältää perustietoa teräksen koostumuksesta. Numeroa 1.4307 vastaavan teräksen nimi on X2CrNi18-9, missä:

X	2	CrNi	18-9
Tarkoittaa runsaasti seostettua terästä	Hiilipitoisuus-% 100-kertaisena	Pääseosaineiden kemiallinen merkintä	Pääseosaineiden pitoisuus %:na

Jokaisella ruostumattomalla teräksellä on yksikäsitteinen numero. Liitteen A taulukossa esitetään toisiaan vastaavien teräslajien merkinnät joidenkin kansallisten ja eurooppalaisten standardien mukaan.

Taulukossa 3.1 esitetään EN 10088-2:n mukaisten yleisesti käytettyjen ruostumattomien terästen mekaanisten ominaisuuksien minimiarvot. Taulukossa 3.2 esitetään näiden terästen kemiallinen koostumus.

Sekä austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä että ruostumattomilla duplex-teräksillä on riittävä iskutugeus ja ne eivät ole alttiit haurasmurtumiselle käyttölämpötilaan -40 °C asti. Austeniittisten terästen iskutugeus säilyy hyvänä myös tätä alhaisemmissa lämpötiloissa.

Mekaanisten ominaisuuksien mitoitusarvoja käsitellään kohdassa 3.2.4.

Taulukko 3.1 EN 10088-2:n mukaisten yleisten ruostumattomien terästen mekaanisten ominaisuuksien minimiarvot

	Teräs-laji	Tuote-muoto ⁽¹⁾	Suurin ainepak-suus (mm)	0,2- rajan minimi-arvo ⁽²⁾ (N/mm ²)	Vetomurto-lujuus (N/mm ²)	Mittapi-tuutta vastaava murto-venymä (%)
Austeniittiset kromi-nikkeli perusteräk-set	1.4301	C	8	230	540 - 750	45 ⁽³⁾
		H	13,5	210	520 - 720	45 ⁽³⁾
		P	75	210	520 - 720	45
	1.4307	C	8	220	520 - 700	45
		H	13,5	200	520 - 700	45
		P	75	200	500 - 700	45
Austeniittiset molybdeeni-kromi-nikkeli teräokset	1.4401	C	8	240	530 - 680	40
		H	13,5	220	530 - 680	40
		P	75	220	520 - 670	45
	1.4404	C	8	240	530 - 680	40
		H	13,5	220	530 - 680	40
		P	75	220	520 - 670	45
Stabiloidut austeniittiset teräokset	1.4541	C	8	220	520 - 720	40
		H	13,5	200	520 - 720	40
		P	75	200	500 - 700	40
	1.4571	C	8	240	540 - 690	40
		H	13,5	220	540 - 690	40
		P	75	220	520 - 670	40
Alhaisen hii-lipitoisuuden ja korkean typpipitoi-suuden omaava aus-teniittinen teräs	1.4318	C	8	350	650 - 850	35
		H	13,5	330	650 - 850	35
		P	75	330	630 - 830	45
Duplex teräokset	1.4362	C	8	450	650 - 850	20
		H	13,5	400	650 - 850	20
		P	75	400	630 - 800	25
	1.4462	C	8	500	700 - 950	20
		H	13,5	460	700 - 950	25
		P	75	460	640 - 840	25

Huom.:

(1) C = kylmävalssattu nauha, H = kuumavalssattu nauha/nauhalevy, P = kuumavalssattu levy

(2) Valssaussuuntaan nähden poikittaisessa suunnassa

(3) Venytysoikaistuille materiaaleille minimiarvo on 5 % pienempi

Taulukko 3.2 EN 10088-2: mukaisten terästen kemiallinen koostumus

	Teräslaji	Seososien pitoisuus painoprosenttina (suurin arvo ja sallittu alue)				
		C	Cr	Ni	Mo	Others
Austeniittiset teräkset	1.4301	0,07	17,5 - 19,5	8,0 - 10,5		
	1.4307	0,03	17,5 - 19,5	8,0 - 10,0		
	1.4401	0,07	16,5 - 18,5	10,0 - 13,0	2,0 - 2,5	
	1.4404	0,03	16,5 - 18,5	10,0 - 13,0	2,0 - 2,5	
	1.4541	0,08	17,0 - 19,0	9,0 - 12,0		Ti: 5xC - 0,7 ⁽¹⁾
	1.4571	0,08	16,5 - 18,5	10,5 - 13,5	2,0 - 2,5	Ti: 5xC - 0,7 ⁽¹⁾
	1.4318	0,03	16,5 - 18,5	6,0 - 8,0		N: 0,1 - 0,2
Duplex teräkset	1.4362	0,03	22,0 - 24,0	3,5 - 5,5	0,1 - 0,6	N: 0,05 - 0,2
	1.4462	0,03	21,0 - 23,0	4,5 - 6,5	2,5 - 3,5	N: 0,1 - 0,22

Huom:
 (1) Titaania on lisätty hiilen stabiloimiseksi ja korroosiokäyttämisen parantamiseksi hitsien lämpövaikutusalueella. Lukuun ottamatta suuria ainepaksuuksia jo olemassa olevat niukkahiiliset teräkset 1.4307 ja 1.4404 ovat laajalti korvanneet titaanilla stabiloidut austeniittiset teräkset.

Ruuvit

Ruostumattomista teräksistä tehtyjä ruuveja käsitellään standardissa EN ISO 3506, *Corrosion-resistant stainless steel fasteners*. Ko. standardissa esitetään austeniittisten, martensiittisten ja ferriittisten kiinnittimien kemiallinen koostumus ja mekaaniset ominaisuudet. Vaihtoehtoisia, standardissa määrittelemättömiä aineita voidaan käyttää edellyttäen, että ne täyttävät fysikaalisille ja mekaanisille ominaisuuksille asetetut vaatimukset ja että niillä on vastaavat korroosionkestävyysominaisuudet.

EN ISO 3506:n mukaan ruuvien ja muttereiden materiaali luokitellaan kirjaimin seuraavasti: "A" tarkoittaa austeniittistä, "F" tarkoittaa ferriittistä ja "C" tarkoittaa martensiittistä. Suositellaan käytettäväksi austeniittisiä ruuveja, joiden ominaisuuksia esitetään taulukoissa 3.3 ja 3.4 (otettu standardista EN ISO 3506). Kirjainta seuraa numero (1, 2, 3, 4 tai 5), joka viittaa korroosionkestävyyteen siten, että luku 1 tarkoittaa alinta ja luku 5 parhainta korroosionkestävyyttä.

Teräslaji A1 on tarkoitettu erityisesti koneistettavaksi (lastuavaan työstöön). Suuren rikkipitoisuuden takia näillä teräslajeilla on alhaisempi korroosionkestävyys kuin vastaavilla teräksillä, joiden rikkipitoisuus on normaali. Teräslajin A1 ruuveja käytettäessä on oltava varovainen, ks. kohta 3.6.1

A2 luokan terästen korroosionkestävyys vastaa teräksen 1.4301 korroosionkestävyyttä. Luokan A3 teräkset ovat stabiloituja ruostumattomia teräksiä, joiden korroosionkestävyys vastaa teräksen 1.4541 korroosionkestävyyttä. (Stabiloidulla teräksellä tarkoitetaan terästä, joka sisältää voimakkaita karbideja muodostavia aineita kuten titaani, joka reagoi hiilen kanssa ja estää kromikarbidiin muodostumista).

A4 luokan teräs sisältää molybdeenia ja sen korroosionkestävyys vastaa teräksen 1.4401 korroosionkestävyyttä. A5 luokan teräkset ovat molybdeeniseosteisia ja titaanistabiloituja, joiden ominaisuudet vastaavat teräksen 1.4571 ominaisuuksia.

Austeniittisia ruuveja on saatavissa kolmessa lujuusluokassa, ks. taulukko 3.3. Lujuusluokassa 50 kokoa M39 suurempien ja lujuusluokissa 70 ja 80 kokoa M24 suurempien ruuvien ominaisuudet riippuvat seoksesta ja valmistusmenetelmästä ja niiden ominaisuuksista tulee sopia erikseen.

Lujuusluokan 50 ruuvit eivät ole magneettisia, mutta lujuusluokkien 70 ja 80 ruuvit voivat olla magneettisia.

Lujuusluokan 50 ruuvien materiaali on pehmeäksi hehkutettu, jonka takia niillä on korkein korroosionkestävyys. Lujuusluokkien 70 ja 80 ruuvit ovat kylmämuokattuja, joka voi vaikuttaa jonkin verran korroosionkestävyyteen. Lujuusluokan 50 ruuvit, joissa kierteet on tehty koneistamalla, voivat olla enemmän alttiit kierteiden kitkasyöpymiselle, ks. kohta 10.5.

Ruuvien ja perusaineen yhteensopivuuteen lujuuden ja korroosiokestävyyden kannalta tulee kiinnittää huomiota.

Standardissa EN 14399 esitetään ohjeet CE-merkin käytöstä ruuvituotteille.

Taulukko 3.3 *EN ISO 3506 mukaisten austeniittisten ruuvien ja muttereiden mekaanisten ominaisuuksien minimiarvot*

Teräslaji ⁽¹⁾	Lujuusluokka	Kierteen halkaisija	Ruuvit		Mutterit
			Vetomurto-lujuus ⁽²⁾ (N/mm ²)	0,2-raja (N/mm ²)	Murtolujuus (N/mm ²)
A1, A2, A3, A4 ja A5	50	≤ M39	500	210	500
	70	≤ M24 ⁽³⁾	700	450	700
	80	≤ M24 ⁽³⁾	800	600	800

Huom.:

- (1) EN ISO 3506 mukaisten lujuusluokkien 50, 70 ja 80 erilaisten terästen lisäksi voidaan käyttää myös EN 10088-3:n mukaisia muita teräksiä.
- (2) Vetojännitys lasketaan jännityspoikkipinta-alan mukaan.
- (3) Kiinnittimien, joiden nimellinen kierrehalkaisija $d > 24$ mm, mekaanisista ominaisuuksista tulee sopia käyttäjän ja valmistajan välillä ja tuotteet tulee merkitä teräslajilla ja lujuusluokalla tämän taulukon mukaisesti.

Taulukko 3.4 EN ISO 3506 mukaisten ruuvien kemiallinen koostumus

Teräs-laji	Kemiallinen koostumus (painoprosenttia) ⁽¹⁾								Muut
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	
A1	0,12	16,0 - 18,0	5,0 - 10,0	0,7	1,0	6,5	0,20	0,15 - 0,35	
A2	0,1	15,0 - 20,0	8,0 - 19,0	-(²)	1,0	2,0	0,05	0,03	
A3	0,08	17,0 - 19,0	9,0 - 12,0	-(²)	1,0	2,0	0,045	0,03	Joko Ti: ≥ 5xC - 0,8 tai Nb/Ta: ≥ 10xC - 1,0
A4	0,08	16,0 - 18,5	10,0 - 15,0	2,0 - 3,0	1,0	2,0	0,045	0,03	
A5	0,08	16,0 - 18,5	10,5 - 14,0	2,0 - 3,0	1,0	2,0	0,045	0,03	Joko Ti: ≥ 5xC - 0,8 tai Nb/Ta: ≥ 10xC - 1,0

Huom.:
 (1) Arvot ovat maksimiarvoja ellei toisin sovita.
 (2) Voi sisältää molybdeenia valmistajan harkinnan mukaan.

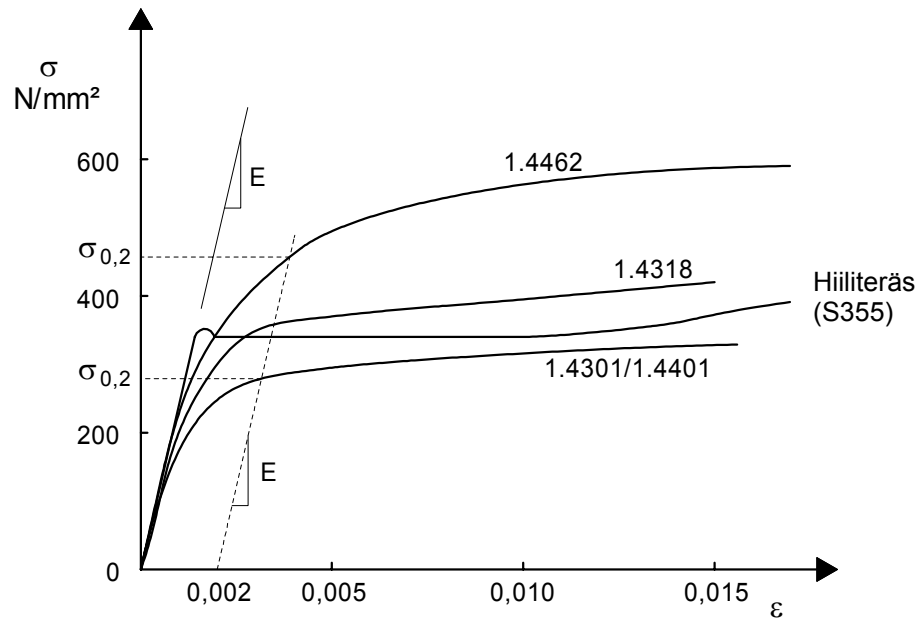
3.2 Mekaaninen käyttäytyminen ja ominaisuuksien mitoitusarvot

3.2.1 Jännitys-venymäkäyttäytyminen

Ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen eroaa hiiliteräksen jännitys-venymäkäyttäytymisestä monin tavoin. Tärkein ero on jännitys-venymäkäyrän muodossa. Kun hiiliteräs tyypillisesti käyttäytyy lineaarisesti myötörajaan asti ja sen jälkeen jännitys-venymäkäyrä on tasainen muokkauslujittumiseen asti, on ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen epälineaarisempi ilman selvästi määritettävää myötörajaa (ks. kuva 3.1). Sen takia ruostumattoman teräksen myötörajaksi määritellään yleensä pysyvää venymää (perinteisesti 0,2 %:n venymää vastaava arvo) vastaava jännityksen arvo kuvan 3.1 mukaisesti.

Kuvassa 3.1 esitetään tyypillisiä kokeisiin perustuvia jännitys-venymäkäyriä. Kuvan käyrät ovat todennäköisiä tyypillisiä käyriä useille ruostumattomille teräksille. Kuvan käyrät ovat ohjeellisia eikä niitä tule käyttää suunnittelussa.

Ruostumattomat teräkset voivat absorboida huomattavasti iskuenergiaa ilman murtumista johtuen niiden hyvästä sitkeydestä (erityisesti austeniittisilla teräksillä) ja niiden muokkauslujittumisominaisuuksista.



($\sigma_{0,2}$ -arvo vastaa 0,2 %:n venymää)

Kuva 3.1 Tyypillisiä hehkutetussa tilassa olevien ruostumattomien terästen ja hiiliteräksen jännitys-venymäkäyriä (pituussuuntainen veto)

3.2.2 Jännitys-venymäkäyttäytymiseen vaikuttavat tekijät

On olemassa tekijöitä, jotka voivat muuttaa jännitys-venymäkäyrän muotoa. Nämä tekijät ovat jossakin määrin toisistaan riippumattomia. Ko. tekijät ovat:

Kylmämuokkaus

Kylmämuokkaus, kuten lujuuden kasvattaminen kylmämuovausprosessissa sekä levyn suoristus rulla- tai venytysoikaisulla sekä myös valmistuksen aikana, nostaa austeniittisten ja duplex-terästen lujuustasoa. Tähän lujuuden kasvamiseen liittyy sitkeyden pieneneminen, mutta sen merkitys on yleensä vähäinen erityisesti austeniittisillä ruostumattomilla teräksillä, koska alkuperäinen sitkeys on suuri.

Taulukossa 3.5 esitetään standardin EN 1993-1-4 mukaiset kylmämuokkaustasot, jotka vastaavat eurooppalaista materiaalisstandardia EN 10088. Kylmämuokatut teräkset voidaan määrittää joko 0,2-rajan minimiarvon tai vetomurtolujuuden tai kovuuden perusteella, mutta vain yksi muuttuja voidaan nimetä.

Kun ruostumatonta terästä kylmämuokataan, teräksen ominaisuudet pyrkivät muuttumaan epäsymmetrisiksi siten, että käyttäytyminen vedossa ja puristuksessa on erilainen ja teräs on anisotrooppinen (erilaiset jännitys-venymäominaisuudet valssaussuunnassa ja valssaussuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa). Epäsymmetrisyyden ja anisotropian aste riippuu teräslajista, kylmämuokkausasteesta ja valmistushistoriasta. Kuvassa 3.2 esitetään jännitys-venymä-yhteys teräslajille 1.4318, joka on kylmämuokattu luokkaan C850; puristuslujuus pituussuunnassa on pienempi kuin vetolujuus sekä valssaussuuntaan vastaan kohtisuorassa suunnassa että valssaussuunnassa (jotka arvot yleensä esitetään materiaalistandardeissa kuten EN 10088 ja jotka toimittaja vastaavasti ilmoittaa). Tämän takia tulee olla huolellinen, kun valitaan lujuuden mitoitusarvoja kylmämuokatulle materiaalille (ks. kohta 3.2.4). Lisätietoja lujuusarvoista muiden kuormitusten suhteen tai muissa kuormitussuunnissa on saatavissa valmistajilta.

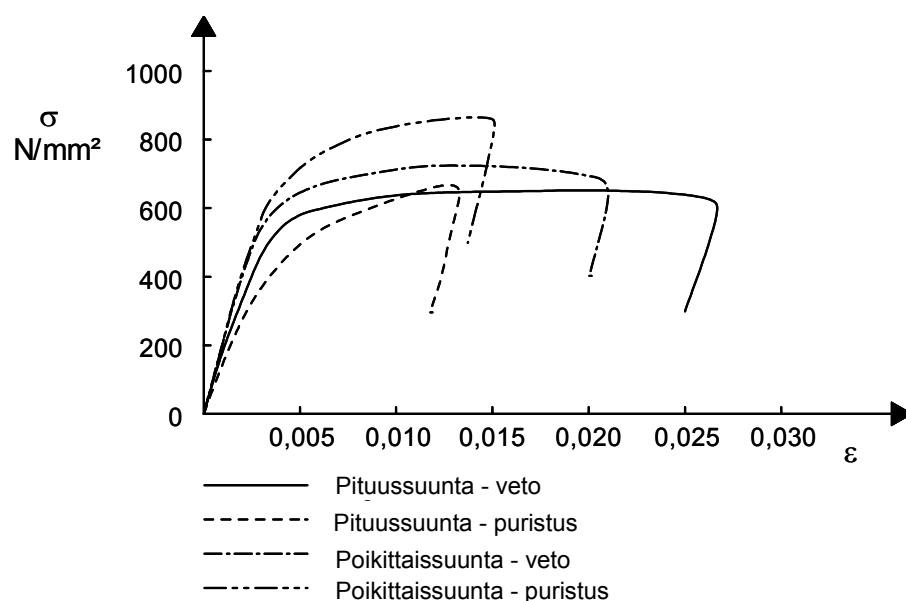
Kylmämuokatun ruostumattoman teräksen hinta on jonkin verran korkeampi kuin vastaavan hehkutetun materiaalin hinta riippuen teräslajista, tuotemuodosta ja kylmämuokkausasteesta.

Taulukko 3.5 Standardin EN 10088-2 mukaiset kylmämuokkausta kuvaavat lujuustasot (soveltuu, kun aineenpaksuus ≤ 6 mm)

Kylmämuok- kaustila	0,2%-rajan minimiarvo ^{1) 2)}	Vetomurto- lujuuden minimiarvo ^{1) 2)}	Teräslajit, joita on saatavilla kylmämuoka- tussa tilassa
CP350	350	700 ³⁾	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571
CP500	500	850 ³⁾	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571, 1.4318
CP700	700	1000 ³⁾	1.4318, 1.4301
C700	350 ³⁾	700	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571
C850	500 ³⁾	850	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571, 1.4318
C1000	700 ³⁾	1000	1.4318, 1.4301

Huom.:

- (1) 0,2-rajan tai vetolujuuden väliarvoista voidaan sopia.
- (2) Suurin saatavilla oleva aineenpaksuus pienenee lujuustason kasvaessa. Suurin tuotteen paksuus ja jäännösvenymä riippuvat myös teräksen muokkauslujittumisesta ja kylmämuokkausolosuhteista - tarkempia tietoja voidaan pyytää valmistajalta.
- (3) Ei määritetty, suuntaa antavia minimiarvoja.



Kuva 3.2 Tyypillisiä jännitys-venymäyhteyksiä teräslajille 1.4318 vastaten kylmälujittumistasoa C850

0,2-rajan kasvaminen noin 50 %:lla profiilien valmistuksen yhteydessä on tyypillistä kylmämuokattujen profiilien nurkissa. Vaikutus on kuitenkin paikallinen ja rakenneosan kestävyys kasvaminen riippuu nurkkien sijainnista poikkileikkauksessa. Esim. palkissa, jossa kylmämuokatut nurkat sijaitsevat lähellä neutraaliakselia saavutettavat edut ovat pienet. Lujuuden kasvaminen kompensoi helposti materiaalin ohentamisen vaikutukset kylmämuokatuissa nurkissa. Jos paikallista, valmis-

tuksesta aiheutuvaa lujuuden kasvua hyödynnetään, sen tulee perustua kokeelliseen mitoitukseen (ks. luku 9).

Kylmämuovauksen jälkeen tapahtuva kylmämuovautun rakenneosan hitsaaminen pehmentää ko. kohtaa paikallisesti aiheuttaen kohonneen lujuuden pienenemistä. Kohdassa 6.4 esitetään ohjeita hitsattujen kiinnitysten suunnittelusta, kun kylmämuokattuja rakenneosia liitetään toisiinsa.

Kuormitusnopeus

Kuormitusnopeus vaikuttaa ruostumattomiin teräkseen merkittävämmän kuin hiiliteräksiin. Ruostumattomalle teräkselle saadaan suhteellisesti suurempi lujuus nopeassa kuormituksessa kuin hiiliteräkselle.

Lämpökäsittely

Hehkutus tai pehmentäminen pienentää lujuuden kasvua ja anisotropiaa.

3.2.3 Ominaisuuksien tyypilliset arvot

Kohtien 3.2.1 ja 3.2.2 perusteella on ilmeistä, että useita tekijöitä tulee ottaa huomioon tarkasteltaessa ruostumattomien terästen mekaanisia ominaisuuksia. Ruostumattomien terästen metallurgia on monimutkaisempi ja valmistusprosessilla on suurempi vaikutus tuotteen loppuominaisuuksiin kuin hiiliteräksillä. Kaikille ruostumattomille teräslajeille on odotettavissa, että ominaisuudet ovat erilaisia eri valmistajilla. Mekaaniset ominaisuudet, jotka riippuvat kemiallisesta koostumuksesta ja termomekaanisesta käsittelystä, ovat kuitenkin hyvin valmistajien hallinnassa ja sen takia on mahdollista neuvotella halutuista ominaisuuksista yksittäisen valmistajan kanssa.

Rakenteellisessa mielessä marginaali, jolla todellinen 0,2-raja ylittää minimivaatimuksen on merkittävä. 0,2-ajan keskiarvot ovat tyypillisesti 20 - 35 % minimiarvon yläpuolella. Vetomurtolujuus on tyypillisesti vain n. 10 % minimiarvoa suurempi.

3.2.4 Ominaisuuksien mitoitusravot

Litteät tuotteet

Voidaan käyttää kolmea eri vaihtoehtoa: standardin mukaan määritettyjä minimiarvoja, todennettuja mitattuja arvoja tai tehtaan takaamia sertifioituja arvoja.

- (i) Mitoitus käyttäen standardin mukaisia minimiarvoja

Hehkutettu materiaali

Mitoituksen perustana käytetään EN 10088-2:n mukaisia 0,2-ajan (f_y) ja vetomurtolujuuden (f_u) mukaisia minimiarvoja, jotka ovat ominaisarvoja (ks. taulukko 3.1).

Kylmämuokattu materiaali

f_y :n ja f_u :n nimellisille arvoille voidaan käyttää kylmämuokatussa tilassa korotettuja arvoja standardin EN 10088 mukaan.

Materiaalille, joka toimitetaan määritetyn 0,2-ajan mukaan (esim. CP350), voidaan käyttää taulukon 3.5 mukaista 0,2-ajan minimiarvoa ominaisarvona. Kylmämuokatun materiaalin epäsymmetrisyyden huomioon ottamiseksi niissä tapauksissa, joissa pituussuuntainen puristus on kyseeseen tuleva jännitys (esim. pilarit ja taivutus), ominaislujuutena käytetään arvoa 0,8 x taulukon 3.5 mukainen 0,2-raja. Suurempaa arvoa voidaan käyttää tarkoituksenmukaisiin kokeisiin perustuen.

Materiaalille (esim. C700), joka toimitetaan määritetyn vetomurtolujuuden perusteella, taulukon 3.5 mukaista vetomurtolujuuden minimiarvoa voidaan käyttää ominaisarvona ja 0,2-ajan ominaisarvo tulee saada toimittajalta.

Huom. 1: Suorakaiteen muotoisia rakenneputkia on saatavissa kylmämuokatussa tilassa lujuusluokissa, jotka ovat luokkien CP350 ja CP500 välissä ja joille valmistaja takaa 0,2-ajan (koskee sekä vetoa että puristusta) ja vetomurtolujuuden.

Huom. 2: Tämän käsikirjan mukaiset suunnittelusäännöt soveltuvat teräslajeihin CP500 ja C850 asti. Lujemmille kylmämuokatuille teräslajeille mitoituksen tulee perustua kohdan 9 mukaisiin kokeisiin. Poikkeuksena ovat poikkileikkausluokkiin 1, 2 tai 3 kuuluvat sauvat, joissa paikallinen lommahdus tai globaali stabiiliuden menetys eivät ole määrittäviä, jolloin poikkileikkauksen kestävyys voidaan määrittää luvun 4 mukaan.

(ii) Mitoitus käyttäen todennettuja mitattuja arvoja

Tätä vaihtoehtoa käytetään vain, kun vetokokeet tehdään siitä levystä tai nauhasta tehdyillä koekappaleilla, joista myös itse osat muovataan tai valmistetaan. Suunnittelijan tulee myös varmistaa, että vetokokeet tehdään hyväksytyn standardin, esim. SFS EN 10002-1 mukaan. Lisäksi tulee varmistaa, että valmistustapa on sellainen, että osa todellisuudessa tehdään testatusta materiaalista ja se sijoitetaan osakokoonpanoon oikealla tavalla.

Lujuuden mitoitusarvo voidaan määrittää tilastollisesti standardin EN 1990 liitteen D suositusten mukaan.

Suositellaan, että vetolujuuden ominaisarvona f_u käytetään EN 10088-2:n mukaista minimiarvoa.

(iii) Mitoitus käyttäen tehtaan takaamia sertifioituja arvoja.

Mitatut 0,2-ajan arvot esitetään tehtaan aineistodistuksessa. Lujuuden mitoitusarvo voidaan määrittää tilastollisesti standardin EN 1990 liitteen D suositusten mukaan.

Suositellaan, että vetolujuuden ominaisarvona f_u käytetään EN 10088-2:n mukaista minimiarvoa.

Kimmokertoimen arvoksi kaikille rakentamisessa käytetyille standardisoiduille austeniittisille ja duplex-teräksille voidaan valita $200\,000\text{ N/mm}^2$ EN 10088-1:n mukaan. Taipumien laskemiseksi sekanttimoduulin käyttö on tarkoituksenmukaisempaa, ks. 5.4.6. Näille teräksille suppeusluvuksi voidaan valita 0,3 ja liukukertoimelle G voidaan käyttää arvoa $76\,900\text{ N/mm}^2$.

Ruuvit

Ruuvien veto- ja leikkauskestävyyden sekä niiden yhteisvaikutuksen laskemiseksi käytetään ruuvien vetomurtolujuuden minimiarvoa f_{ub} seuraavasti:

$$f_{ub} = \sigma_{ub}$$

missä σ_{ub} taulukon 3.3 mukainen eri lujuusluokille esitetty vetomurtolujuuden minimiarvo.

Laskettaessa ruuvien pitkäaikaiskestävyyttä käytetään standardin EN 1990 mukaisia kuormitusyhdistelmiä murtorajatilassa.

3.3 Fysikaaliset ominaisuudet

Taulukossa 3.6 esitetään joidenkin (ne teräslajit, joita tässä käsikirjassa käsitellään) standardin EN 10088 mukaisten hehkutettujen terästen fysikaalisia ominaisuuksia huoneen lämpötilassa. Fysikaaliset ominaisuudet voivat vaihdella jonkin verran riippuen tuotemuodosta ja tuotteen koosta, mutta ko. vaihtelut eivät yleensä ole kriittisiä erilaisissa tuotesovellutuksissa.

Taulukko 3.6 Fysikaalisia ominaisuuksia huoneen lämpötilassa, hehkutettu tila

Teräslaji	Tiheys (kg/m ³)	Lämpöpitenemi- nen 20 - 100 °C (10 ⁻⁶ /°C)	Lämmönjohta- vuus (W/m °C)	Ominaislämpö (J/kg °C)
1.4301	7900	16	15	500
1.4307	7900	16	15	500
1.4401	8000	16	15	500
1.4404	8000	16	15	500
1.4541	7900	16	15	500
1.4571	8000	16,5	15	500
1.4318	7900	16	15	500
1.4362	7800	13	15	500
1.4462	7800	13	15	500

Rakenteelliselta kannalta tärkein fysikaalinen ominaisuus on lineaarinen lämpöpiteneminen, joka poikkeaa oleellisesti hiiliteräksen vastaavasta arvosta ($12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Erilaisen lämpöpitenemisen vaikutukset tulee ottaa suunnittelussa huomioon, jos hiiliterästä ja ruostumatonta terästä käytetään yhdessä.

Duplex-teräkset ja ferriittiset teräkset ovat magneettisia. Kun austeniittisten terästen epämagneettisuus on tärkeä, hitsauslisäaineet tulee valita huolella ferriittisten partikkelien minimoimiseksi itse hitsissä. Voimakas kylmämuokkaus erityisesti vähän seostetuissa austeniittisissa teräksissä voi myös kasvattaa magneettista permeabiliteettia; jälkeensä tapahtuva hehkutus palauttaa epämagneettiset ominaisuudet. Epämagneettisissa sovellutuksissa suositellaan lisäohjeiden hankkimista teräksen tuottajalta.

3.4 Lämpötilan vaikutukset

Austeniittisia teräksiä käytetään kylmälaite-sovellutuksissa. Korkeissa lämpötiloissa austeniittiset ja duplex-teräkset säilyttävät hiiliteräksiä paremmin lujuutensa, kun lämpötila on korkeampi kuin noin 550 °C. Rakenteiden suunnittelua pitkäaikaisiin alhaisiin lämpötiloihin tai pitkäaikaisiin korkeisiin lämpötiloihin ei tässä käsikirjassa käsitellä. Todetaan, että em. sovellutuksissa muilla kuin kohdassa 3 esitetyillä mekaanisilla ominaisuuksilla ja korroosio-ominaisuuksilla on suurempi merkitys. Erityisesti tulenkestävät ja kuumalujat ruostumattomat teräkset (ei käsitellä tässä käsikirjassa) soveltuvat useimmissa tapauksissa paremmin korkeisiin lämpötiloihin ja suosituksena on lisätiedon hankinta käytännön tapauksissa.

Duplex-teräksiä ei tule käyttää sovellutuksissa, joissa teräs on pitkäaikaisesti yli 300 °C:n lämpötilassa johtuen haurastumisen mahdollisuudesta.

Kohdassa 7 käsitellään paloteknistä mitoitusta ja esitetään mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa.

3.5 Elinkaarikustannukset

Materiaaleja valittaessa pitää kiinnittää entistä enemmän huomiota koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin eikä vain materiaalien hankintakustannuksiin. Elinkaarikustannuksissa otetaan huomioon seuraavat asiat:

- hankintakustannukset;
- käyttökustannukset;
- jäännösarvo.

Toisinaan ruostumatonta terästä pidetään kalliina materiaalina. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että käyttämällä korroosionkestävää materiaalia voidaan saavuttaa säästöjä tulevaisuuden huolto-, seison- ja korjauskustannuksissa, jotka kompensoivat korkeampia materiaalin hankintakustannuksia.

Kantavissa rakenteissa käytettävien ruostumattomien terästen hankintakustannukset ovat merkittävästi korkeammat vastaaviin hiiliteräksiin verrattuna riippuen ruostumattomasta teräslajista. Säästöjä kuitenkin saavutetaan, koska erillisiä pinnoitteita ei tarvita ja pinnoitteiden korjaustarvetta ei ole.

Ruostumattomien terästen erinomainen korroosionkestävyys voi tarjota monia etuja, kuten:

- pieni tarkastustaajuus ja pienet tarkastuskustannukset;
- pienet huoltokustannukset;
- pitkä käyttöikä.

Ruostumattomalla teräksellä on korkea jäännösarvo (ts. arvo rakenteen eliniän päättyessä), vaikkakin tämä on harvoin määräävä tekijä rakenteille, joilla on pitkä suunniteltu käyttöikä (esim. yli 50 vuotta).

Elinkaarikustannuslaskelmissa käytetään tavanomaisia periaatteita, joissa elinkaarikustannukset muunnetaan nykyarvoksi. Laskelmissa otetaan huomioon inflaatio, korko, verot ja mahdolliset riskitekijät. Tällöin voidaan tehdä vertailuja objektiivisesti eri vaihtoehtojen välillä ja ruostumattoman teräksen käytöstä aiheutuvia mahdollisia pitkäaikaisetuja voidaan verrata muihin materiaalivalintoihin.

3.6 Materiaalin valinta

3.6.1 Teräslajit

Korroosionkestävyys on tärkein hyödynnettävä ominaisuus, kun ruostumatonta terästä käytetään rakenteellisissa sovellutuksissa. Ko. ominaisuutta hyödynnetään esteettisistä syistä, huoltokustannusten minimoimiseksi tai pitkäikäisyyden aikaansaamiseksi. Korroosionkestävyys on siis päätekijä sopivaa teräslajia valittaessa.

Ruostumattomien terästen korroosionkestävyys perustuu passiiviseen suojakerrokseen, joka riittävän hapen tai sopivasti hapettavan aineen vaikutuksesta korjaantuu itsestään, mikäli suojakerros vahingoittuu. Tämä suojakerros perustuu pääasiassa teräksessä olevaan kromiin, vaikka nikkelin ja muiden seosaineiden lisääminen voi parantaa huomattavasti pintakerroksen suojauskykyä. Erityisesti muutaman prosen-

tin molybdeenilisäystä käytetään teräksen pistekorroosiokestävyyden parantamiseksi (ks. 3.7.2).

Mikäli sähkökemiallinen vaikutus tai mekaaninen vaurio vahingoittaa oksidoitua suojaerrosta, se voi johtaa korroosion alkamiseen.

Järkevällä suunnittelulla varmistetaan rakenteen huoltovapaa toiminta, mutta suunnittelijoiden tulee olla tietoisia, että jopa ruostumaton teräs voi olla altis erilaisille korroosionmuodoille tietyissä olosuhteissa. Huolimatta näistä turmeltumismahdollisuuksista ruostumatonta terästä voidaan käyttää erittäin tehokkaasti edellyttäen, että eräät peruseräatteen pidetään mielessä. Vain silloin, kun näitä periaatteita ei noudateta, voi syntyä korroosio-ongelmia.

Oikean ruostumattoman teräslajin valinnassa tulee ottaa huomioon ympäristöolosuhteet, valmistusmenetelmä, pinnanlaatu ja rakenteen huolto. Huoltovaatimukset ovat minimaaliset; pelkästään teräksen peseminen ja luonnollinen sade (veden huuhteleva vaikutus) pidentävät merkittävästi käyttöikää.

Suunnittelun ensimmäinen tehtävä on kuvata ympäristöolosuhteet ja niiden odotettavissa oleva muuttuminen. Ilmasto-olosuhteissa tulee erityistä huomiota kiinnittää paikallisiin olosuhteisiin kuten savupiippujen läheisyyteen (mahdollisesti syövyttävät kaasut). Rakenteen käyttötarkoituksen mahdolliset tulevat muutokset tulee ottaa huomioon. Teräksen pinnan tila ja lämpötila sekä jännitys voivat myös olla tärkeitä muuttujia (ks. 3.7.2).

Teräslaji valitaan tarpeellisen korroosiokestävyyden saavuttamiseksi. Teräslajeja valittaessa tulee ottaa huomioon, mitkä korroosionmuodot voivat olla merkittäviä ko. käyttöolosuhteissa. Tämän arvioiminen vaatii ruostumattomien terästen korroosiomekanismien tuntemusta. Kohdassa 3.6 esitetään ruostumattomien terästen yleiset korroosiomekanismit sekä esitetään, missä olosuhteissa ruostumattoman teräksen käyttöön ei liity kohtuuttomia riskejä tai vaikeuksia. Tarkoitus on myös esittää yleinen hyvä käytäntö sekä olosuhteet, joissa ruostumattomia teräksiä ehkä tulee käyttää varoen. Jälkimmäisessä tapauksessa tulee turvautua erikoisasiantuntijan apuun, koska teräksiä voidaan käyttää monissa tapauksissa ilman ongelmia.

Huomiota tulee kiinnittää mekaanisiin ominaisuuksiin, valmistuksen helppouteen, tuotteiden saatavuuteen, pinnanlaatuun ja kustannuksiin.

Arvioitaessa teräslajien soveltuvuutta on parasta hyödyntää vastaavien ruostumattomien terästen käyttökokemukset ko. olosuhteissa. Taulukossa 3.7 esitetään ohjeita sopivien terästen valitsemiseksi eri ilmasto-olosuhteisiin. On syytä tarkistaa myös kansalliset ohjeet (ks. standardin EN 1993-1-4 taulukko A.1, jossa esitetään ohjeita myös joillekin muille teräslajeille kuin taulukossa 3.7), koska ne saattavat olla vaativampia. Kohdassa 3.7.3 esitetään ohjeita, kun ruostumaton teräs on upotusrasituksessa. Kun ruostumaton teräs tulee kosketukseen kemikaalien kanssa, on syytä aina käyttää korroosioasiantuntijan apua.

Tulee noudattaa varovaisuutta, kun kiinnittimissä käytetään koneistettavia (lastuavasti työstettäviä) ruostumattomia teräksiä. Rikin lisääminen näihin teräksiin tekee ne alttiimmaksi korroosiolle erityisesti teollisuus- ja meri-ilmastoissa. Erityisesti tämä koskee EN ISO 3506 mukaisia teräslajin A1 mukaisista materiaaleista tehtyjä kiinnittimiä, ks. taulukko 3.3.

Taulukko 3.7 Suositeltavat ruostumattomat teräslajit eri ilmasto-olosuhteissa

Teräslaji	Sijainti											
	Maaseutu			Kaupunki			Teollisuus			Meri		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Austeniittiset kromi-nikkeli perusteräiset (esim. 1.4301, 1.4307, 1.4541, 1.4318)	T	T	T	T	T	(T)	(T)	(T)	X	T	(T)	X
Austeniittiset molybdeeni-nikkeli teräiset (esim. 1.4401, 1.4404, 1.4571 ja duplex-teräs 1.4362)	O	O	O	O	T	T	T	T	(T)	T	T	(T)
Duplex-teräiset 1.4462	O	O	O	O	O	O	O	O	T	O	O	T
L - Alhaisimmat korroosio-olosuhteet. Esim. alhainen kosteus ja/tai alhainen lämpötila.												
M - Melko tyypillinen ko. tyypisessä ympäristössä.												
H - Korroosion todennäköisyys korkeampi kuin tyypillisestä ko. ympäristössä. Esim. korroosio kasvaa pysyvän korkean kosteuden, korkean ympäröivän lämpötilan tai erityisesti aggressiivisten ilman saasteiden takia.												
O - Mahdollisesti ylimitoitettu korroosion kannalta katsoen.												
T - Todennäköisesti paras valinta korroosionkestävyyden ja kustannusten kannalta.												
X - Todennäköisesti tapahtuu liiallista korroosiota.												
T) - Tarkastelun arvoinen, jos ryhdytään sopiviin varotoimenpiteisiin (so. määritetään suhteellisen tasainen pinta ja sen jälkeen pinta pestään säännöllisesti).												
Huom.: Kansalliset vaatimukset saattavat olla vaativampia.												

3.6.2 Eri tuotemuotojen saatavuus

Yleiset tuotemuodot

Tässä käsikirjassa käsitellyistä ruostumattomista teräksistä tehtyjä levyjä ja tankoja on yleisesti saatavilla. Austeniittisista teräksistä ja duplex-teräksistä 1.4462 (2205) tehtyjä rakenneputkia on myös saatavilla. Duplex-teräksestä 1.4362 (2304) tehtyjä rakenneputkia ei ole laajasti saatavilla, koska ne ovat suhteellisen uusia rakennusteollisuudessa, vaikka niitä on käytetty joitakin vuosia off-shore -teollisuudessa räjähdystä vastaan suunnitelluissa seinissä.

Austeniittisista teräslajeista 1.4301 ja 1.4401 tehtyjä valssattuja profiileja (kulmateräiset, C-profiilit, T-profiilit, suorakaiteen muotoiset rakenneputket ja I-profiilit) on saatavilla. Duplex-teräksestä em. profiileja ei ole saatavilla. Profiileja voidaan yleensä valmistaa kylmämuovaamalla (rullamuovaamalla tai särmäämällä) tai hitsaamalla.

Kylmämuokatussa tilassa olevia ruostumattomia teräksiä on saatavissa eri tuotemuodoissa mukaan lukien levyt, arkit, rullat, nauhat, pyöröteräiset ja rakenneputket:

- levyt, arkit, rullat, nauhat (tyypilliset aineenpaksuudet ≤ 6.0 mm)
- pyöröteräiset (halkaisijat 5 mm...60 mm)
- neliön ja suorakaiteen muotoiset rakenneputket (poikkileikkauksen mitat 400 mm asti, aineenpaksuus 1,2...6 mm).

Ruostumattomat teräslajit, joita on kaupallisesti saatavissa kylmämuokatussa tilassa esitetään taulukossa 3.5.

Kylmämuovaus

On tärkeää, että rakenteiden valmistajan kanssa käydään riittävän aikaisessa vaiheessa keskustelut sen varmistamiseksi, että rakenneosat (kokoonpanot) voidaan valmistaa, koska ruostumattoman kylmämuovattun profiilin valmistus vaatii suurempia voimia kuin vastaavan profiilin valmistus hiiliteräksestä. Koneen koko rajoittaa kylmämuovattun profiilin pituutta särmättäessä ja käytettävissä oleva voi-

ma rajoittaa paksumpien profiilien tai vahvemman materiaalista tehtävien profiilien kokoa. Duplex-teräs vaatii likipitään kaksinkertaisen voiman kuin austeniittiset teräkset ja sen takia profiilin mahdollinen koko voi olla vielä rajoitetumpi. Lisäksi duplex-teräksen pienemmästä sitkeydestä johtuen, tulee käyttää isompia taivutussäteitä. Kohdassa 10.3.2 esitetään lisätietoja.

Pinnan viimeistely

Tietyissä sovellutuksissa pinnan viimeistely ja ulkonäkö ovat tärkeitä. Valmistajat tarjoavat joukon vakiopintoja valssauksen jälkeisestä pinnasta ja himmeästä pinnasta aina kirkkaasti kiillotettuun pintaan asti. Valmistajat voivat tarjota myös räätälöityjä kuvioituja pintoja. Tulee ottaa huomioon, että vaikka erilaiset pinnat on standardisoitu, valmistusprosessien erilaisuudesta johtuen valmistajien välillä on eroja ja eroja on jopa saman valmistajan tuotteissa. Arkkitehtonisissa sovellutuksissa käytetään usein kirkkaita pintoja ja tulee huomata, että kirkkaat pinnat suurentavat pinnan epätasaisuuksia erityisesti paneloiduissa pinnoissa. Jäykistys, korkokuvio, erillinen pintarakenne, kuviointi tai profilointi helpottaa tilannetta.

Ruuvit

EN ISO 3506 mukaisia lujuusluokan 70 ruuveja on hyvin saatavilla. Lujuusluokien 70 ja 80 tiettyjä kokoja ja pituuksia on rajoitetusti saatavilla, ks. taulukko 3.3. Tarvittaessa on erikoistilauksesta saatavissa erikoiskokoja, joiden teettäminen saat-
taa toisinaan olla taloudellista.

Ruuveja voidaan valmistaa useilla tekniikoilla, esim. koneistamalla (lastuava työstö), kylmämuovaamalla ja takomalla. Koneistamalla (lastuava työstö) valmistettuja kiertteitä ei tule käyttää hyvin aggressiivisissa ympäristöissä (esim. meri-ilma) johtuen rakokorroosion mahdollisuudesta. Valssamalla valmistettuja kiertteitä tulee pitää etusijalla, koska ne ovat yleensä vahvempia kuin koneistamalla (lastuava työstö) tehdyt kiertteet ja niiden korroosionkestävyys kitkasyöpmisen (eli kiinnileikkautumisen) suhteen on parempi.

3.7 Säilyvyys

3.7.1 Johdanto

Ruostumattomat teräkset ovat yleensä hyvin korroosionkestäviä ja riittäviä useimpiin ympäristöihin. Tietyn ruostumattoman teräksen korroosionkestävyys riippuu seosaineista, mikä tarkoittaa, että jokaisella ruostumattomalla teräslajilla on hieman erilainen korroosionkestävyys. Ruostumattoman teräksen tyyppi tulee siten valita huolella käyttökohteen mukaan. Mitä parempaa korroosionkestävyyttä vaaditaan, sitä suurempia ovat yleensä materiaalikustannukset. Esimerkiksi teräslaji 1.4401 on kalliimpi kuin teräslaji 1.4301 molybdeeniseostuksen takia.

Kylmämuovatussa tilassa olevien materiaalien korroosionkestävyys on samankaltainen kuin hehkutetussa tilassa olevilla materiaaleilla.

Merkittävimmät syyt materiaalivalinnan epäonnistumiseen korroosionkestävyyden kannalta katsoen ovat:

- (a) ympäristöolosuhteiden väärä arviointi tai teräs joutuu odottamattomiin olosuhteisiin, esim. kloridi-ionin odottamaton esiintyminen;
- (b) tapa, jolla ruostumatonta terästä työstetään tai käsitellään, voi aiheuttaa tilanteen, jota ei alun perin ole odotettu.

Vaikka ruostumaton teräs voi olla altis värjäytymiselle tai tahraantumiselle (usein syynä on hiiliteräksen aiheuttama tahriintuminen), se on erittäin säilyvä aine raken-

nuksissa. Aggressiivisissa teollisuusympäristöissä ja meri-ilmastoissa tehdyissä kokeissa ei ole havaittu säilyvyyden heikkenemistä, vaikka pientä painon menetystä on esiintynytkin. Toisaalta käyttäjät saattavat pitää ulkopintojen hienoisia ruostetahroja vaurioina. Huolellinen materiaalin valinta, hyvä yksityiskohtien suunnittelu ja työsuoritus voivat merkittävästi pienentää tahraantumisen ja korroosion todennäköisyyttä. Käytännön ohjeita esitetään luvussa 10. Kokemus osoittaa, että mahdolliset vakavat korroosio-ongelmat todennäköisesti ilmaantuvat ensimmäisten 2 - 3 käyttövuoden aikana.

Tietyissä aggressiivisissa ympäristöissä eräät ruostumattomat teräslajit ovat alttiit paikallisille vauriomahdollisuuksille. Jäljempänä esitetään kuusi korroosiomekanismeja, joista kolme viimeksi mainittua esiintyy erittäin harvoin, lähinnä rannikolla olevissa rakennuksissa.

Tulee huomata, että kosteuden läsnäolo (mukaan lukien kondensoitumisesta aiheutuva kostuminen) on välttämätön ehto korroosion esiintymiselle.

3.7.2 Korroosionmuodot ja eri teräslajien käyttäytyminen

Pistekorroosio (Pitting corrosion)

Nimensä mukaisesti pistekorroosio esiintyy paikallisesti, pistemäisesti. Pistekorroosio syntyy passiivikerroksen paikallisena vahingoittumisena, joka yleensä aiheutuu kloridi-ioneista. Myös muilla haloideilla ja muilla anioneilla voi olla vastaava vaikutus. Pistekorroosion kehittyessä korroosiotuotteet voivat aiheuttaa hyvin voimakasta korroosiota. Useimmissa rakenneteknisissä sovellutuksissa pistekorroosio rajoittuu todennäköisesti vain pintaan ja rakenneosan poikkileikkauksen pieneneminen voidaan jättää huomioon ottamatta. Korroosiotuotteet voivat kuitenkin tahria arkkitehtonista ilmettä. Lievää pistekorroosiota voidaan pitää hyväksyttävänä sellaisissa huoltorakenteissa kuten kanavat, putket ja muut vastaavat, mikäli vuotojen mahdollisuus otetaan huomioon.

Koska kloridi-ionit ovat pistekorroosion tärkein aiheuttaja, ovat rannikko- ja meriympäristöt hyvin aggressiivisia. Todennäköisyys, että pistekorroosiota tapahtuu tiettyssä väliaineessa, riippuu kloridipitoisuuden lisäksi mm. seuraavista tekijöistä: lämpötila, happamuus, alkaalisuus ja oksidoivien aineiden pitoisuus. Ruostumattoman teräksen kestävyys pistekorroosiota vastaan riippuu teräksen kemiallisesta koostumuksesta. Kromi, molybdeeni ja typpi parantavat kestävyyttä pistekorroosiota vastaan.

Pistekorroosioindeksi (Pitting Index) tai pistekorroosiokestävyyden ekvivalentti (PRE, Pitting Resistance Equivalent) on likimääräinen mitta pistekorroosiokestävyydelle. PRE määritellään seuraavasti:

$PRE = \% \text{ wt Cr} + 3,3(\% \text{ wt Mo}) + 30(\% \text{ wt N})$ austeniittisille teräksille

$PRE = \% \text{ wt Cr} + 3,3(\% \text{ wt Mo}) + 16(\% \text{ wt N})$ duplex teräksille.

Ruostumattoman teräksen PRE-arvo on hyödyllinen apusuure verrattaessa ruostumattomia teräksiä toisiinsa. PRE-arvolla ei ole erityistä absoluuttista merkitystä.

Tässä käsikirjassa käsitellyistä ruostumattomista teräksistä teräslajilla 1.4301 on alhaisin PRE-arvo. Teräslaji 1.4301 ei suositella meren lähellä oleviin arkkitehtonisiin sovelluksiin paitsi ehkä sellaisiin sisällä oleviin sovellutuksiin, jotka ovat tehokkaasti suojattu meren vaikutukselta ja sumulta. Teräslajilla 1.4301 voi myös ilmetä ei-hyväksyttävää pistekorroosiota vaikeissa teollisuusilmastoissa, jonka takia näihin olosuhteisiin suositellaan teräslajia 1.4401 tai duplex-teräksiä.

Rakokorroosio (Crevice corrosion)

Rakokorroosio esiintyy samoissa olosuhteissa kuin pistekorroosio. Korroosio alkaa helpommin raoissa kuin vapailla pinnoilla, koska passiivisen suojakerroksen säilymisen edellyttämä hapettimien leviäminen on vähäistä raoissa. Se kuinka vaarallinen rako rakokorroosion kannalta on, riippuu hyvin paljon raon geometriasta: mitä kapeampi ja syvempi rako on, sitä pahemmat korroosio-olosuhteet ovat. Ongelmia todennäköisesti syntyy vain, jos väliaine on liikkumaton ja kun kloridisaostumia voi syntyä.

Rakojia voi syntyä kahden metallin välisen liitoksen, tiivisteiden, bioeliöstön, saostuman ja pintavaurion kuten syvä pintaviilto, takia. Kaikkia rakojia tulisi välttää, mutta usein niiden täydellinen välttäminen ei ole mahdollista.

Kuten pistekorroosionkin tapauksessa kromi, molybdeeni ja typpi parantavat korroosion kestävyyttä ja rakokorroosion kestävyys kasvaa teräslajista 1.4301 teräslajeihin 1.4401 ja 1.4462 mentäessä.

Metalliparikorroosio (galvaaninen korroosio) (Bi-metallic corrosion)

Kun kaksi erilaista metallia on suorassa kosketuksessa ja niitä samalla yhdistää elektrolyytti (esim. sähköä johtava neste kuten merivesi tai epäpuhdas muu vesi) syntyy sähkövirta anodimetallista katodimetalliin (jalompaan metalliin) elektrolyytin välityksellä. Seurauksena on, että epäjalompi metalli syöpyy.

Tämä korroosionmuoto tulee erityisesti kyseeseen, kun ruostumaton teräs liitetään hiiliteräkseen tai vain vähän seostettuihin muihin. On tärkeää, että hitsauslisäaine on vähintään yhtä jaloa kuin perusaine. Korrodoivissa ympäristöissä, joissa vettä voi olla läsnä, kuten syövyttävät teollisuusilmastot, meri-ilmastot ja tilanteet, joissa rakenne on upotettuna suolaisessa vedessä tai merivedessä, ei tule käyttää martensiittisiä tai ferriittisiä ruuveja (ks. 3.1.2) ruostumattomia teräksiä toisiinsa kiinnittäessä.

Ruostumattomien terästen metalliparikorroosion ei tarvitse olla ongelma, vaikka toisinaan sen estäminen voi vaatia toimenpiteitä, jotka ensisilmäykseltä voivat vaikuttaa yllättäviltä. Metalliparikorroosion välttämisen periaate on estää sähkövirran syntyminen seuraavasti:

- eristämällä erilaiset metallit toisistaan, esim. katkaisemalla metallinen kosketus, ks. 6.1.1).
- estämällä elektrolyyttisen kosketuksen syntyminen, esim. katkaisemalla elektrolyyttinen kosketus maalilla tai muulla pinnoitteella. Tätä menetelmää käytettäessä ja kun molempien metallien pinnoittaminen on epäkäytännöllistä, on suositeltavaa jalomman metallin pinnoittaminen (ts. ruostumattoman teräksen pinnoittaminen, jos ruostumaton teräs ja hiiliteräs ovat kosketuksissa toisiinsa).

Voimakkaan korroosion vaara on suurimmillaan, jos jalomman metallin pinta-ala (so. ruostumaton teräs) on suuri verrattuna vähemmän jalon metallin (so. hiiliteräs tai alumiini) pinta-alaan. Erityistä huomiota tulee kiinnittää maalien tai muiden pinnoitteiden käyttämiseen hiiliteräksen pinnalla. Jos pinnoitteessa on pieniä huokosia tai reikiä, pieni pelkän hiiliteräksen alue aiheuttaa hyvin suuren katodi/anodi pinta-alojen suhteen ja seurauksena voi olla vakava pistekorroosio hiiliteräksessä. Tämä on tietysti vaarallisinta upotusolosuhteissa. Tämän takia suositellaan ruostumattoman teräksen maalaamista, jolloin huokokset johtavat pienempään katodi/anodi pinta-alojen suhteeseen.

Tyypillisesti vaarallisia katodi/anodi-pinta-alojen suhteita esiintyy kiinnittimien yhteydessä ja liitoksissa. Ruostumattomien terästen kiinnityksissä tulee välttää hiiliteräksestä tehtyjä ruuveja, koska ruostumattoman teräksen pinta-alan suhde hiiliteräksestä tehtyjen ruuvien pinta-alaan on suuri ja ruuvit ovat siten alttiin korroosiolle. Vastaavasti käytettäessä ruostumattomasta teräksestä tehtyjä ruuveja hiiliteräksen kiinnityksissä vastaava pinta-ala on pieni ja korroosiovaara siten huomattavasti pienempi. Yleensä on järkevää hyödyntää aikaisempaa kokemusta vastaavista olosuhteista, koska erilaiset metallit voidaan usein yhdistää olosuhteissa, joissa satunnaisesti esiintyy kondensoitumista tai kostumista, joka ei kuitenkaan ole haitallista erityisesti, jos elektrolyytin sähkönjohtavuus on pieni.

Edellä mainittujen vaikutusten arviointi on vaikeaa, koska korroosionopeus riippuu lukuisista monimutkaisista ilmiöistä. Sähköpotentiaalia kuvaavat taulukot eivät ota huomioon pinnan oksidikalvoja, katodi/anodi-pinta-alojen suhdetta eivätkä erilaisen liuosten (elektrolyyttien) kemiallista koostumusta. Sen takia tällaisten taulukoiden epäasiallinen käyttö voi johtaa vääriin tuloksiin. Taulukoita tulee käyttää asian- tuntemuksella ja vain tilanteen alkuarviointiin.

Ruostumaton teräs muodostaa yleensä katodin kaksoismetalliparissa eikä sen vuoksi ruostu. Austeniittisten ruostumattomien terästen ja sinkin tai alumiinin välinen kosketus voi aiheuttaa lisäkorroosiota kahdessa viime mainitussa metallissa. Tämä ei todennäköisesti ole rakenteellisesti merkittävää, mutta tuloksena oleva valkoinen/harmaa pulveri voi vaikuttaa rumalta. Yhdistämistä kuparin kanssa tulee yleensä välttää lieviä olosuhteita lukuun ottamatta.

Metallien yleinen käyttäytyminen kosketuksessa muiden metallien kanssa maa-seutu-, kaupunki-, teollisuus- ja rannikko-olosuhteissa esitetään julkaisussa: BS PD 6484 *Commentary on corrosion at bimetallic contacts and its alleviation*.

Jännityskorroosio (Stress corrosion cracking)

Jännityskorroosio edellyttää vetojännityksen ja erityisten ympäristötekijöiden samanaikaista vaikuttamista, joiden esiintyminen tavallisissa rakennusten ilmasto-olosuhteissa on epätodennäköistä. Jännityksen ei tarvitse olla kovin suuri suhteessa 0,2-rajaan. Jännitys voi aiheutua kuormituksesta tai se voi olla valmistusprosessista (kuten hitsaus tai taivutus) aiheutuva jäännösjännitys. Ruostumattomilla duplex-teräksillä on erittäin hyvä jännityskorroosionkestävyys tässä käsikirjassa käsiteltyihin austeniittisiin ruostumattomiin teräksiin verrattuna. Jännityskorroosio-olosuhteisiin on kehitetty korkeasti seostettuja austeniittisiä ruostumattomia teräksiä, kuten 1.4539, 1.4529, 1.4547 ja 1.4565, joita ei käsitellä tässä käsikirjassa.

Tulee noudattaa varovaisuutta, mikäli jos isot alkujännitykset (esim. kylmämuokkauksesta aiheutuvat alkujännitykset) omaavaa ruostumatonta terästä käytetään korkean kloridipitoisuuden (esim. sisällä olevat uima-altaat, meri- ja offshore-ympäristö) omaavissa olosuhteissa. Standardissa EN 1993-1-4 suositellaan, että kantavissa rakenteissa, joita käytetään kloridipitoisissa ympäristöissä ja joita ei voida säännöllisesti puhdistaa (kuten esim. uima-altaiden yläpuolella olevat alaslasketut katot), käytetään vain teräslajeja 1.4529, 1.4547 tai 1.4565, ellei kloridionien konsentraatio ≤ 250 mg/l (epätavallista), jolloin myös teräslaji 1.4539 on sopiva. Voidaan käyttää myös vaihtoehtoisia teräslajeja, joille on osoitettu vastaava korroosionkestävyys jännityskorroosion suhteen vastaavissa olosuhteissa.

Yleinen (tasainen) korroosio (General (uniform) corrosion)

Tavallisissa olosuhteissa, jotka ovat tyypillisiä rakenteellisissa sovellutuksissa, ruostumattomassa teräksessä ei tapahdu yleistä poikkileikkauksen pienenemistä ruostumalla, joka on tyypillistä seostamattomille (yleiset rakenneteräokset) teräksille.

Ruostumaton teräs kestää hyvin monia kemikaaleja ja sen takia ruostumatonta terästä käytetään toisinaan kemikaalien varastointiin. Tällöin tulee kuitenkin noudattaa valmistajien laatimia kirjallisuudessa esitettyjä ohjetaulukkoja tai käyttää pätevän korroosioinsinöörin apua, jos ruostumaton teräs joutuu kontaktiin kemikaalien kanssa.

Raerajakorroosio (herkistyminen) ja hitsauskorroosio (Intergranular corrosion (sensitisation), weld decay)

Kun austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat pitkän ajan 450 - 850 °C:een lämpötilassa, teräksen hiili diffundoituu raerajoille ja muodostuu kromikarbidi-erkaumia. Tämä siirtää kromia kiinteästä liuoksesta ja johtaa pienempään kromipitoisuuteen raerajojen läheisyydessä. Tässä tilassa olevia teräksiä kutsutaan *herkistyneiksi*. Raerajat tulevat alttiiksi valikoivalle korroosiolle korrodoivassa ympäristössä. Ilmiötä kutsutaan *hitsauskorroosioksi*, kun se esiintyy hitsin lämpövaikutusalueella.

Raerajakorroosion estämiseksi on olemassa kolme tapaa:

- käytetään teräksiä, joiden hiilipitoisuus on pieni;
- käytetään titaanilla tai niobilla stabiloitua terästä, koska nämä aineet ensisijassa muodostavat hiilen kanssa stabiileja yhdisteitä ja siten pienentävät kromikarbidien muodostumisriskiä;
- käytetään lämpökäsittelyä (stabilointi- ja hehkutus), joka on kuitenkin harvinainen käytännössä.

Alhaisen hiilipitoisuuden (max. 0,03 %) omaavat ruostumattomat teräslajit 20 mm:n ainepaksuuteen asti eivät ole alttiita hitsauksen jälkeiselle raerajakorroosiolle, kun hitsaus suoritetaan kaarihitsausmenetelmillä.

3.7.3 Korroosio eri ympäristöissä

Ilma

Ilmastolliset olosuhteet vaihtelevat ja myös niiden vaikutus ruostumattomiin teräksiin vaihtelee. Maaseutu- ja rannikon ympäristöt, joita teollisuuden kaasut tai rannikon suolat eivät ole saastuttaneet, ovat hyvin mietoja korroosion kehittymisen kannalta, vaikka kosteus olisi suurikin. Teollisuus- ja satamaympäristöt ovat huomattavasti vakavampia korroosion kannalta. Taulukossa 3.7 esitetään ohjeita sopivan ruostumattoman teräksen valitsemiseksi eri olosuhteisiin.

Ilmastolliseen korroosion yleisin syy on valmistusprosessista (joko konepajassa tai työmaalla) peräisin olevat metalliset rautapartikkelit, mereltä peräisin olevat kloridit, teollisuusprosessit tai sementin valmistuksessa käytettävät kalsiumkloridit. Eräät pinnoille kasaantuvat partikkelit, vaikka ovatkin neutraaleja, kykenevät absorboimaan ilmasta heikkoja rikkidioksidiliuoksia, jotka voivat paikallisesti rikkoa passiivikerroksen.

Pinnan viimeistely (mitä sileämpi sen parempi) sekä pinnan säännöllinen pesemien, joko tarkoituksella tai sateen vaikutuksesta, vaikuttavat ruostumattoman teräksen yleiseen ulkonäköön.

Merivesi

Merivesi, suolainen vesi mukaan lukien, sisältää suuren määrän kloridia ja on sen takia hyvin korrodoivaa erityisesti, jos veden virtausnopeus on pieni (noin alle 1,5 m/s). Pienillä virtauksilla voi esiintyä vakavaa pistekorroosioita teräksillä 1.4301 ja

1.4401. Nämä teräslajit voivat myös olla alttiita rakokorroosiolle riippumatta siitä johtuuko se rakenteellisista detaljeista vai bioeliöstöstä.

Suolasumu voi olla yhtä vaarallista kuin täydellinen upotusrasitus, koska kloridikoncentraatio syntyy veden höyrystymisen tai suolakiteiden syntyminen seurauksena.

Vakavan metalliparikorroosion mahdollisuus tulee ottaa huomioon, jos ruostumaton terästä käytetään merivedessä yhdessä muiden metallien kanssa.

Muut vedet

Austeniittiset ruostumattomat teräkset käyttäytyvät yleensä tyydyttävästi tislatussa, talous- ja keitetyissä vesissä. Happopitoisuuden ollessa korkea tulee käyttää teräslajia 1.4401, muussa tapauksessa teräslaji 1.4301 on yleensä riittävä. Teräslajin 1.4401 käyttöä suositellaan myös, kun pieniä määriä kloridia on läsnä pistekorroosion ja rakokorroosion välttämiseksi. Jokiveden suhteen tilanne tulee harkita erikseen; biologinen ja mikrobiologinen aktiivisuus voi aiheuttaa ruostumattomassa austeniittisessä teräksessä pistekorroosiota suhteellisen lyhyessä ajassa.

Eroosiokorroosion mahdollisuus tulee ottaa huomioon vesissä, jotka sisältävät hankaavia aineita.

Kemialliset ympäristöt

Ruostumattomien terästen käyttösovellutukset kemiallisissa ympäristöissä ovat laajat ja tässä ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä tätä asiaa yksityiskohtaisesti. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että monissa sovellutuksissa muut kuin tässä käsikirjassa käsiteltävät teräkset voivat olla soveltuvampia. Tällaisissa tapauksissa on syytä käyttää korroosioinsinöörin asiantuntemusta.

Valmistajien julkaisemia taulukoita, jotka esittävät korroosiotestien tuloksia eri kemikaaleissa tulee käyttää asiantuntemuksella. Vaikka taulukoissa esitetään yksittäisen teräksen korroosiokestävyys, käyttöolosuhteet (lämpötila, paine, pitoisuus, jne.) vaihtelevat ja ne yleensä poikkeavat koeolosuhteista. Myös epäpuhtauksilla ja ilmapitoisuudella voi olla huomattava vaikutus tuloksiin.

Maaperät

Maassa olevien ruostumattomien terästen ulkoinen korroosio riippuu maaperän kemiallisesta koostumuksesta ja ominaisvastuksesta. Maaperien korrodoivuudet ovat erilaisia riippuen niiden kosteuspitoisuudesta, pH-luvusta, ilmastuksesta, kemiallisesta pilaantumisesta, mikrobiologisesta aktiivisuudesta ja pinnan kuivauksesta. Yleensä ruostumattomien terästen korroosio on vähäistä erilaisissa maaperissä ja erityisesti maaperissä, joiden ominaisvastus on suuri, vaikka jonkin verran pistekorroosiota on esiintynyt alhaisen ominaisvastuksen omaavissa kosteissa maaperissä. Aggressiivisten kemiallisten eläinlajien, joista liukenee kloridi-ioneja sekä aggressiivisten bakteerien läsnäolo ja hajavirrat (jotka aiheutuvat sähköisten kuljetusjärjestelmien sähkövirroista, kuten esim. rautatiet ja raitiovaunut) voivat aiheuttaa myös paikallista korroosiota. Hajavirtojen vaikutusta voidaan vaimentaa käyttämällä putkissa tarkoituksenmukaista sähköistä eristystä (pinnoittaminen tai päällystäminen) ja/tai käyttämällä katodista suojausta.

Teräslajin valitsemiseksi suositellaan, että maaperässä olevan ruostumattoman teräksen kestävyys korroosion suhteen määritetään ensisijassa kloridi-ionien ja toissijaisesti maaperän ominaisvastuksen ja pH-luvun perusteella. Kaikissa tapauksissa oletetaan, että maaperää ei erityisesti kuivateta. Taulukossa 3.8 suositellaan sopivia teräksiä erilaisissa maaperissä käytettäväksi.

Taulukko 3.8 Erilaisiin maaperäolosuhteisiin tarkoitettuja ruostumattomia teräslajeja

Tyypillinen sijainti	Maaperän olosuhteet		Ruostumaton teräslaji
Sisämaa	Cl	< 500 ppm	
	Ominaisvastus	>1000 ohm.cm	1.4301
	pH	> 4.5	1.4404
Merellinen ympäristö - ei vuorovesialue	Cl	< 1500 ppm	
	Ominaisvastus	>1000 ohm.cm	1.4404
	pH	> 4.5	
Merellinen ympäristö - vuorovesialue	Cl	< 6000 ppm	
	Ominaisvastus	>500 ohm.cm	1.4410
	pH	> 4.5	1.4547

Huom:

1.4410 on duplex-teräs ja 1.4547 on super-austeniittinen teräs. Näitä teräksiä ei yleensä käytetä rakenteellisissa sovellutuksissa ja niitä ei käsitellä tässä käsikirjassa.

Korroosioneston suunnittelu

Tärkein asia korroosion estämiseksi on tarkoituksenmukaisen tarkasteltavaan ympäristöön sopivan ruostumattoman teräslajin ja siihen liittyvien valmistusmenetelmien valinta. Teräslajin määrittämisen jälkeen paljon on kuitenkin saavutettavissa huolellisella yksityiskohtien suunnittelulla teräksen hyvän korroosionkestävyyden saavuttamiseksi. Korroosiota ehkäisevät toimenpiteet tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

Taulukossa 3.9 esitetään tarkistuslista. Kaikki kohdat eivät esitä rakenteellisessa mielessä parasta mahdollista yksityiskohtaa ja kaikkia kohtia ei ole tarkoitettu sovellettavaksi kaikissa ympäristöissä. Erityisesti vähän korrodoivissa ympäristöissä tai milloin suoritetaan jatkuvaa rakenteen huoltoa, monet suosituksista eivät ole tarpeen. Kuva 3.3 esittää huonoja ja hyviä yksityiskohtia korroosionkestävyyden kannalta.

Taulukko 3.9 Tarkistuslista korroosionestosuunnitteluun

Vältä lian kerääntymistä

- Suuntaa kulmateräs- ja U-profiilit siten, että lian kerääntymisen todennäköisyys minimoituu
- Käytä kuivatusreikiä ja varmista, että ne ovat riittävän suuria lian kasaantumisen välttämiseksi
- Vältä vaakasuoria pintoja
- Käytä pientä kaltevuuskulmaa jäykisteissä, jotka yleensä ovat vaakatasossa
- Käytä putkia tai umpinaisia profiileja (putkien suojaus kuivalla kaasulla tai ilmalla tapauksissa, joissa vahingollinen kosteuden tiivistyminen on mahdollista)
- Sileät pinnat keräävät vähemmän likaa.

Vältä rakoja

- Käytä mieluummin hitsauskiinnityksiä kuin ruuvikiinnityksiä.
- Käytä jatkuvia hitsejä tai kittiä.
- Käytä mieluummin hiottuja hitsejä.
- Vältä biologisesti syntyvää kasvustoa.

Pienennä jännityskorroosiosäröjen syntymisen todennäköisyyttä niissä ympäristöissä, joissa jännityskorroosiosäröjä voi syntyä (ks. 3.7.2):

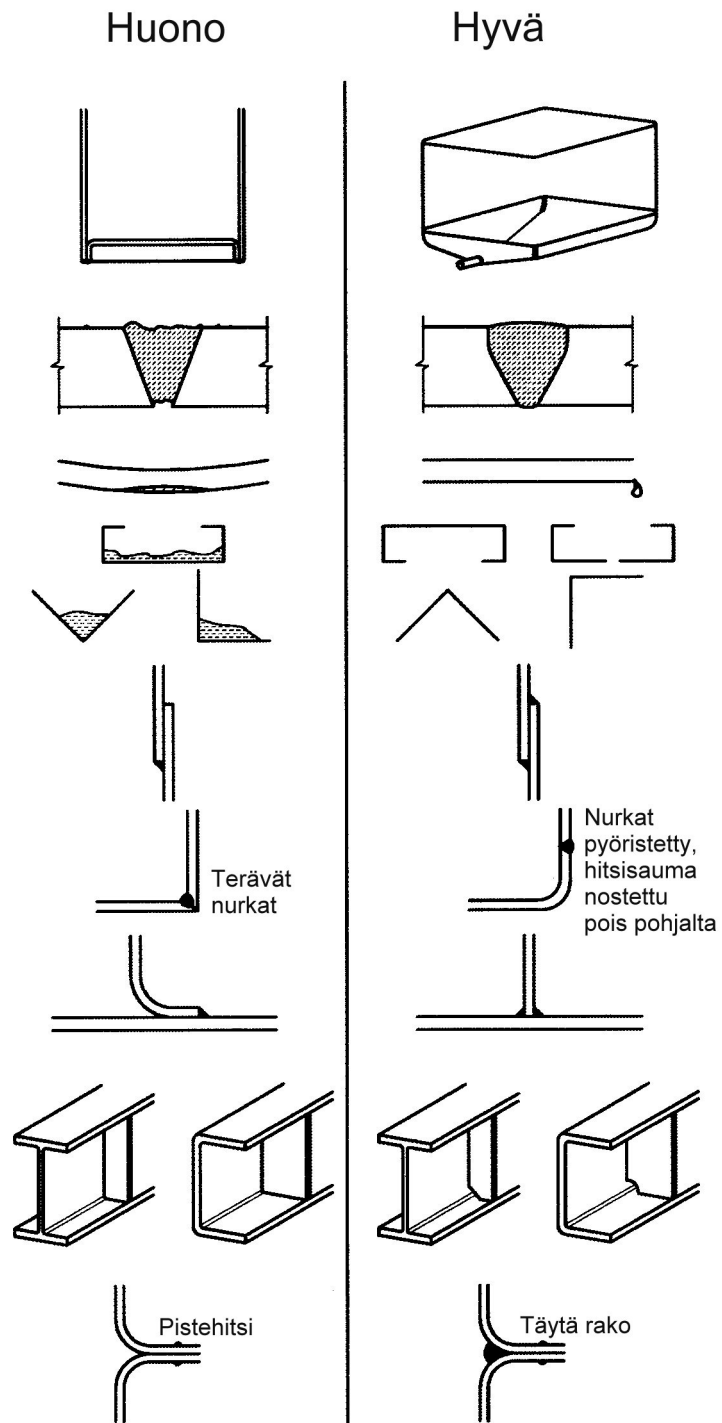
- Minimoi valmistuksen aikana syntyvät jännitykset käyttämällä sopivaa hitsausjärjestystä.
- Suihkupuhdistusta rautaa tai hiiltä sisältävillä puhdistusaineilla ei saa käyttää.

Pienennä pistekorroosion syntymisen todennäköisyyttä (ks. Kohta 10):

- Poista hitsausroiske.
- Peittää ruostumaton teräs. Voimakkaasti oksidoivia klorideja, jotka sisältävät saostuskemikaaleja kuten ferriittinen kloridi, tulee välttää; mieluummin käytetään peittäuskylpyä tai peittäuspastaa, jotka molemmat sisältävät typpi- ja fluorivetyhappoa. Hitsit tulee aina puhdistaa korroosionkestävyyden säilyttämiseksi.
- Vältä hiiliteräspartikkeleiden kerääntymistä (esim. käytä ruostumattomille teräksille tarkoitettuja valmistusalueita ja työkaluja).
- Noudata sopivaa huolto-ohjelmaa.

Pienennä metalliparikorroosion todennäköisyyttä (ks. 3.7.2):

- Eristä osat toisistaan sähköisen kosketuksen välttämiseksi.
 - Käytä tarkoituksenmukaisia maaleja.
 - Minimoi kosteanaoloajat.
 - Käytä metalleja, jotka ovat lähellä toisiaan sähkökemiallisessa sarjassa.
-



4 POIKKILEIKKAUSTEN OMINAISUUDET

4.1 Yleistä

Lukujen 4 ja 5 ohjeita sovelletaan poikkileikkauksiin, joiden taso-osat täyttävät kohdan 4.2 mukaiset mittavaatimukset.

Puristettujen tai osittain puristettujen taso-osien leveys-paksuussuhteet ratkaisevat ovatko ko. taso-osat lommahdusalttiit, mistä puolestaan aiheutuu poikkileikkauksen kestävyys pieneminen. Taso-osat ja poikkileikkaukset jaetaan niiden lommahduserkkyyden ja kiertymiskyvyn (luokka 1 ja 2) perusteella poikkileikkausluokkiin 1, 2, 3 ja 4, ks. kohta 4.3.

Poikkileikkausluokan 4 kestävyys pieneminen voidaan ottaa mitoituksessa huomioon käyttämällä poikkileikkauksen taso-osien tehollisia leveyksiä, ks. kohta 4.4.1.

Poikkileikkauksen keskilinjoihin voidaan käyttää poikkileikkausominaisuuksien määrittämiseksi vain, kun kyseessä on kylmämuovaamalla tehty levy tai sauva. Muille poikkileikkauksille käytetään kokonaismittoja. Standardit EN 1993-1-3 ja EN 1993-1-5 sallivat keskilinjoihin käytön kestävyksiä laskettaessa. Standardi EN 1993-1-1 sallii myös keskilinjoihin käytön kestävyksiä laskettaessa tietyissä tapauksissa, ks. standardin EN 1993-1-1 kohdat 6.2.1(9) ja 6.2.5(2).

4.2 Suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet

Taulukossa 4.1 esitetään suurimmat sallitut taso-osien leveys-paksuussuhteet.

4.3 Poikkileikkausluokitus

4.3.1 Yleistä

Periaatteessa ruostumattomasta teräksestä tehdyt poikkileikkaukset voidaan luokitella samalla tavalla kuin hiiliteräksestä tehdyt poikkileikkaukset. Neljä poikkileikkausluokkaa määritellään seuraavasti:

- | | |
|------|--|
| PL 1 | Poikkileikkausluokat 1 ovat niitä, joissa plastisuusteorian mukaisen tarkastelun vaatima, riittävän kiertymiskyvyn omaava nivel voi syntyä. |
| PL 2 | Poikkileikkausluokat 2 ovat niitä, joissa voi kehittyä plastisuusteorian mukainen sauvan taivutuskestävyys, mutta joilla on rajoitettu kiertymiskyky. |
| PL 3 | Poikkileikkausluokat 3 ovat niitä, joissa sauvan äärimmäisessä puristetussa reunassa laskettu jännitys voi saavuttaa myötörajan, mutta paikallinen lommahdus estää plastisuusteorian mukaisen momenttikestävyyskehittymisen. |
| PL 4 | Poikkileikkausluokat 4 ovat niitä, joissa paikallinen lommahdus esiintyy ennen kuin myötäraja saavutetaan poikkileikkauksen josakin pisteessä. |

Taulukko 4.1 Taso-osien suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet

a) Taso-osa tai väljäykisteellinen taso-osa, joka liittyy uumaan yhdeltä reunalta ja toinen reuna on vapaasti tuettu.	$b/t \leq 50$	
b) Taso-osa tai väljäykisteellinen taso-osa, joka liittyy uumaan yhdeltä reunalta ja toisessa reunassa on pieni yksinkertainen jäykiste.	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 60$	
c) Taso-osa tai väljäykisteellinen taso-osa, joka liittyy molemmilta reunoiltaan uumiin tai laippoihin.	$b/t \leq 400$	

$h/t \leq 400$

Huom.: Tapauksen a) mukaisesti tuettuihin taso-osiin, joiden b/t -suhde on suurempi kuin noin 30 ja muulla tavalla tuettuihin taso-osiin, joiden b/t -suhde on suurempi kuin noin 75, syntyy todennäköisesti selvästi näkyvää lommoilua käyttörajatilan mitoituskuormilla

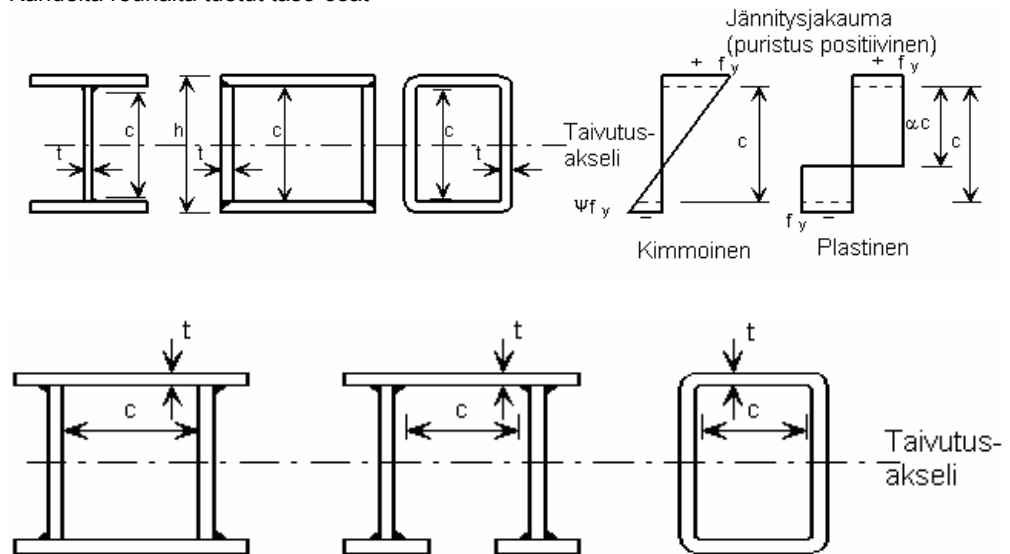
Poikkileikkausluokitus määräytyy profiilin kokonaan tai osittain puristetun taso-osan suurimman hoikkuuden (epäsuotuisin tapaus) perusteella. Tulee huomata, että poikkileikkausluokka voi vaihdella sauvan pituussuunnassa taivutusmomentin ja normaalivoiman suhteista riippuen.

4.3.2 Poikkileikkausluokkien taso-osien rajahoikkuudet

Poikkileikkaukset luokitellaan luokkiin 1, 2 ja 3 niiden taso-osien rajahoikkuuksien mukaan taulukon 4.2 mukaan. Poikkileikkaukset, jotka eivät täytä poikkileikkausluokan 3 vaatimuksia, kuuluvat poikkileikkausluokkaan 4.

Taulukko 4.2 Puristettujen taso-osien suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet

Kahdelta reunalta tuetut taso-osat



Poikkileik- kausluokka	Taivutuksen rasittamat osat	Puristetut osat	Taivutuksen ja puristuksen rasit- tamat osat		
1	$c/t \leq 56,0\varepsilon$	$c/t \leq 25,7\varepsilon$	Kun $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 308\varepsilon/(13\alpha - 1)$ kun $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq 28\varepsilon/\alpha$		
2	$c/t \leq 58,2\varepsilon$	$c/t \leq 26,7\varepsilon$	Kun $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 320\varepsilon/(13\alpha - 1)$ kun $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq 29,1\varepsilon/\alpha$		
3	$c/t \leq 74,8\varepsilon$	$c/t \leq 30,7\varepsilon$	$c/t \leq 15,3\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ ks. 4.4.1		
$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$					
		Teräslaji	1.4301	1.4401	1.4462
		f_y (N/mm ²)	210	220	460
		ε	1,03	1,01	0,698

Huom.:

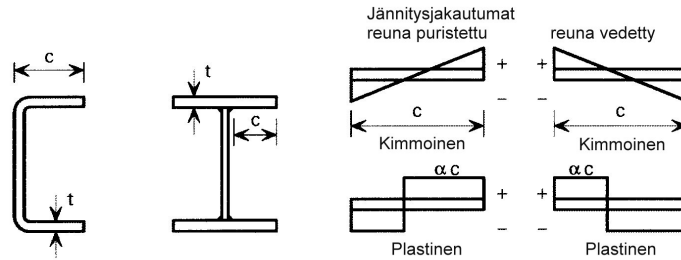
Rakenneputkille c:n arvoksi voidaan valita varmalla puolella oleva arvo $(h - 2t)$ tai $(b - 2t)$

$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y c \sum t_w} \right)$ vahvemman akselin suhteen symmetrisille poikkileikkauksille.

Taulukko 4.2 (jatkoa) Puristettujen taso-osien suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet

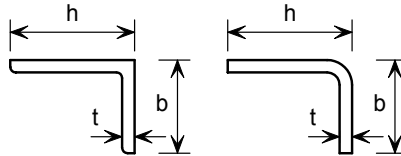
Ulokkeelliset taso-osat



Poikkileikkauksluokka	Poikkileikkauksen tyyppi	Puristettu osa	Puristettu ja taivutettu osa	
			Reuna puristettu	Reuna vedetty
1	Kylmämuokattu	$c/t \leq 10,0\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Hitsattu	$c/t \leq 9,0\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Kylmämuokattu	$c/t \leq 10,4\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Hitsattu	$c/t \leq 9,4\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
3	Kylmämuokattu	$c/t \leq 11,9\varepsilon$	$c/t \leq 18,1\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	k_σ ks. 4.4.1.
	Hitsattu	$c/t \leq 11,0\varepsilon$	$c/t \leq 16,7\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	k_σ ks. 4.4.1.

Kulmateräkset: Myös ulokkeellisten taso-osien ehdot tarkistetaan.

Ei sovelleta kulmateräksille, jotka liittyvät jatkuvasti muihin rakenneosiin.



Poikkileikkauks- luokka	Puristetut poikkileikkaukset			
3	$h/t \leq 11,9\varepsilon; \quad (b+h)/2t \leq 9,1\varepsilon$			
$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$	Teräslaji	1.4301	1.4401	1.4462
	f_y (N/mm ²)	210	220	460
	ε	1,03	1,01	0,698

Huom.: $E = 200\,000$ N/mm²

$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y c \sum t_w} \right)$ vahvemman akselin suhteen symmetrisille poikkileikkauksille.

Taulukko 4.2 (jatkoa) Puristettujen taso-osien suurimmat sallitut leveys-paksuussuhteet

Pyöreät rakenneputket

A technical drawing of a circular pipe cross-section. A vertical double-headed arrow on the right indicates the outer diameter, labeled 'd'. A small arrow points to the wall thickness, labeled 't'.

Poikkileikkausluokka	Taivutettu poikkileikkaus	Puristettu poikkileikkaus
1	$d / t \leq 50\varepsilon^2$	$d / t \leq 50\varepsilon^2$
2	$d / t \leq 70\varepsilon^2$	$d / t \leq 70\varepsilon^2$
3	$d / t \leq 280\varepsilon^2$	$d / t \leq 90\varepsilon^2$
	$d / t > 280\varepsilon^2$, ks. standardi EN 1993-1-6	$d / t > 90\varepsilon^2$, ks. standardi EN 1993-1-6

$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$	Teräslaji	1.4301	1.4401	1.4462
	f_y (N/mm2)	210	220	460
	ε	1,03	1,01	0,698

Huom.: $E = 200\,000$ N/mm²

4.4 Teholliset leveydet

4.4.1 Poikkileikkausluokan 4 taso-osien teholliset leveydet

Poikkileikkausluokan 4 ominaisuudet voidaan laskea käyttäen kokonaan tai osittain puristettujen taso-osien tehollisia leveyksiä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kokeellista mitoitus, ks. luku 9.

Osittain tai kokonaan puristetun poikkileikkausluokkaan 4 kuuluvan poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala A_{eff} , lasketaan vähentämällä bruttopoikkileikkauksen pinta-alasta tehottomien alueiden pinta-alat. Jokaisen poikkileikkausluokkaan 4 kuuluvan taso-osan tehollinen pinta-ala saadaan kertomalla tehollinen leveys b_{eff} ko. osan paksuudella. Kun poikkileikkaus on taivutettu, lasketaan myös tehollinen jäyhyysmomentti I_{eff} ja tehollinen taivutusvastus W_{eff} .

Osittain tai kokonaan puristettujen taso-osien teholliset leveydet esitetään taulukossa 4.3 kahdelta sivulta tuetuille taso-osille ja taulukossa 4.4 ulokkeellisille taso-osille.

Puristetun laipan tehollinen leveys voidaan laskea bruttopoikkileikkauksen perusteella lasketun jännityssuhteen ψ perusteella (ψ esitetään taulukoissa 4.3 ja 4.4). Uuman tehollinen leveys lasketaan sen poikkileikkauksen jännityssuhteen ψ perusteella, joka koostuu puristetun laipan tehollisesta leveydestä ja bruttopoikkileikkauksen mukaisesta uumasta ja vedetystä laipasta.

Pienennyskerroin ρ voidaan laskea seuraavasti

Kylmämuovattujen tai hitsattujen profiilien kahdelta reunalta tuetut taso-osat:

$$\rho = \frac{0,772}{\lambda_p} - \frac{0,125}{\lambda_p^2} \text{ mutta } \leq 1 \quad (4.1a)$$

Kylmämuovattujen profiilien yhdeltä reunalta tuetut taso-osat:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,231}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ mutta } \leq 1 \quad (4.1b)$$

Hitsattujen profiilien yhdeltä reunalta tuetut taso-osat:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,242}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ mutta } \leq 1 \quad (4.1c)$$

missä $\bar{\lambda}_p$ on taso-osan suhteellinen hoikkuus, joka lasketaan seuraavasti:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (4.2)$$

missä:

- t on kyseeseen tuleva aineenpaksuus;
- k_σ on taulukon 4.3 tai 4.4 mukaista jännityssuhdetta ψ vastaava lommahduskerroin;
- $\bar{b}$ on kyseeseen tuleva leveys seuraavasti:
 - $\bar{b} = d$ uumille (lukuun ottamatta suorakaiteen muotoisia rakenneputkia);
 - $\bar{b} =$ suorakaiteen muotoisen rakenneputken uuman taso-osan korkeus, jolle varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää arvoa $h - 2t$;
 - $\bar{b} = b$ kahdelta reunalta tuetuille taso-osille (lukuun ottamatta suorakaiteen muotoisia rakenneputkia);
 - $\bar{b} =$ suorakaiteen muotoisen rakenneputken laipan taso-osan leveys, jolle varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää arvoa $b - 2t$;
 - $\bar{b} = c$ yhdestä reunasta tuetuille taso-osille;
 - $\bar{b} = h$ tasa- ja erikylkisille kulmateräksille.
- ε on taulukon 4.2 mukainen materiaalista riippuva kerroin.

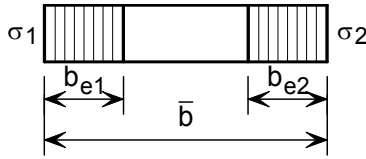
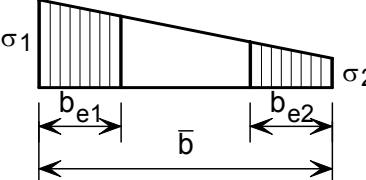
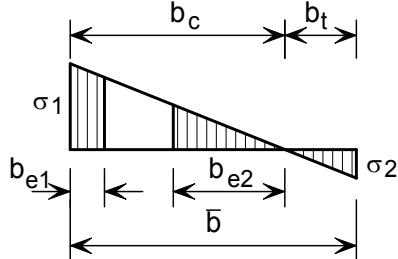
Yleensä tehollisen poikkileikkauksen neutraaliakseli siirtyy matkan e verrattuna bruttopoikkileikkaukseen, ks. kuvat 4.1 ja 4.2. Tämä siirtyminen otetaan huomioon laskettaessa tehollisen poikkileikkauksen ominaisuuksia.

Kun poikkileikkaukseen kohdistuu aksiaalinen puristus, lisämomentin ΔM_{Ed} huomioon ottamiseksi noudatetaan kohdan 5.5.2 ohjeita:

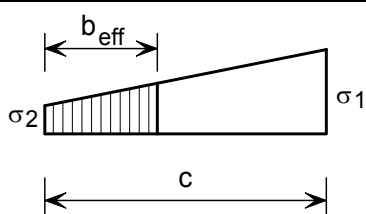
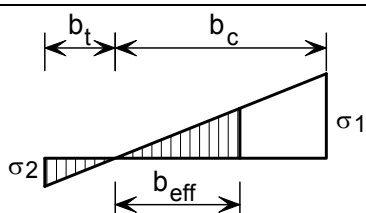
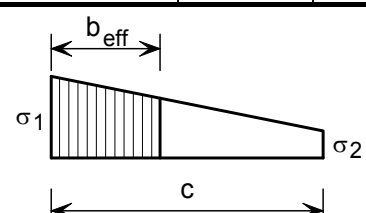
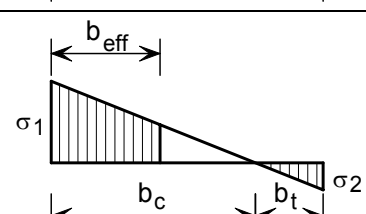
$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed}e_N$$

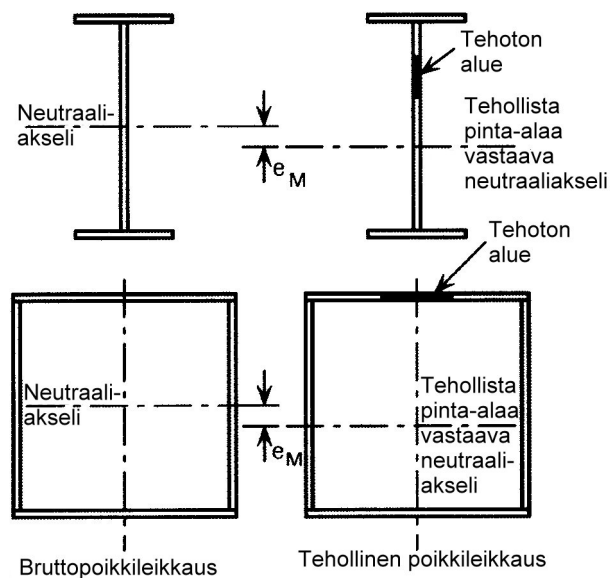
missä e_N on tasaisen puristuksen aiheuttama poikkileikkauksen neutraaliakselin siirtymä, ks. kuva 4.2.

Taulukko 4.3 Kahdelta reunalta puristetut taso-osat

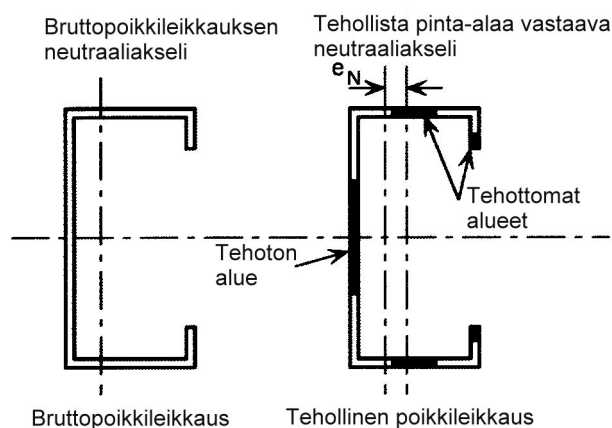
Jännitysjakautuma (puristus on positiivinen)				Tehollinen leveys b_{eff}		
				$\psi = 1 :$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$		
				$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2 b_{\text{eff}}}{5 - \psi} \quad b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$		
				$\psi < 0 :$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Lommahduskerroin k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

Taulukko 4.4 Yhdeltä reunalta tuetut puristetut taso-osat

Jännitysjakautuma (puristus on positiivinen)			Tehollinen leveys b_{eff}		
			$\underline{1 > \psi \geq 0 :}$ $b_{\text{eff}} = \rho c$		
			$\underline{\psi < 0 :}$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -3$	
Lommahduskerroin k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$	
			$\underline{1 > \psi \geq 0 :}$ $b_{\text{eff}} = \rho c$		
			$\underline{\psi < 0 :}$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Lommahduskerroin k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$	23,8



Kuva 4.1 Poikkileikkausluokan 4 poikkileikkaus, kun siihen kohdistuu taivutusmomentti



Kuva 4.2 Poikkileikkausluokan 4 poikkileikkaus, kun siihen kohdistuu puristusvoima

4.4.2 Leikkausviipeen (shear-lag-ilmiö) vaikutukset

Leikkausviipeen vaikutukset laipoissa voidaan jättää huomioon ottamatta, jos $b_0 < L_e/50$, missä b_0 tarkoittaa laipan ulokkeellisen osan leveyttä tai kahdelta reunalta tuetun taso-osan leveyden puolikasta ja L_e on taivutusmomenttipinnan nollakohtien väli. Kun b_0 :n rajat ylitetään, leikkausviipeen vaikutukset laipoissa otetaan huomioon. Standardissa EN 1993-1-5 hiiliteräksille esitetyt ohjeet soveltuvat ruostumattomille teräksille. Standardin EN 1993-1-5 mukaan leikkausviive otetaan huomioon sekä murto- että käyttörajatiloissa.

4.4.3 Laipan kaareutuminen

Hyvin leveälaippaisen taivutetun profiilin tapauksessa ja taivutetun kaarevan profiilin puristetun laipan tapauksessa, jossa kovera puoli on puristettu, laipan kaareutumisen (so. neutraaliakselia kohti tapahtuva laipan kaareutuminen) vaikutusta ei tarvitse ottaa huomioon, jos laipan kaareutuminen on enintään 5 % poikkileikkauksen korkeudesta. Jos laipan kaareutuminen on em. rajaa suurempi, kestävyys pienenee, esim. leveyden laipan osien momenttivarren pienemisestä aiheutuen ja uumien mahdollisen taivutuksen vaikutukset otetaan huomioon.

Tyypillisten ruostumattomasta teräksestä tehtyjen laippojen leveys-paksuussuhteet ovat sellaisia, että laipan taipuminen on epätodennäköistä. Standardin EN 1993-1-3 mukaiset hiiliteräksille laaditut ohjeet soveltuvat ruostumattomasta teräksestä tehdyille rakenneosille.

4.5 Jäykistetyt taso-osat

4.5.1 Reunajäykisteet

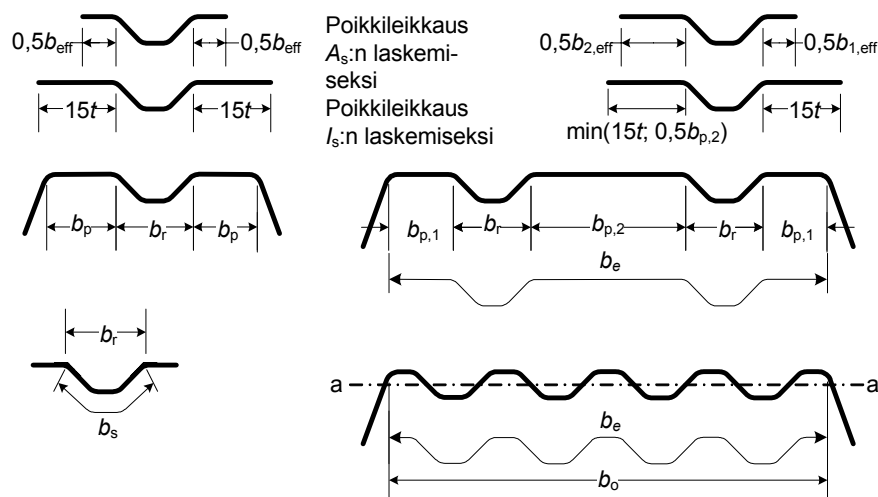
Sovelletaan hiiliteräkselle kehitettyjä standardin EN 1993-1-3:n mukaisia ohjeita.

4.5.2 Välijäykisteet

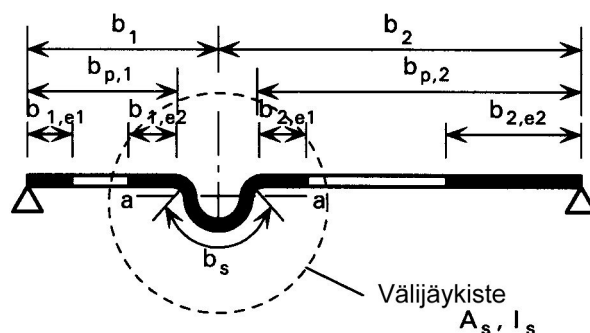
Sovelletaan hiiliteräkselle kehitettyjä standardin EN 1993-1-3:n mukaisia ohjeita.

4.5.3 Välijäykisteelliset muotolevyt, välijäykiste laipassa

Kun laippaan kohdistuu tasainen puristus, välijäykisteellisen laipan tehollisen pinta-alan oletetaan koostuvan kahdesta pienennetystä välijäykisteen tehollisesta pinta-alasta $A_{s,red}$ ja kahdesta $0,5b_{eff}$:n levyisestä kaistasta tai $15t$ levyisistä jäykisteen viereisistä kaistoista, jotka tukeutuvat uumien nurkkiin, ks. kuvat 4.3 ja 4.4.



Kuva 4.3 Puristettu laippa, jossa on yksi, kaksi tai useampia jäykisteitä



Kuva 4.4 Välijäykiste

Laipan keskellä olevalle yhdelle jäykisteelle kimmoteorian mukainen kriittinen lommahdusjännitys $\sigma_{cr,s}$ (jota käytetään $\bar{\lambda}_d$:n laskemiseksi) lasketaan kaavasta:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} \quad (4.3)$$

missä:

- b_p on taso-osan käsitteellinen (teoreettinen) leveys kuvien 4.3, 4.4 ja 4.5 mukaan;
- b_s on jäykisteen leveys mitattuna jäykisteen piiriä pitkin, ks. kuvat 4.3, 4.4 ja 4.5;
- A_s on jäykisteen pinta-ala kuvien 4.3, 4.4 ja 4.5 mukaan;
- I_s on jäykisteen hitausmomentti kuvien 4.3, 4.4 ja 4.5 mukaan;
- k_w on kerroin, joka ottaa huomioon uumista tai muista viereisistä osista aiheutuvan jäykistetyin laipan osittaisen kiertymistuennan, ks. jäljempänä. Laskettaessa aksiaalisesti puristetun poikkileikkauksen tehollista poikkileikkausta käytetään arvoa $k_w = 1,0$;

Kahden symmetrisesti sijaitsevan laippajäykisteen tapauksessa kimmoteorian mukainen kriittinen lommahdusjännitys $\sigma_{cr,s}$ lasketaan kaavasta:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2(3b_e - 4b_1)}} \quad (4.4)$$

missä:

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r \quad (4.5)$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r \quad (4.6)$$

missä:

- $b_{p,1}$ on uloimman taso-osan käsitteellinen (teoreettinen) leveys kuvan 4.4 mukaan;
- $b_{p,2}$ on keskellä olevan taso-osan käsitteellinen (teoreettinen) leveys kuvan 4.4 mukaan;
- b_r on jäykisteen kokonaisleveys, ks. kuva 4.3.

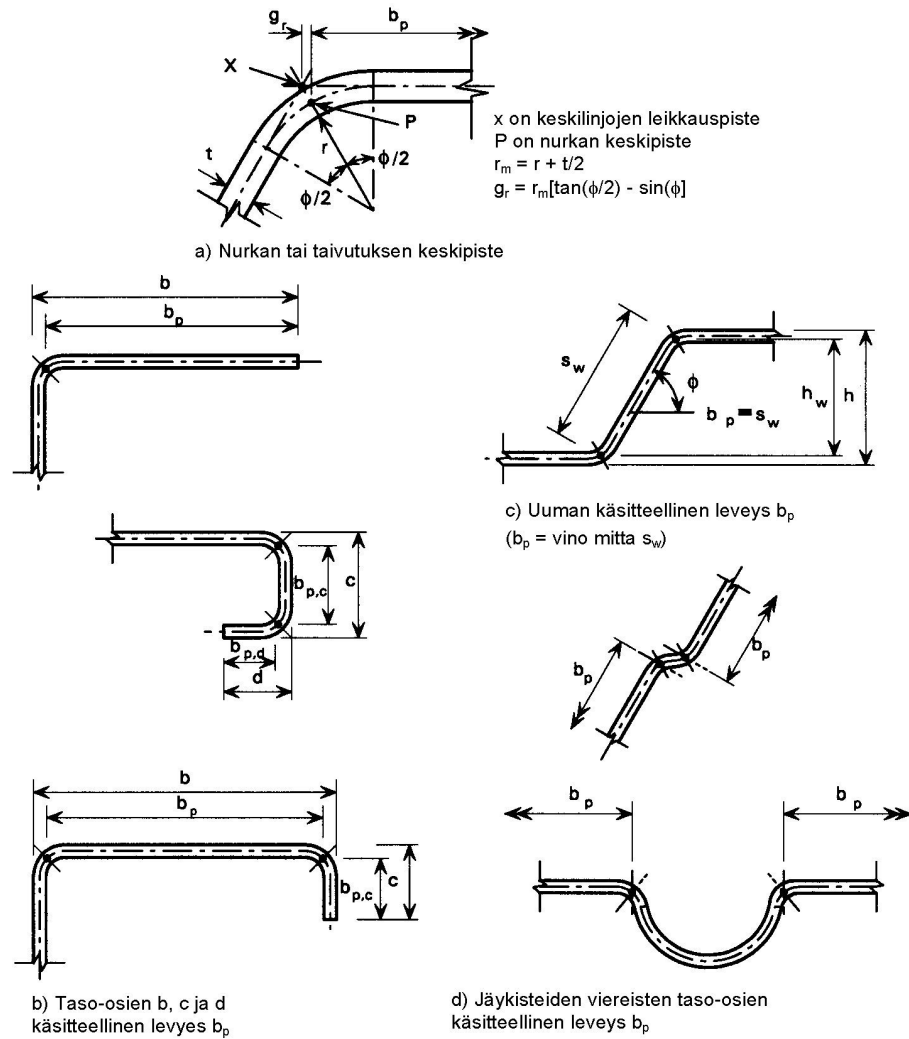
k_w voidaan laskea puristuslaipan nurjahdusaallon pituudesta l_b seuraavasti:

$$\text{jos } \frac{l_b}{s_w} \geq 2, \quad k_w = k_{wo} \quad (4.7)$$

$$\text{jos } \frac{l_b}{s_w} < 2, \quad k_w = k_{wo} - (k_{wo} - 1) \left[\frac{2l_b}{s_w} - \left(\frac{l_b}{s_w} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

missä:

- s_w on uuman vino korkeus, ks. kuva 4.5.



Kuva 4.5 Taso-osien käsitteelliset leveydet b_p ottaen huomioon nurkan pyöristyssäde

Vaihtoehtoisesti kiertymistuentaa kuvaava kerroin k_w voidaan olettaa varmalla puolella olevana arvona ykköseksi, joka vastaa nivelellistä tuentaa.

Arvot l_b ja k_{w0} voidaan laskea seuraavasti:

a) kun puristetussa laipassa on yksi välijäykiste:

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}} \quad (4.9)$$

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} \quad (4.10)$$

$$\text{missä: } b_d = 2b_p + b_s \quad (4.11)$$

b) kun puristetussa välijäykisteessä on kaksi tai kolme välijäykistettä:

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{\frac{I_s b_l^2 (3b_e - 4b_l)}{t^3}} \quad (4.12)$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_l)}{b_l(4b_e - 6b_l) + s_w(3b_e - 4b_l)}} \quad (4.13)$$

Pienennetyn tehollisen pinta-alan $A_{s,red}$ omaavan jäykisteen avautumisnurjahdus (distortional buckling) otetaan huomioon seuraavan kaavan mukaan:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_y / \gamma_{MO}}{\sigma_{com,ser}} \text{ mutta } A_{s,red} \leq A_s \quad (4.14)$$

missä:

$\sigma_{com,ser}$ on jäykisteen suurin puristusjännitys (joka lasketaan tehollisen poikkileikkauksen mukaan) käyttörajatilan kuormilla laskettuna.

Jos uumat ovat jäykisteettömiä, pienennyskerroin χ_d lasketaan seuraavasti:

$$\text{jos } \bar{\lambda}_d \leq 0,65, \quad \chi_d = 1,0 \quad (4.15)$$

$$\text{jos } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38, \quad \chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d \quad (4.16)$$

$$\text{jos } \bar{\lambda}_d \geq 1,38, \quad \chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \quad (4.17)$$

$$\text{missä } \bar{\lambda}_d = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,s}} .$$

Jos myös uumat ovat jäykistettyjä, viitataan standardiin EN 1993-1-3.

Poikkileikkauksen tehollisia ominaisuuksia laskettaessa pienennetty tehollinen pinta-ala $A_{s,red}$ lasketaan ottamalla huomioon kaikki arvoon A_s mukaan luettavien taso-osien pienennetyksi paksuudeksi arvo $t_{red} = t A_{red} / A_s$.

4.6 Poikkileikkausominaisuuksien laskenta

4.6.1 Yleistä

Poikkileikkausominaisuudet lasketaan lujuusopin perussääntöjen mukaan ottaen tarvittaessa huomioon paikallisen lommahduksen ja reikien aiheuttama bruttopoikkileikkauksen heikkeneminen. Kylmämuovatuissa nurkissa materiaalin oheneminen voidaan jättää ottamatta huomioon kylmämuokkauksen lujuutta nostavan kompensoivan vaikutuksen takia.

4.6.2 Pyöristettyjen nurkkien vaikutus

Pyöristettyjen nurkkien vaikutus poikkileikkauksen kestävyysnäyttöön voidaan jättää huomioon ottamatta, jos nurkan sisäpuolinen pyöristys säde täyttää ehdot $r \leq 5t$ ja $r \leq 0,10b_p$ ja poikkileikkauksen voidaan olettaa koostuvan suorista taso-osista ja terävistä nurkista. Poikkileikkausten jäykkyysominaisuuksia määritettäessä nurkkapyöristysten vaikutus otetaan aina huomioon.

Pyöristettyjen nurkkien vaikutus poikkileikkausominaisuuksiin otetaan huomioon. Nurkkapyöristysten vaikutus voidaan ottaa huomioon riittävällä tarkkuudella pienentämällä muutoin samanlaisen poikkileikkauksen ominaisuuksia, jotka lasketaan terävien nurkkien perusteella, ks. kuva 4.7, käyttämällä seuraavia likimääräistyksiä:

$$A_g = A_{g,sh} (1 - \delta) \quad (4.18)$$

$$I_g = I_{g,sh} (1 - 2\delta) \quad (4.19)$$

$$I_w = I_{w,sh} (1 - 4\delta) \quad (4.20)$$

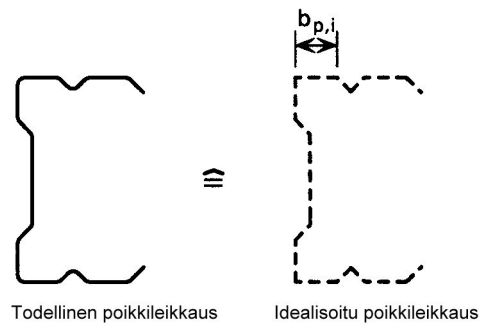
missä:

$$\delta = 0,43 \sum_{j=1}^n r_j \frac{\phi_j}{90^\circ} / \sum_{i=1}^m b_{p,i} \quad (4.21)$$

missä:

- A_g on bruttopoikkileikkauksen pinta-ala;
- $A_{g,sh}$ on A_g :n arvo terävänurkkaiselle poikkileikkaukselle;
- $b_{p,i}$ on terävänurkkaisen poikkileikkauksen taso-osan i käsitteellinen (teoreettinen) leveys;
- I_g on bruttopoikkileikkauksen jäyhyysmomentti;
- $I_{g,sh}$ on I_g :n arvo terävänurkkaiselle poikkileikkaukselle;
- I_w on bruttopoikkileikkauksen käyrästymisjäyhyys;
- $I_{w,sh}$ on I_w :n arvo terävänurkkaiselle poikkileikkaukselle;
- ϕ_j on kahden taso-osan välinen kulma;
- m on taso-osien lukumäärä;
- n on nurkkien lukumäärä;
- r_j on nurkan j sisäsäde.

Edellä esitettyjä pienennyksiä voidaan soveltaa myös laskettaessa tehollisia poikkileikkausarvoja A_{eff} , $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$ ja $I_{w,eff}$ edellyttäen, että taso-osien käsitteelliset (teoreettiset) leveydet määritetään niiden keskilinjojen leikkauspisteisiin.



Kuva 4.6 Todellinen ja idealisoitu poikkileikkaus

4.6.3 Bruttopoikkileikkaus

Bruttopoikkileikkauksen ominaisuuksia laskettaessa kiinnittimien reikiä ei tarvitse ottaa huomioon. Suuret aukot tulee sen sijaan ottaa huomioon.

4.6.4 Nettopoikkileikkaus

Poikkileikkauksen tai sen osan bruttopinta-alaksi valitaan bruttopinta-ala, josta vähennetään kaikki aukot kiinnittimien reiät mukaan lukien. Kiinnittimien reikiä vähennettäessä käytetään reikien nimellisiä halkaisijoita.

Mikäli kiinnittimien reiät eivät ole limitettyjä, kiinnittimien reikien vähennettäväksi kokonaispinta-alaksi valitaan reikien pinta-alojen suurin summa missä tahnassa poikkileikkauksessa, joka on kohtisuorassa sauvan akseliin nähden (ks. kuvan 4.7 murtolinja 2).

Kiinnittimien reikien ollessa limitettyjä, kiinnittimien reikien vähennettäväksi kokonaispinta-alaksi valitaan suurempi seuraavista arvoista:

- limitämättömille rei'ille sovellettava vähennys;

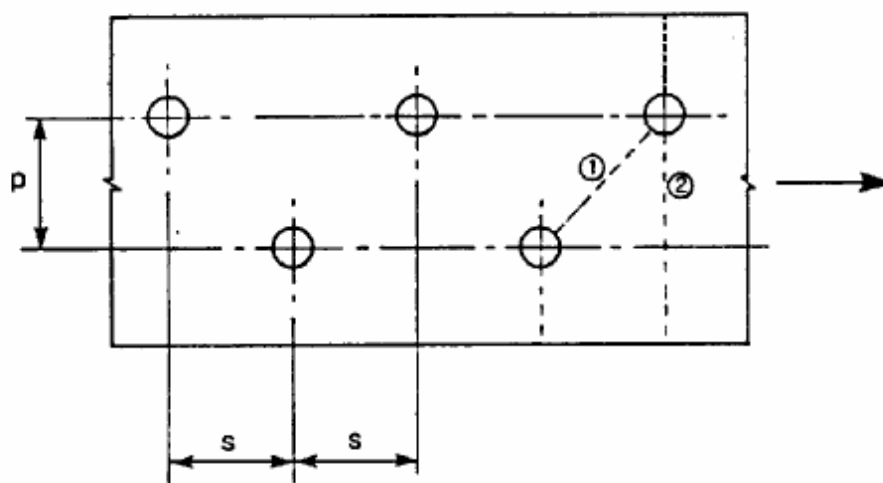
- $t \left(nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$

missä:

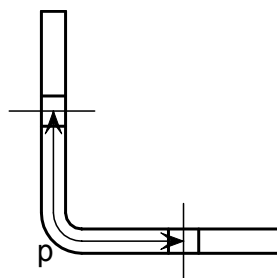
- s on sarjaan kuuluvien kahden vierekkäisen limitetyn reiän keskiöiden välinen etäisyys sauvan akselin suunnassa;
- p on kahden vierekkäisen reiän keskiöiden välinen etäisyys mitattuna kohtisuorassa suunnassa sauvan akselin suhteen;
- t on aineenpaksuus;
- n on niiden reikien lukumäärä, jotka sijaitsevat diagonaalisesti tai sik-sak-linjassa sauvassa tai sauvan osassa, ks. kuva 4.7;
- d_0 on reiän halkaisija.

Kulmateräksillä ja vastaavissa tapauksissa, joissa reiät ovat eri kyljissä, mitta p lasketaan kuvan 4.8 mukaan rakenneosan keskilinjaa pitkin.

Yhdestä kyljestä kiinnitetyt kulmateräket, ks. kohta 6.2.



Kuva 4.7 Limitetyt reiät ja kriittiset murtumislinjat 1 ja 2



Kuva 4.8 Mitta p kulmateräksissä, joissa on reiät molemmissa laipoissa

4.7 Poikkileikkauskestävyydet

4.7.1 Yleistä

Tässä kohdassa käsitellään pelkästään poikkileikkausten kestävyyttä. Puristetun sauvan kestävyys laskemiseksi tulee tarkastaa myös mahdollinen nurjahdus. Sauvojen nurjahdusta käsitellään luvussa 5. Poikkileikkauskestävyyden laskennassa käytettävät γ_M -arvot esitetään taulukossa 2.1.

Valmistuksen aikaiseen kylmämuokkaukseen liittyvä muokkauslujittuminen (ks. kohta 3.2.2) yleensä kasvattaa poikkileikkauksen kestävyyttä, mutta riittävää tietoa ruostumattomalle teräkselle ei ole vielä olemassa mitoitusohjeiden antamiseksi. Haluttaessa hyödyntää muokkauslujittumisesta saatavia hyötyjä, suositellaan kokeellista mitoitusta (ks. luku 9).

Poikkeustapauksissa ruostumattoman teräksen muokkauslujittumisominaisuuksia voidaan hyödyntää, ks. kohta 4.7.7.

4.7.2 Vedetyt poikkileikkaukset

Pelkästään tasaisesti vedetyn poikkileikkauksen vetokestävyys $N_{t,Rd}$ on pienempi arvoista:

a) bruttopoikkileikkauksen vetokestävyys mitoitusarvo:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.22)$$

b) nettopoikkileikkauksen vetokestävyys mitoitusarvo kiinnittimien reikien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4.23)$$

missä:

- A_g on poikkileikkauksen bruttopinta-ala;
- A_{net} on poikkileikkauksen nettopinta-ala (ks. 4.6.4);
- f_y on myötörajan ominaisarvo (yleensä käytetään 0,2-rajan minimiarvoa, ks. taulukko 3.1);
- f_u on vetolujuuden ominaisarvo (yleensä käytetään standardin mukaista minimiarvoa, ks. taulukko 3.1);
- $k_r = [1 + 3r(d_0 / u - 0,3)]$ mutta $k_r \leq 1,0$ (4.24)
- r = [ruuvien lukumäärä poikkileikkauksessa] / [kiinnityksen ruuvien kokonaislukumäärä];
- d_0 on ruuvien reiän nimellishalkaisija;
- $u = 2e_2$ mutta $u \leq p_2$.

4.7.3 Poikkileikkauksen puristuskestävyys

Poikkileikkauksen puristuskestävyys $N_{c,Rd}$, kun rezultoiva voima vaikuttaa painopisteen kautta (poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3) tai tehollisen poikkileikkauksen painopisteen kautta (poikkileikkausluokka 4) voidaan laskea seuraavasti:

$$N_{c,Rd} = A_g f_y / \gamma_{M0} \quad \text{poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3} \quad (4.25)$$

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{poikkileikkausluokka 4} \quad (4.26)$$

Huom.: Ei-kaksoissymmetriset poikkileikkausluokkaan 4 kuuluvat poikkileikkaukset mitoitetaan kohdan 4.7.6 mukaan ottaen huomioon tehollisen poikkileikkauksen neutraaliakselin epäkeskeisyydestä aiheutuva lisämomentti ΔM_{Ed} , ks. kohta 4.4.1.

4.7.4 Poikkileikkauksen taivutuskestävyys

Kun leikkausvoimaa ja aksiaalista voimaa ei ole, poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo yksiakselisessa taivutuksessa $M_{c,Rd}$ lasketaan kaavoista:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{poikkileikkausluokat 1 ja 2} \quad (4.27)$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,min} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{poikkileikkausluokka 3} \quad (4.28)$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff,min} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{poikkileikkausluokka 4} \quad (4.29)$$

missä:

W_{pl}	on plastisuusteorian mukainen taivutusvastus;
$W_{el,min}$	on kimmoteorian mukainen taivutusvastus reunassa, jossa jännitys on suurin (mutta ks. myös kohta 4.1 kylmämuovattuja profiileja koskien);
$W_{eff,min}$	on tehollisen poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutusvastus reunassa, jossa jännitys on suurin (mutta ks. myös kohta 4.1 kylmämuovattuja profiileja koskien).

Kun taivutus vaikuttaa kahden akselin suhteen, ks. 4.7.6.

4.7.5 Poikkileikkauksen leikkauskestävyys

Poikkileikkauksen leikkauskestävyys $V_{pl,Rd}$ voidaan yleensä laskea kaavasta:

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad (4.30)$$

missä:

A_v on leikkauspinta-ala, joka voidaan laskea seuraavasti:

- a) valssaamalla valmistetut I- ja H-profiilit, joissa kuormitus on uuman suuntainen: $A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ kuitenkin vähintään $\eta h_w t_w$

- b) valssaamalla valmistetut U- profiilit, joissa kuormitus on uuman suuntainen:

$$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

- c) valssaamalla valmistetut T- profiilit, joissa kuormitus on uuman suuntainen:

$$0,9 (A - bt_f)$$

- d) hitsaamalla valmistetut I-, H- ja koteloprofiilit, joissa kuormitus on uuman suuntainen:

$$\eta \sum (h_w t_w)$$

- e) hitsaamalla valmistetut I-, H-, ja U- ja koteloprofiilit, joissa kuormitus on laippojen suuntainen:

$$A - \sum (h_w t_w)$$

- f) valssaamalla valmistetut suorakaiteen muotoiset rakenneputket, kun aineenpaksuus on vakio:

kuormitus vaikuttaa korkeuden suunnassa: $Ah/(b + h)$

kuormitus vaikuttaa leveyden suunnassa: $Ab/(b + h)$

- g) pyöreät rakenneputket, joiden aineenpaksuus on vakio: $2A/\pi$

missä:

A on poikkileikkauksen pinta-ala;

b on kokonaisleveys;

h on kokonaiskorkeus;

h_w on uuman korkeus;

r on nurkan pyöristyssäde;

t_f on laipan paksuus;

t_w on uuman paksuus (Jos uuman paksuus ei ole vakio, t_w :n arvoksi valitaan pienin arvo);

η ks. standardi EN 1993-1-5 (standardissa EN 1993-1-4 suositellaan arvoa $\eta = 1,20$).

Huom.: Laskettaessa leikkauslommahduskestävyyttä ja plastisuusteoriaan perustuvaa leikkauskestävyyttä käytetään samaa η :n arvoa

Leikkauslommahduskestävyys tarkistetaan kohdan 5.4.3 mukaan.

4.7.6 Poikkileikkaukset, joihin kohdistuu yhdistetty rasitus

Aksiaalisen voiman vaikutus plastisuusteorian mukaiseen taivutusmomenttikestävyyteen otetaan huomioon. Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (4.31)$$

missä:

$M_{N,Rd}$ on plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun aksiaalisen voiman N_{Ed} pienentävä vaikutus otetaan huomioon.

Kahden akselin suhteen symmetrisille I- ja H-poikkileikkauksille ja muille vastaaville laipallisille poikkileikkauksille, aksiaalisen voiman vaikutus plastisuusteorian mukaiseen taivutusmomenttikestävyyteen y-y-akselin suhteen voidaan jättää huomioon ottamatta, kun molemmat seuraavat ehdot ovat voimassa:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \text{ ja} \quad (4.32a)$$

$$N_{Ed} \leq 0,25 h_w t_w f_y / \gamma_{M0} \quad (4.32b)$$

Kun leikkausvoimaa ei ole, poikkileikkausluokan 3 ja 4 suurimman aksiaalisen jännityksen tulee täyttää ehto:

$$\sigma_{x,Ed} \leq f_y / \gamma_{M0} \quad (4.33)$$

missä:

$\sigma_{x,Ed}$ on momentista ja aksiaalisesta voimasta aiheutuvan suurimman paikallisen aksiaalisen jännityksen mitoitusarvo ottaen kiinnittimien reiät tarvittaessa huomioon.

Poikkileikkausluokassa 4 myös seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (4.34)$$

missä:

- A_{eff} on poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala, kun poikkileikkaukseen kohdistuu tasainen puristus;
- $W_{eff,min}$ on poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus, kun poikkileikkaukseen kohdistuu vain taivutusmomentti kyseeseen tulevan akselin suhteen;
- e_N on kyseeseen tulevan neutraaliakselin siirtyminen, kun poikkileikkaukseen kohdistuu vain puristus.

Kulmateräksille edellisessä kaavassa y- ja z- akselien sijasta käytetään akseleita u ja v.

Kun $V_{Ed} > 0,5V_{pl,Rd}$, poikkileikkauksen kestävyys samanaikaisesti vaikuttavalle momentille ja aksiaaliselle voimalle lasketaan käyttäen leikkauspinta-alalle pienenettyä myötörajan arvoa $(1 - \rho) f_y$, missä $\rho = (2V_{Ed}/V_{Rd}-1)^2$.

4.7.7 Myötölujenemisen hyödyntäminen (strain hardening)

Tietyissä tapauksissa, kuten esim. palkkien mitoitus lyhytaikaiselle onnettomuuskuormalle, sallitaan ruostumattomien terästen myötölujenemisen (metallurgisessa merkityksessä "strain hardening" tarkoittaa muokkauslujittumista) hyödyntäminen mitoituksessa.

Mitoitus voidaan tehdä käyttämällä muokkauslujittuneen tilan mukaista korotettua 0,2-rajan arvoa muokkauslujittumattoman tilan 0,2-rajan asemasta kaikissa laskelmissa. Tarkempien ohjeiden puuttuessa (ehkä epälineaarista FE-analyysiä lukuun ottamatta) suositellaan seuraavia rajoituksia:

- Poikkileikkauksen tulee kuulua poikkileikkausluokkaan 1 tai 2, kun laskelmissa käytetään muokkauslujittuneen tilan mukaista korotettua 0,2-rajan arvoa laskettaessa taulukon 4.2 mukaista suuretta ε
- Poikkileikkaukseen kohdistuu vain taivutusta vahvemman akselin suhteen.
- Mikään epästabiilius (tasonurjahdus, vääntönurjahdus, kiepahdus tai avautumisenurjahdus (distortional buckling) - ks. Luku 5) ei ole mitoittava, kun käytetään muokkauslujittuneen tilan mukaista 0,2-rajan arvoa kaikissa laskelmissa.
- Rakenneosien väliset liitokset ja itse rakenneosat ovat riittävän vahvoja, jotta myötölujenemisesta (muokkauslujittumisesta) aiheutuva kestävyiden kasvu voi tapahtua.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää liitosten lujuusvaatimuksiin.

Poikkileikkausluokissa 3 ja 4 myötölujenemisesta aiheutuva lujuuden kasvu voidaan hyödyntää, mikäli se perustuu luvun 9 mukaisiin kokeisiin.

5 SAUVOJEN MITOITUS

5.1 Johdanto

Ruostumattomista teräksistä tehtyjen rakenteiden mitoitus on samankaltainen kuin tavanomaisista rakenneteräksistä tehtyjen rakenteiden mitoitus. Rakennneosien voimien ja momenttien laskemiseksi suositellaan kimmoteoriaan perustuvan kokonaisanalyysin käyttöä.

Poikkileikkauskestävyyden lisäksi (ks. Luku 4) rakenneosat mitoitetaan stabiiliuden suhteen, jota tässä luvussa käsitellään.

Mahdollinen mitoitus tapa nurjahduksen suhteen on lommahdusjännitystä vastaavan tangenttikimmokertoimen käyttöön perustuvan teorian käyttö sen sijaan, että käytetään alkukimmokerrointa kuten hiiliteräksillä. Olettamalla geometrisille epätäydellisyyksille ja alkujännityksille sama taso ruostumattomilla teräksillä ja hiiliteräksillä, johtaa tämän teorian käyttö yleensä tyydyttäviin tuloksiin, kun tuloksia verrataan hiiliteräksestä tehdyillä rakenneosalla tehtyihin kokeisiin. Tämän perusteella tätä teoriaa voidaan käyttää mitoituksessa. Menetelmä vaatii kuitenkin iteratiivisia laskelmia ja sen takia menetelmän käyttöä vältetään tässä käsikirjassa lukuun ottamatta joitakin tapauksia, jossa menetelmää on käytetty sellaisten mitoituskäyrien laatimiseksi, joita käytetään yhdessä alkukimmokertoimen kanssa. Tässä käsikirjassa esitetyt mitoitusmenetelmät on kalibroitu olemassa olevien koetulosten avulla.

Seuraavissa alakohdissa esitetyt ohjeet soveltuvat yhden tai kahden akselin suhteen symmetrisille sekä pistesymmetrisille profiileille, joiden poikkileikkaus sauvan akselin suunnassa on vakio. Poikkileikkaukseltaan epäsymmetriset sauvat tulee mitoittaa kokeellisesti.

5.2 Vedetyt sauvat

Keskeisesti vedettyjen sauvojen vetokestävyys voidaan laskea pelkästään poikkileikkauskestävyyden perusteella, ks. 4.7.2. Vedettyjen sauvojen kiinnitysten ja liitosten mitoitus, ks. Luku 6.

Yhdestä kyljestä kiinnitettyjen kulmaterästen ja muiden vastaavien epäsymmetrisien kiinnitysten vetokestävyys lasketaan kaavasta:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} \leq N_{u,Rd} \quad (5.1)$$

missä suureet ovat kohdan 4.7.2 mukaisia ja $N_{u,Rd}$ lasketaan kohdan 6.2.3 mukaisista lausekkeista (6.6), (6.7) tai (6.8).

5.3 Puristetut sauvat

5.3.1 Yleistä

Puristetut sauvat voivat menettää stabiiliutensa monella tavalla, kuten:

- Levyn lommahdus (vain poikkileikkausluokassa 4);
- Taivutusnurjahdus;
- Vääntönurjahdus;
- Taivutusvääntönurjahdus.

Kaksoissymmetriset profiilit (pyöreät ja suorakulmaiset rakenneputket, I-profiilit, jne.)

Kaksoissymmetrisiä profiileja ei tarvitse mitoittaa taivutus-vääntönurjahdukselle, koska poikkileikkauksen leikkauskeskiö yhtyy painopisteeseen. Vääntönurjahdus voi olla kriittinen.

Pyöreät ja neliön muotoiset rakenneputket eivät ole alttiita vääntönurjahdukselle.

Rakentamisessa tyypillisesti käytettäville suorakaiteen muotoisille rakenneputkille vääntönurjahdus ei ole kriittinen. Suorakaiteen muotoisten rakenneputkien vääntönurjahdus on kriittinen vain, jos rakenneputken h/b -suhde on epätavallisen suuri.

Yhden akselin suhteen symmetriset profiilit (tasakylkiset kulmateräket, U-teräket, jne.)

Yhden akselin suhteen symmetriset profiilit kuten C-profiilit ja tasakylkiset kulmateräket tarkistetaan taivutusvääntönurjahdukselle, koska poikkileikkauksen painopiste ja leikkauskeskiö eivät yhdy.

Pistesymmetriset profiilit (Z-profiilit, ristin muotoiset profiilit, jne.)

Näille profiileille vääntönurjahdus voi olla kriittinen.

5.3.2 Levyn lommahdus

Poikkileikkausluokassa 4 levyn lommahdus otetaan huomioon käyttämällä poikkileikkauksen tehollista pinta-alaa. Neutraaliakselin siirtymisestä aiheutuva taivutusmomentin lisä on epäsymmetrinen eli erilainen eri akseleiden suhteen. Poikkileikkausluokan 4 rakenneosat käsitellään kohdan 5.5 mukaan.

5.3.3 Taivutusnurjahdus

Taivutusnurjahduskestävyys lasketaan kaavasta:

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1} \quad \text{poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3} \quad (5.2a)$$

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1} \quad \text{poikkileikkausluokka 4} \quad (5.2b)$$

missä:

A_{eff} on poikkileikkausluokkaan 4 kuuluvan poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala;

A on bruttopinta-ala;

χ on nurjahduksen huomioonottava pienennystekijä, joka lasketaan kaavasta:

$$\chi = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \leq 1 \quad (5.3)$$

missä:

$$\varphi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right) \quad (5.4)$$

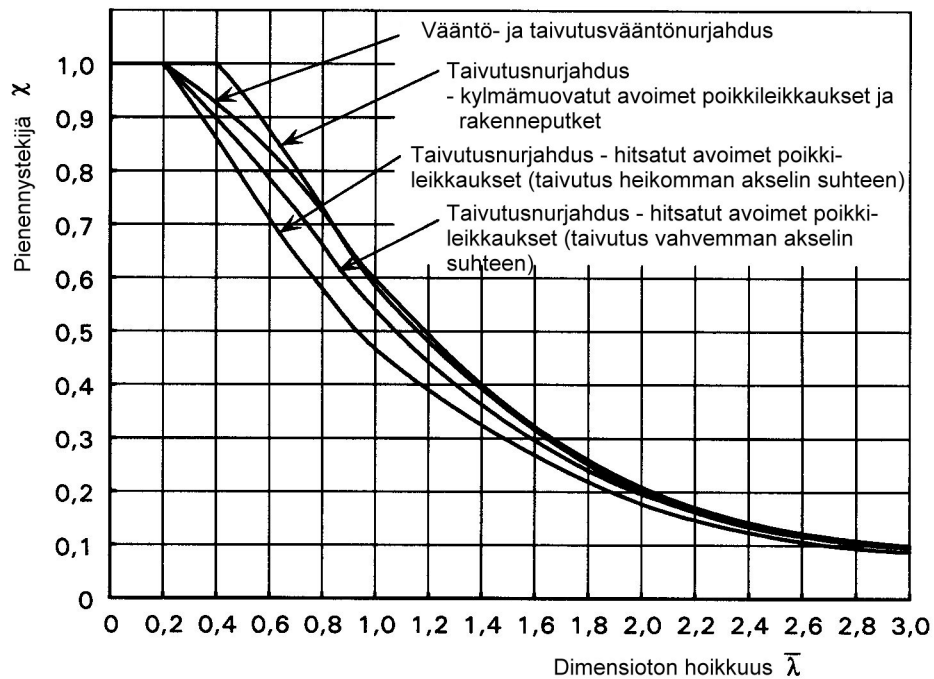
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \text{poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3} \quad (5.5a)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y \frac{A_{eff}}{A}}{E}} \quad \text{poikkileikkausluokat 4} \quad (5.5b)$$

missä:

- α on taulukon 5.1 mukainen epätäydellisyystekijä;
- N_{cr} on kimmoteorian mukainen kyseeseen tulevaan nurjahdusmuotoon liittyvä kriittinen nurjahduskuorma, joka lasketaan bruttopoikkileikkauksen ominaisuuksien perusteella;
- $\bar{\lambda}_0$ on taulukon 5.1 mukainen muunnetun hoikkeuden raja-arvo;
- L_{cr} on nurjahduspituus tarkasteltavassa tasossa ottaen reunaehdot huomioon;
- i on hitaussäde tarkasteltavan akselin suhteen, joka lasketaan bruttopoikkileikkauksen ominaisuuksien perusteella.

Nurjahduskäyrät esitetään kuvassa 5.1. Taulukon 5.1 arvoja α ja $\bar{\lambda}_0$ ei käytetä rakenneputkille, jotka hehkutetaan valmistuksen jälkeen. Kun muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$ tai kun $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq \bar{\lambda}_0^2$ nurjahdus voidaan jättää huomioon ottamatta ja tarkistetaan vain poikkileikkauksen kestävyys.



Kuva 5.1 Nurjahduskäyrät, taivutus-vääntö- ja taivutusvääntönurjahduksessa

Nurjahduspituus määritetään rakenteiden mekaniikan sääntöjen mukaan ottaen reunaehdot huomioon.

Taulukko 5.1 α :n ja $\bar{\lambda}_0$:n arvot taivutus-, vääntö- ja taivutus-vääntönurjahduksessa

Nurjahdustapa	Profiilin tyyppi	α	$\bar{\lambda}_0$
Taivutusnurjahdus	Kylmämuovautut avoimet profiilit	0,49	0,40
	Rakenneputket (saumattomat ja hitsatut)	0,49	0,40
	Hitsatut avoimet profiilit (vahvemman akselin suhteen)	0,49	0,20
	Hitsatut avoimet profiilit (heikomman akselin suhteen)	0,76	0,20
Vääntö- ja taivutusvääntönurjahdus	Kaikki profiilit	0,34	0,20

5.3.4 Vääntö- ja taivutusvääntönurjahdus

Kestävyydet lasketaan kohdan 5.3.3 mukaan korvaamalla termi $\bar{\lambda}$ termillä $\bar{\lambda}_T$ (ks. kaavat (5.6) ja (5.7)) sekä valitsemalla $\alpha = 0,34$ ja $\bar{\lambda}_0 = 0,2$.

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \text{ poikkileikkausluokille 1, 2 ja 3} \quad (5.6a)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} \text{ poikkileikkausluokille 4} \quad (5.6b)$$

missä $N_{cr} = N_{cr,TF}$ ja $N_{cr} < N_{cr,T}$,

missä:

$N_{cr,T}$ on kimmoteorian mukainen kriittinen vääntönurjahduskuorma:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2} \right) \quad (5.7a)$$

$N_{cr,TF}$ on kimmoteorian mukainen kriittinen taivutusvääntönurjahduskuorma.

Poikkileikkauksille, jotka ovat symmetrisiä y-y-akselin suhteen (ts. $z_o = 0$):

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_o}{i_o} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right] \quad (5.7b)$$

missä:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2;$$

i_y ja i_z tarkoittavat hitaussäteitä y- ja z-akselien suhteen ja ne lasketaan bruttopoikkileikkauksen ominaisuuksien perusteella;

y_o ja z_o tarkoittavat bruttopoikkileikkauksen painopisteen ja leikkauskeskiön välisiä etäisyyksiä;

G on liukukerroin;

l_T on nurjahduspituus vääntönurjahduksessa (ks. standardi EN 1993-1-3);

I_T on bruttopoikkileikkauksen vääntövakio;

I_w on bruttopoikkileikkauksen käyristymisvakio.

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_o}{i_o} \right)^2$$

$N_{cr,y}$ ja $N_{cr,z}$ tarkoittavat kimmoteorian mukaisia kriittisiä aksiaalisia kuormia taivutusnurjahduksessa y-y- ja z-z-akselien suhteen.

Kaksoissymmetrisille poikkileikkauksille painopiste ja leikkauskeskiö yhtyvät, jonka takia $y_o = 0$ ja $z_o = 0$ ja

$$N_{cr,TF} = N_{cr,T} \text{ edellyttäen, että } N_{cr,T} < N_{cr,y} \text{ ja } N_{cr,T} < N_{cr,z} .$$

Kulmateräksille edellisissä kaavoissa y- ja z- akselien sijasta käytetään akseleita u ja v.

5.4 Taivutetut sauvat

5.4.1 Yleistä

Sauvan sanotaan olevan yksinkertaisesti taivutettu, kun kuormat vaikuttavat kohtisuoraan sauvan pituusakselin suhteen ja sauvan päät on kiinnitetty siten, että tuille ei synny vääntöä, vetoa tai puristusta.

Palkin taivutuskestävyyttä laskettaessa otetaan huomioon seuraavat kriteerit:

- poikkileikkauksen myötääminen (ks. 4.7);
- puristetun levyn lommahdus (vain poikkileikkausluokassa 4 - ks. 4.7);
- kiepahdus (ks. 5.4.2);
- leikkauslommahdus (ks. 5.4.3);
- pistekuormakestävyys tukien ja kuormien kohdalla.

Leikkausviipeen ja laipan taipumisen vaikutukset taivutetuissa sauvoissa otetaan tarvittaessa huomioon kohtien 4.4.2 ja 4.4.3 mukaan.

Kaksiakselialinen taivutus otetaan huomioon kohdan 5.5.2 mukaan.

5.4.2 Kiepahdus

Kiepahdus voidaan jättää ottamatta huomioon seuraavissa tapauksissa:

- taivutus tapahtuu vain heikomman akselin suhteen;
- taivutettu sauva on tuettu tehokkaasti sivusuunnassa koko matkalta;
- palkit, joille muunnettu kiepahdushoikkuus $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ (ks. jäljempänä) tai kun $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,16$.

Kaikissa muissa tapauksissa kiepahduskestävyys lasketaan seuraavasti:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1} \quad (5.8)$$

missä:

$$W_y = W_{pl,y} \text{ poikkileikkausluokille 1 ja 2;}$$

$$W_y = W_{el,y} \text{ poikkileikkausluokille 3;}$$

$W_y = W_{\text{eff},y}$ poikkileikkausluokille 4;

χ_{LT} on kiepahduksen huomioon ottava pienennystekijä, joka lasketaan kaavasta:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{0,5}} \leq 1 \quad (5.9)$$

missä:

$$\phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \quad (5.10)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (5.11)$$

α_{LT} epätarkkuustekijä seuraavasti:

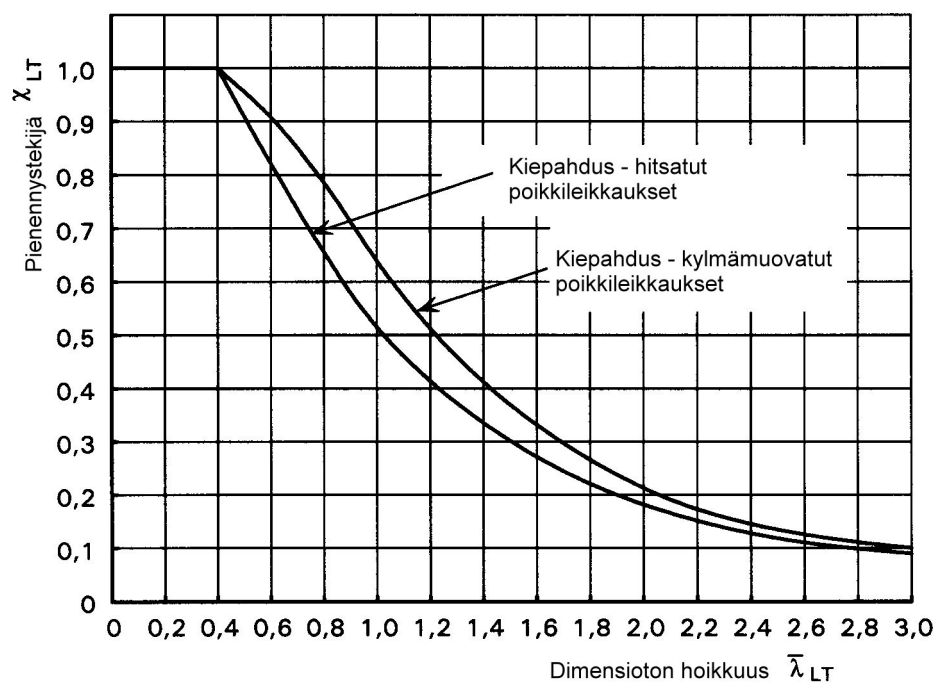
= 0,34 kylmämuovatuille profiileille ja rakenneputkille (pituussuunnassa hitsatut ja saumattomat rakenneputket);

= 0,76 hitsatuille avoimille profiileilla ja muille profiileille, joille koetuloksia ei ole olemassa.

M_{cr} on kimmoteorian mukainen kriittinen kiepahdusmomentti (Ks. liite B).

Kulmateräksille edellisissä kaavoissa y- ja z- akselien sijasta käytetään akseleita u ja v.

Kiepahduskäyrät esitetään kuvassa 5.2.



Kuva 5.2 Kiepahduskäyrät

5.4.3 Leikkauslommahduskestävyys

Leikkauskestävyys määräytyy joko poikkileikkauksen myötäämisen (ks. 4.7.5) tai leikkauslommahduksen perusteella.

Leikkauslommahduskestävyys tarvitsee tarkistaa vain, kun $h_w/t \geq 52\varepsilon/\eta$ jäykistämättömän uuman tapauksessa tai kun $h_w/t \geq 23\varepsilon\sqrt{k_\tau}/\eta$ jäykistetyin uuman tapauksessa.

Sauvan leikkauslommahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.12a)$$

missä uuman osuus lasketaan kaavasta:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.12b)$$

missä:

h_w on laippojen sisäpintojen väli (ks. kuva 5.3);

ε esitetään taulukossa 4.2;

k_τ on leikkauslommahduskerroin;

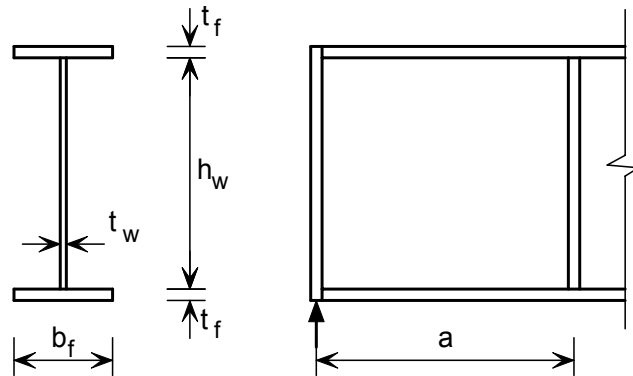
$V_{bw,Rd}$ on uuman osuus leikkauslommahduskestävyyden mitoitusarvosta;

$V_{bf,Rd}$ on laippojen osuus leikkauslommahduskestävyyden mitoitusarvosta;

f_{yw} on uuman materiaalin myötörajan ominaisarvo;

η ks. standardi EN 1993-1-5. (Standardissa EN 1993-1-4 suositellaan arvoa $\eta = 1,20$).

Huom.: Laskettaessa leikkauskestävyyttä myötäämisen perusteella ja laskettaessa leikkauskestävyyttä leikkauslommahduksen perusteella käytetään samaa η :n arvoa.



Kuva 5.3 Geometristen mittojen merkinnät

Uumille, joissa on pystyjäykisteet vain tuilla ja uumille, joissa on joko poikittaisjäykisteet ja/tai pituusjäykisteet, uuman osuus lasketaan seuraavasti:

$$\chi_w = \eta \quad \text{kun } \bar{\lambda}_w \leq 0,60/\eta \quad (5.13a)$$

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \quad \text{kun } \bar{\lambda}_w > 0,60/\eta \quad (5.13b)$$

Kun pystysuuntaiset uumajäykisteet ovat vain tukien kohdilla, muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_w$ lasketaan seuraavasti:

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon} \right) \quad (5.14)$$

Tapauksissa, joissa pystysuuntaiset uumajäykisteet ovat tukien kohdilla ja palkin uumassa käytetään pysty- ja/tai pituussuuntaisia välijäykisteitä, muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_w$ lasketaan seuraavasti:

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}} \right) \quad (5.15)$$

missä k_τ uuman levykentän pienin leikkauslommahduskerroin. Uumille, joissa on jäykät poikittaisjäykisteet ilman pituusjäykisteitä tai uumille joissa on vähintään kolme pituusjäykistettä k_τ voidaan määrittää seuraavasti:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(h_w / a)^2 + k_{\text{tst}} \quad \text{kun } a / h_w \geq 1 \quad (5.16a)$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34(h_w / a)^2 + k_{\text{tst}} \quad \text{kun } a / h_w < 1 \quad (5.16b)$$

missä:

$$k_{\text{tst}} = 9(h_w / a)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{\text{sl}}}{t^3 h_w} \right)^3} \quad \text{kuitenkin vähintään } \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{\text{sl}}}{h_w}}$$

missä:

a on pystyjäykisteiden keskilinjojen välinen etäisyys, ks. kuva 5.3.

I_{sl} on pituusjäykisteen hitausmomentti z-z-akselin suhteen.

Yhtälöitä (5.16) sovelletaan myös levykentille, joissa on yksi tai kaksi pituusjäykistettä, jos levykentän sivusuhte $a/h_w \geq 3$. Levykenttien osalta, joissa on yksi tai kaksi pituusjäykistettä ja levykentän sivusuhte $a/h_w < 3$, viitataan standardin EN 19931-5 liitteeseen A3.

Yksinkertaisuuden vuoksi laippojen osuus χ_f voidaan jättää huomioon ottamatta. Jos laipan kestävyyttä ei täysin hyödynnetä taivutuskestävyyttä laskettaessa ($M_{\text{Ed}} < M_{\text{f,Rd}}$), voidaan laippojen osuus leikkauskestävyyteen määrittää seuraavasti:

$$V_{\text{bf,Rd}} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{\text{M1}}} \left[1 - \left[\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{f,Rd}}} \right]^2 \right] \quad (5.17)$$

missä:

b_f ja t_f tarkoittavat sen laipan leveyttä ja paksuutta, jonka kestävyys aksiaalisen voiman suhteen on pienempi, b_f :n arvo saa olla enintään $15 \varepsilon t_f$ uuman kummallakin puolen.

$M_{\text{f,Rd}}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon;

$$M_{\text{f,Rd}} = \frac{M_{\text{f,k}}}{\gamma_{\text{M0}}};$$

$$c = a \left(0,17 + \frac{3,5 b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right) \quad \text{ja} \quad \frac{c}{a} \leq 0,65;$$

f_{yf} on laipan myötörajan ominaisarvo.

Jos myös aksiaalinen voima N_{Ed} vaikuttaa, $M_{f,Rd}$:n arvoa pienennetään tekijällä:

$$\left[1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2})f_{yf}} \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M0}} \right] \quad (5.18)$$

missä A_{f1} ja A_{f2} ovat ylä- ja alalaipan pinta-aloja.

Kestävyys tarkistetaan seuraavasti:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.19)$$

missä:

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo vääntö mukaan lukien.

Puristetun ja kahden akselin suhteen taivutetun sauvan poikkileikkauksen kestävyys tarkistetaan seuraavasta ehdosta:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} \leq 1,0 \quad (5.20)$$

missä:

A_{eff} on poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala, (ks. kohta 4.4.1);

$e_{y,N}$ on neutraaliakselin siirtyminen y-akselin suhteen (ks. kohta 4.4.1);

$e_{z,N}$ on neutraaliakselin siirtyminen z-akselin suhteen (ks. kohta 4.4.1);

$M_{y,Ed}$ on taivutusmomentin mitoitusarvo y-akselin suhteen;

$M_{z,Ed}$ on taivutusmomentin mitoitusarvo z-akselin suhteen;

N_{Ed} on aksiaalisen voiman mitoitusarvo;

$W_{y,eff}$ on tehollisen poikkileikkauksen taivutusvastus y-akselin suhteen (ks. kohta 4.4.1);

$W_{z,eff}$ on tehollisen poikkileikkauksen taivutusvastus z-akselin suhteen (ks. kohta 4.4.1).

Toisen kertaluvun kokonaisvaikutukset lasketaan tarvittaessa mukaan suureisiin M_{Ed} ja N_{Ed} . Levykentän lommahdus tarkistetaan jännitysresultanteille etäisyyksillä 0,4a tai 0,5b, jolloin käytetään pienempää etäisyyttä. Ko. mitta lasketaan sen levykentän päästä, jossa jännitykset ovat suurempia.

Edellyttäen, että $\bar{\eta}_3 \leq 0,5$ (ks. jäljempänä), taivutusmomenttikestävyyttä ja kestävyttä aksiaalisen voiman suhteen ei tarvitse leikkausvoiman takia pienentää. Jos $\bar{\eta}_3 > 0,5$, taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutuksen I- tai koteloprofiilin uumassa tulee täyttää ehto:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \text{ kun } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (5.21)$$

missä:

$M_{f,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon;

$M_{pl,Rd}$ on poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyys, kun vain teholliset laipat otetaan huomioon ja uuman oletetaan toimivan täysin tehollisena poikkileikkausluokasta riippumatta;

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \quad (5.22)$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \quad (5.23)$$

Jännitykset ovat merkittävästi positiivisia. Tarvittaessa arvoihin M_{Ed} ja N_{Ed} sisällytetään toisen kertaluvun vaikutukset.

Kaavan (5.21) mukaisen ehdon tulee olla voimassa kaikissa poikkileikkauksissa, mutta ehtoa ei tarvitse tarkistaa poikkileikkauksissa, jotka ovat enintään $h_w/2$ etäisyydellä tuesta, jossa on pystyjäykisteet.

Jos aksiaalinen voima N_{Ed} vaikuttaa, $M_{pl,Rd}$ korvataan standardin EN 1993-1-1 kohdan 6.2.9 mukaisella pienennetyllä plastisuusteorian mukaisella taivutuskestävyydellä $M_{N,Rd}$ ja $M_{f,Rd}$:n arvoa pienennetään kaavan (5.18) mukaan. Jos aksiaalinen voima on niin suuri, että koko uuma on puristettu, sovelletaan standardin EN 1993-1-5 ohjeita.

5.4.4 Uuman paikallinen murtuminen, uuman paikallinen lommahtaminen ja uuman kokonaislommahdus pistekuormasta

Jäykistämättömän uuman kestävyys pistekuormille tai tukireaktioille määräytyy jonkin seuraavan kolmen mahdollisen murtumismuodon perusteella edellyttäen, että laipat on tuettu poikittaisessa suunnassa:

- uuman paikallinen murtuminen laipan lähellä, johon liittyy laipan plastinen muodonmuutos;
- uuman paikallinen lommahtaminen ja murtuminen laipan lähellä, johon liittyy laipan plastinen muodonmuutos;
- Sauvan koko uuman lommahtaminen.

Kylmämuovatuille profiileille voidaan käyttää standardin EN 1993-1-3 mukaisia hiiliteräksille laadittuja ohjeita.

Valssatuille ja hitsatuille profiileille sovelletaan seuraavaa menetelmää, joka perustuu standardiin EN 1993-1-5.

Jäykistämättömien ja jäykistettyjen uumien kestävyys mitoitusarvo poikittaisen pistekuorman aiheuttaman paikallisen lommahduksen suhteen lasketaan kaavasta:

$$F_{Rd} = f_{yw} L_{eff} t_w / \gamma_{M1} \quad (5.24)$$

missä:

t_w on uuman paksuus;

f_{yw} on uuman myötöraja;

L_{eff} on tehollinen pituus kestävyys laskemiseksi poikittaisille pistekuormille, joka lasketaan kaavasta:

$$L_{eff} = \chi_F l_y$$

missä:

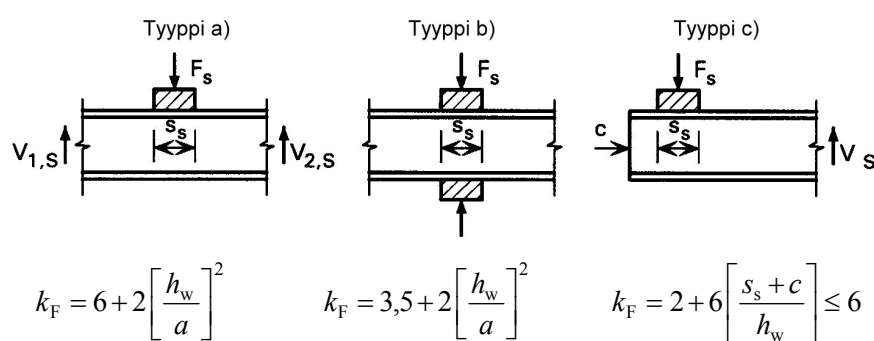
l_y on kyseeseen tulevaan jäykän tukipinnan pituuteen s_s liittyvä tehollinen kuormituspituus;

χ_F on paikallisen lommahduksen huomioon ottava pienennystekijä.

Lisäksi otetaan huomioon poikittaisen voiman vaikutus sauvan taivutuskestävyyteen.

L_{eff} :n laskemiseksi erotellaan kolme kuormitustyyppiä seuraavasti:

- Voimat vaikuttavat yhden laipan kautta ja niitä vastustavat uuman leikkausvoimat (kuva 5.4a);
- Voimat vaikuttavat yhteensä laippaan ja ne siirtyvät uuman kautta suoraan toiseen laippaan (kuva 5.4b)
- Voimat vaikuttavat yhden laipan kautta lähellä sauvan jäykistämätöntä päätä (kuva 5.4c).

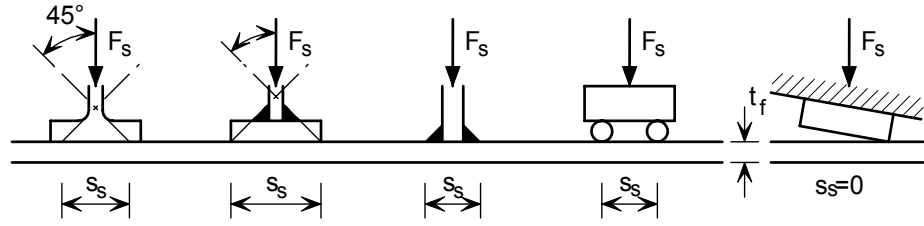


Kuva 5.4 Lommahduskertoimet eri kuormitustapauksille

Jäykän tukipinnan pituus

Laipan jäykän tukipinnan pituus s_s tarkoittaa leveyttä, jolla pituudella vaikuttava voima jakaantuu tehollisesti ja se voidaan määrittää olettamalla, että vaikuttava voima jakaantuu kaltevuudessa 1:1 ehjän teräksen läpi, ks. kuva 5.5. s_s saa olla enintään h_w :n suuruinen.

Jos useita pistekuormia on lähellä toisiaan, kestävyys tarkastetaan jokaiselle kuormalle erikseen sekä kokonaiskuormalle, jolloin s_s :n arvoksi valitaan äärimmäisten pistekuormien keskilinjojen välinen etäisyys.



Kuva 5.5 Jäykän tukipinnan pituus

Tehollinen kuormituspituus

Tehollinen kuormituspituus l_y lasketaan kahden dimensiottoman parametrin m_1 ja m_2 avulla seuraavasti:

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} \quad (5.25)$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_F > 0,5 \quad (5.26a)$$

$$m_2 = 0 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \quad (5.26b)$$

Kuvan 5.4 tapauksissa a) ja b) l_y lasketaan seuraavasti:

$$l_y = s_s + 2t_f \left[1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right] \quad (5.27)$$

mutta l_y ei saa olla kahden vierekkäisen pystyjäykisteen välistä etäisyyttä suurempi.

Tapaukselle c) l_y on pienin kaavojen (5.28) ja (5.29) antamista arvoista. Jos voiman siirtävä rakenneosa ei liity tasaisesti sauvaan (ks. kuvan 5.5 oikeanpuoleisin tapaus), s_s :n arvoksi kaavassa (5.30) valitaan nolla.

$$l_y = l_e + t_f \left[\sqrt{\frac{m_1}{2} + \left[\frac{l_e}{t_f} \right]^2} + m_2 \right] \quad (5.28)$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \quad (5.29)$$

missä l_e lasketaan kaavasta:

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \quad (5.30)$$

Tehollinen pituus kestävyuden laskemiseksi

Tehollinen pituus kestävyuden määrittämiseksi lasketaan kaavasta:

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y \quad (5.31)$$

missä:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0 \quad (5.32)$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{\text{cr}}}} \quad (5.33)$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \quad (5.34)$$

missä:

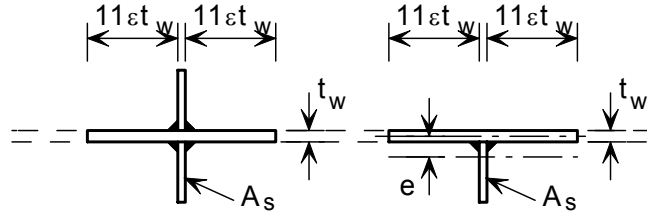
k_F on kuormitustapauksesta riippuva lommahduskerroin (ks. kuva 5.4).

Tulee huomata, että m_2 :n laskemiseksi $\bar{\lambda}_F$:lle tulee olettaa jokin arvo. Kun $\bar{\lambda}_F$ on laskettu, voi olla tarvetta laskea m_2 :n arvo uudestaan.

5.4.5 Poikittaisjäykisteet

Tukien ja suurten pistekuormien kohdalla olevien pystyjäykisteiden tulisi mieluummin olla kaksipuolisia ja symmetrisiä uuman keskilinjän suhteen. Nämä jäykisteet mitoitetaan paikalliselle myötäämiselle ja lommahdukselle. Uuman välijäykisteet, joihin ei kohdistu ulkoisia poikittaisia voimia tarkistetaan nurjahdukselle.

Nurjahduslaskelmissa käytettävään jäykisteen teholliseen pinta-alaan lasketaan mukaan osa uumaan kuvan 5.6 mukaan. Sauvan päissä (tai uuman aukon kohdalla) poikkileikkaukseen mukaan laskettava uuman osa saa olla enintään käytettävissä olevan todellisen mitan suuruinen.



Kuva 5.6 Nurjahduslaskelmissa käytettävä jäykisteen poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

Symmetristen jäykisteiden nurjahduskestävyys lasketaan kohdan 5.3.3 mukaan käyttämällä arvoja $\alpha = 0,49$ ja $\bar{\lambda}_0 = 0,2$. Nurjahduspituus l valitaan reunaehdot huomioon ottaen tarkoituksenmukaiseksi, mutta kuitenkin vähintään $0,75h_w$, kun jäykisteen molemmat päät kiinnitetty poikkisuunnassa. Jos reunaehdot antavat pienemmän tuennan käytetään suurempaa l :n arvoa. Ristinmuotoisen sauvan vääntö-nurjahdus tarkistetaan myös.

Tukien ja sellaisten välijäykisteiden kohdilla, joihin vaikuttaa merkittävä ulkoinen voima, jäykisteen nurjahduskestävyyden tulee olla suurempi kuin tukireaktio tai em. vaikuttava voima. Muiden välijäykisteiden kohdalla jäykisteen puristusvoima N_{Ed} lasketaan kaavasta:

$$N_{Ed} = V_{Ed} - \frac{1}{\bar{\lambda}_w^2} \frac{f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.35)$$

missä:

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo.

Em. kaavaa käytettäessä oletetaan, että tarkasteltava jäykiste poistetaan.

Välijäykisteen jäyhyysmomentin I_s tulee täyttää seuraavat ehdot:

$$a/h_w < \sqrt{2}, \quad I_{st} \geq 1,5 h_w^3 t^3 / a^2 \quad (5.36)$$

$$a/h_w \geq \sqrt{2}, \quad I_{st} \geq 0,75 h_w t^3 \quad (5.37)$$

5.4.6 Taipumien laskeminen

Taipumat lasketaan käyttörajan kuormitusyhdistelmille.

Palkin taipuma (kun palkissa ei ole plastisia niveliä) lasketaan käyttäen tavanomaista taivutusteoriaa paitsi, että alkukimmokertoimen sijasta käytetään sekanttimoduulia. Sekanttimoduuli riippuu palkin jännitystasosta ja sekanttimoduulin arvo voidaan laskea liitteen C mukaan. Tämä on yksinkertaistettu menetelmä, joka on tarkka taipumia laskettaessa, kun sekanttimoduuli lasketaan sauvassa vaikuttavan suurimman jännityksen perusteella ja kun suurin jännitys ei ylitä 65 % 0,2 rajan arvosta. Suuremmilla jännitystasoilla menetelmä on hyvin konservatiivinen ja silloin tulee käyttää tarkempia menetelmiä.

Poikkileikkausluokan 4 ja/tai sauvoissa, joissa leikkausviive pitää ottaa huomioon, laskelmissa käytetään tehollista poikkileikkausta. Ensimmäisenä approksimaationa on tarkoituksenmukaista käyttää tehollista poikkileikkausta, joka perustuu kohdan 4.4.1 ja/tai kohdan 4.4.2 mukaan laskettuun teholliseen poikkileikkaukseen. Tarkemmin laskettaessa on mahdollista käyttää tehollista poikkileikkausta, joka perustuu todelliseen jännitykseen perustuviin tehollisiin leveyksiin. Jännitykset lasketaan tällöin kohdan 4.4.1 (ei kohdan 4.4.2) mukaan käyttäen arvoa:

$$\varepsilon = \left[\frac{235}{\sigma} \frac{E}{210000} \right]^{1/2} \quad (5.38)$$

missä:

- σ on tehollisen poikkileikkauksen mukaan laskettu jännitys tarkasteltavassa kohdassa;
- E kimmokerroin.

5.5 Sauvat, joihin kohdistuu samanaikaisia aksiaalisia kuormia ja taivutusmomentteja

5.5.1 Aksiaalinen veto ja taivutus

Sauvat, joihin kohdistuu samanaikainen veto ja taivutus mitoitetaan kiepahdukselle kohdan 5.4.2 mukaan siten, että pelkästään taivutusmomentti vaikuttaa. Sauvat tarkistetaan myös aksiaalisen voiman ja taivutuksen yhteisvaikutukselle suurimman taivutusmomentin ja aksiaalisen voiman vaikutuskohdassa. Seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (5.39)$$

missä:

- N_{Ed} on aksiaalisen vetovoiman mitoitusarvo kriittisessä kohdassa;
- N_{Rd} on sauvan vetokestävyyden mitoitusarvo;
- $M_{y,Ed}$ on taivutusmomentin mitoitusarvo vahvemman akselin suhteen kriittisessä kohdassa;
- $M_{z,Ed}$ on taivutusmomentin mitoitusarvo heikomman akselin suhteen kriittisessä kohdassa;

$M_{y,Rd}$ on taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo vahvemman akselin suhteen, kun aksiaalista kuormaa ei ole ja ko. arvo sisältää leikkausvoiman vaikutuksesta aiheutuvan mahdollisen pienentämisen (ks. kohta 4.7.4);

$M_{z,Rd}$ on taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo heikomman akselin suhteen, kun aksiaalista kuormaa ei ole ja ko. arvo sisältää leikkausvoiman vaikutuksesta aiheutuvan mahdollisen pienentämisen (ks. kohta 4.7.4);

5.5.2 Aksiaalinen puristus ja taivutus

Poikkileikkauksen kestävyys tarkastamisen (tarkistaminen tehdään sauvan pituusakselin kaikissa poikkileikkauksissa, ks. 4.7.6) ja kohdan 5.4 mukaisten yleisten vaatimusten lisäksi puristavan voiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus tulee tarkistaa.

Aksiaalinen puristus ja vahvemman akselin suhteen tapahtuva taivutus:

Nurjahduksen välttämiseksi tarkistetaan seuraava ehto, kun taivutus vaikuttaa vahvemman akselin suhteen:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.40)$$

Heikomman akselin suhteen tapahtuvan nurjahduksen välttämiseksi tarkistetaan ehto sauvoille, jotka voivat kiepahtaa:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min l}} + k_{LT} \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{b,Rd}} \right) \leq 1 \quad (5.41)$$

Aksiaalinen puristus ja heikomman akselin suhteen tapahtuva taivutus:

Nurjahduksen välttämiseksi heikomman akselin suhteen tarkistetaan ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_z \left(\frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.42)$$

Aksiaalinen puristus ja kahden akselin suhteen tapahtuva taivutus:

Kaikkien sauvojen tulee täyttää ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) + k_z \left(\frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.43)$$

Sauvojen, jotka voivat kiepahtaa, tulee täyttää myös ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min l}} + k_{LT} \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{b,Rd}} \right) + k_z \left(\frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.44)$$

Edellä olevissa kaavoissa:

e_{Ny} ja e_{Nz} tarkoittavat neutraaliakselin siirtymiä, kun poikkileikkaukseen kohdistuu tasan jakautunut puristus;

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ ja $M_{z,Ed}$ tarkoittavat puristusvoiman mitoitusarvoa sekä suurimman taivutusmomentin mitoitusarvoja y- ja z-akselien suhteen;

$(N_{b,Rd})_{\min}$ on $N_{b,Rd}$:n pienin arvo seuraavissa neljässä nurjahdustapauksessa: taivutusnurjahdus y-akselin suhteen, taivutusnurjahdus z-akselin suhteen, vääntönurjahdus ja taivutusvääntönurjahdus (ks. kohdat 5.3.3 ja 5.3.4)

$(N_{b,Rd})_{\min 1}$ on $N_{b,Rd}$:n pienin arvo seuraavissa kolmessa nurjahdustapauksessa: taivutusnurjahdus z-akselin suhteen, vääntönurjahdus ja taivutusvääntönurjahdus (ks. kohdat 5.3.3 ja 5.3.4)

$\beta_{W,y}$ ja $\beta_{W,z}$ ovat β_W :n arvot y ja z akselien suhteen, missä:

$$\begin{aligned}\beta_W &= 1 \text{ poikkileikkausluokissa 1 ja 2;} \\ &= W_{el}/W_{pl} \text{ poikkileikkausluokassa 3;} \\ &= W_{eff}/W_{pl} \text{ poikkileikkausluokassa 4;}\end{aligned}$$

$W_{pl,y}$ ja $W_{pl,z}$ ovat plastisuusteorian mukaiset taivutusvastukset y- ja z-akselien suhteen;

$M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyys (ks 5.4.2).

k_y , k_z ja k_{LT} ovat yhteisvaikutustekijöitä:

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \text{ mutta } 1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_z = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_z - 0,5) \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}} \text{ mutta } 1,2 \leq k_z \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}}$$

$$k_{LT} = 1,0 .$$

Kansallisessa liitteessä voidaan esittää muita yhteisvaikutusehtoja vaihtoehtona edellisille ehdoille.

Kulmateräksille edellisissä kaavoissa y- ja z- akselien sijasta käytetään akseleita u ja v.

6 KIINNITYSTEN JA LIITOSTEN SUUNNITTELU

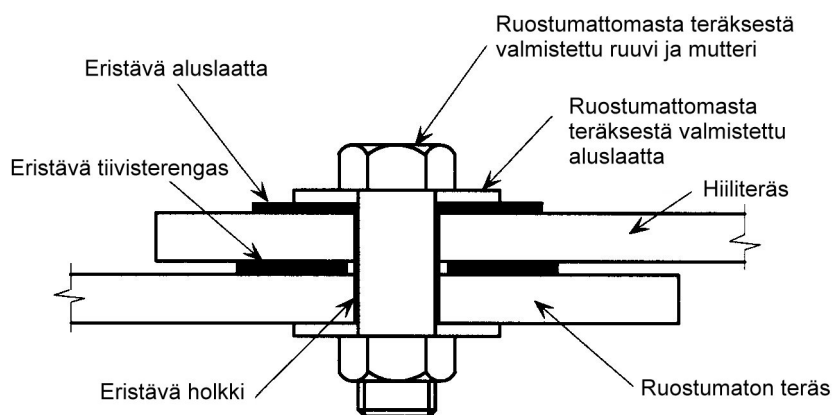
6.1 Yleiset ohjeet

6.1.1 Säilyvyys

Erityisesti kiinnitysten suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota ruostumattoman teräksen korroosiokestävyyden säilyttämiseksi.

Tämä koskee erityisesti kiinnityksiä, jotka voivat kostua jostakin syystä, esim. sään, veden roiskumisen, veteen upottamisen, kondensaation yms. takia. Kiinnityksen siirtämistä kosteutta aiheuttavasta kohdasta muualle tulee harkita korroosion välttämiseksi. Vaihtoehtoisesti voi olla mahdollista eliminoida kosteuden lähde, esim. kondensoitumisriskin vähentäminen riittävällä ilmastoinnilla tai varmistamalla, että rakennetta ympäröivä lämpötila pysyy kastepisteen yläpuolella.

Jos hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen välisen kiinnityksen kostumista ei voida välttää, otetaan metalliparikorroosion mahdollisuus huomioon, ks. 3.7.2. Hiiliteräksestä tehdyn ruuvin ja ruostumattoman liitettävän osan liittämistä toisiinsa tulee aina välttää. Ruuviliitoksissa, jotka ovat alttiit korroosiolle, hiiliteräs ja ruostumaton teräs tulee eristää toisistaan sähköisen kosketuksen välttämiseksi. Tämä saadaan aikaan käyttämällä eristäviä aluslaattoja ja mahdollisesti holkkeja. Tyypillinen sopiva yksityiskohta esitetään kuvassa 6.1. Off-shore rakenteissa viranomaiset saattavat vaatia em. tyyppisiä ratkaisuja. Suositellaan, että suunnittelija neuvottelee riittävän ajoissa viranomaisen kanssa yksikäsitteisten vaatimusten selvittämiseksi.



Kuva 6.1 Tyypillinen yksityiskohta erilaisten aineiden liittämiseksi (metalliparikorroosion välttäminen)

Hiiliterästen ja ruostumattomien terästen välisissä hitsausliitoksissa suositellaan yleensä, että hiiliteräkseen käytettävä maalausjärjestelmä ulotetaan hitsauksen yli ja että se kattaa tietyn pinta-alan ruostumattomasta teräksestä.

Tulee olla huolellinen valittaessa materiaaleja annettuun ympäristöön ruuvikiinnitysten rakokorroosion välttämiseksi, ks. 3.7.2.

Hitsaukseen liittyvä kuumeneminen ja jäähtyminen vaikuttavat kaikkien ruostumattomien terästen mikrorakenteeseen (toisilla teräslajeilla tämä vaikutus on suu-

rempi kuin toisilla) ja tämä on erityisen tärkeä ottaa huomioon duplex-teräksillä. On tärkeää käyttää sopivia hitsausmenetelmiä ja hitsauslisäaineita ja että pätevöityt hitsaajat suorittavat hitsaamisen. Tarkempia ohjeita esitetään kohdassa 10.4.

6.1.2 Suunnitteluoletukset

Liitokset voidaan mitoittaa jakamalla sisäiset voimat ja momentit kiinnityksessä realistisella tavalla ottaen huomioon liitettävien osien suhteellinen jäykkyys. Sisäisten voimien ja momenttien tulee olla tasapainossa vaikuttavien voimien ja momenttien kanssa. Jokainen kiinnityksen osa, jonka oletetaan siirtävän voimia, mitoitetaan analyysin mukaisille voimille ja momenteille ja liitettävillä osilla tulee olla riittävä muodonmuutoskyky.

6.1.3 Leikkauspisteet ja jatkokset

Liitoksessa kohtaavat sauvat suunnitellaan yleensä niin, että niiden painopisteakselit leikkaavat yhdessä pisteessä. Jos leikkauspisteessä on epäkeskeisyyttä, sauvat ja liitokset suunnitellaan syntyville momenteille. Kulmaterästen ja T-terästen ruuvi-kiinnityksissä, joissa käytetään vähintään kahta ruuvia, kulmateräksessä ja T-teräksessä olevien ruuvien asentamislinjoja voidaan pitää painopisteakseleina.

Palkkien jatkokset sijoitetaan mahdollisimman lähelle momentin nollakohtia. Pilarin jatkoksissa otetaan huomioon toisen kertaluvun vaikutukset (P- δ -vaikutus).

6.1.4 Muuta yleistä huomioonotettavaa

Jos kiinnitykseen kohdistuu isku, värähtely tai toistuva merkittävä jännitysvaihtelu, suositellaan hitsausliitoksia. Nämä kiinnitykset suunnitellaan myös väsymiselle (ks. luku 8).

Kaikkien liitosten ja jatkosten suunnittelussa otetaan huomioon valmistus- ja asennusmahdollisuudet. Seuraaviin asioihin tulee kiinnittää huomiota:

- standardisoitujen yksityiskohtien käyttö;
- turvallisen asennuksen vaatima tila;
- kiinnittimien kiristämisen vaatima tila;
- luoksepäästävyys hitsattaessa;
- hitsausmenetelmien asettamat vaatimukset;
- kulma- ja pituustoleranssien vaikutukset osien yhteensovitukseen.

Austeniittisten ruostumattomien terästen hitsaus aiheuttaa suurempia hitsausmuodonmuutoksia hiiliteräkseseen verrattuna (ks. 10.4.4). Tulee myös kiinnittää huomiota valmistuksen jälkeisiin rakenteiden tarkastus- ja huoltovaatimuksiin.

6.2 Ruuvikiinnitykset

6.2.1 Yleistä

Kohdan 6.2 ohjeita sovelletaan ruuvikiinnityksiin, kun ruuviin kohdistuu leikkaus- tai vetorasitus tai niiden yhteisvaikutus. Yleensä sekä ruuvin kannan että mutterin alla käytetään aluslaattaa. Ohjeita ruuvien ja mutterien materiaalivalinnalle esitetään kohdissa 3.1.2 ja 10.5.

Kiinnitykseen kohdistuva leikkausrasitus siirtyy ruuvien ja liitettävien osien välisen reunapuristuksen välityksellä. Tässä käsikirjassa ei esitetä ohjeita kitkaliitoksille, ks. kuitenkin kohta 6.2.2.

Kiinnityksen kestävyys on pienempi seuraavista arvoista: liitettävien osien perusteella laskettu kestävyys (ks. 6.2.3) ja kiinnittimien perusteella laskettu kestävyys (6.2.4).

Ruuviliitosten palautumattomien muodonmuutosten välttämiseksi ruuvien ja netto-poikkileikkauksen jännitykset käyttörajatilan kuormilla rajoitetaan myötörajaan.

6.2.2 Esijännitetyt ruuvit

Ruostumattomia ruuveja voidaan esijännittää edellyttäen, että käytetään tarkoituksenmukaista esijännitystekniikkaa. Jos ruostumattomia ruuveja kiristetään tiukaksi, kitkasyöpyminen voi olla ongelma. Ruuveja esijännitettäessä otetaan huomioon ajasta riippuvat jännitysrelaksaation (stress relaxation) vaikutukset. Kiinnityksiä ei saa suunnitella liukumisen kestäviksi murto- eikä käyttörajatilassa ellei niiden hyväksyttävyyttä voida osoittaa kokeellisesti ko. sovellutuksessa.

6.2.3 Liitettävät osat

Reiät

Reiät voidaan tehdä joko poraamalla tai lävistämällä. Lävistämiseen liittyvä kylmämuokkaus voi kasvattaa korroosion mahdollisuutta ja sen takia lävistämällä tehtyjä reikiä ei tule käyttää, kun rakenne on aggressiivisessa ympäristössä (esim. syövyttävä teollisuus- tai meri-ilmastot).

Standardin mukaisten reikiä suurimmat välykset ovat:

- 1 mm M12 ja M14 ruuveille (M14 ei ole standardin mukainen koko);
- 2 mm M16 - M24 ruuveille;
- 3 mm M27 ja sitä suuremmille ruuveille.

Reikien sijainti

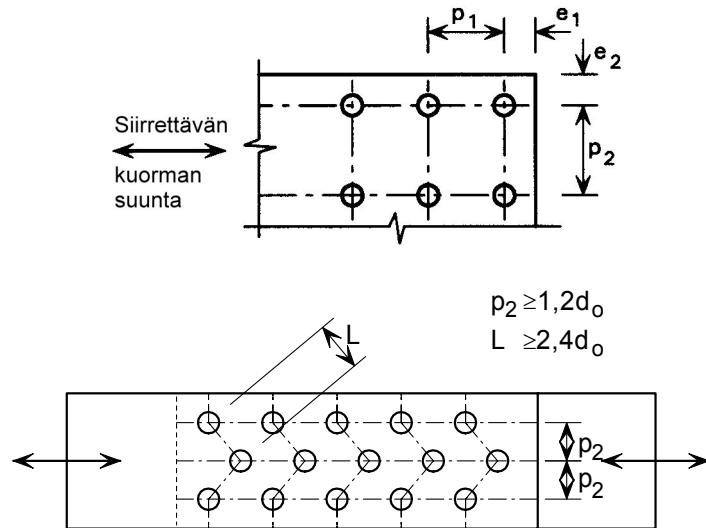
Reunaetäisyys on reiän keskipisteen ja vaikuttavan voiman suuntaisen levyn reunan välinen kohtisuora etäisyys. Päätyetäisyys on reiän keskipisteen ja vaikuttavaa voimaa vastaan kohtisuorassa olevan levyn reunan välinen etäisyys.

Päätyetäisyyden e_1 ja reunaetäisyyden e_2 (ks. kuva 6.2) minimiarvo on $1,2d_0$, missä d_0 on ruuvin reiän halkaisija. Riittävän reunapuristuskestävyyden saavuttamiseksi päätyetäisyyden tulee yleensä olla minimiarvoa suurempi, ks. jäljempänä.

Pääty- ja reunaetäisyyden suurin arvo on $4t + 40$ mm, missä t (mm) on ohuimman liitettävän uloimman osan paksuus.

Ruuvien keskeltä keskelle välin p_1 (ks. kuva 6.2) minimiarvo on $2,2d_0$ voiman suunnassa. Vastaava minimiarvo voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa p_2 on $2,4d_0$.

Liitettävien puristettujen levyjen lommahdus kaikissa suunnissa ruuvien välillä otetaan huomioon, ks. standardi EN 1993-1-8.



Kuva 6.2 Reikien sijainnin merkinnät

Limitettyjen ruuvirivien tapauksessa, yhdensuuntaisten ruuvirivien välisen etäisyyden minimiarvona voidaan käyttää arvoa $p_2 = 1,2d_0$, jos limitetyssä linjassa olevan minkä tahansa kahden ruuvin välinen minimietäisyys L on vähintään $2,4d_0$, ks. kuva 6.2.

Reunapuristuskestävyys

Ruostumattomia teräksiä käytettäessä ruuvikiinnitysten tarkoituksenmukainen kestävyys määräytyy yleensä käyttörajoituksen kriteerien perusteella, jolloin reiän venymää käyttörajoituksen kuormituksilla rajoitetaan. Erillisen käyttörajoitustarkastelun välttämiseksi reiän venyminen otetaan huomioon murtorajoituksen kuormia käytettäessä käyttämällä pienennettyä vetomurtolujuuden arvoa $f_{u,red}$ seuraavasti:

$$f_{u,red} = 0,5f_y + 0,6f_u, \text{ mutta } \leq f_u \quad (6.1)$$

$F_{b,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,red} d t}{\gamma_{M2}} \quad (6.2)$$

missä α_b on pienin arvoista:

- α_d
- $f_{ub} / f_{u,red}$
- 1,0

missä:

d on ruuvin halkaisija;

t on levyn paksuus;

f_{ub} on liitettävän levyn vetomurtolujuuden ominaisarvo (käytetään vetomurtolujuuden minimiarvoa, ks. taulukko 3.1).

$\alpha_d = e_1 / 3d_0$ päädyn ruuveille siirrettävän voiman suunnassa;

$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ sisemmille ruuveille siirrettävän voiman suunnassa;

k_1 on pienempi arvoista $2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7$ tai 2,5 reunassa oleville ruuveille koh-tisuorassa suunnassa vaikuttavan voiman suhteen;

k_1 on pienempi arvoista $1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7$ tai 2,5 sisemmille ruuveille koh-tisuorassa suunnassa vaikuttavan voiman suhteen.

Yksileikkeisissä lattaterästen päällekkäisliitoksissa, joissa on vain yksi ruuvi tai yksi ruuvirivi, joka on suorassa kulmassa vaikuttavan jännityksen suhteen, asetetaan aluslaatta sekä ruuvien kannan että mutterin alle. Reunapuristuskestävyys $F_{b,Rd}$ ruuvia kohti rajoitetaan arvoon:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 f_{u,red} d t}{\gamma_{M2}} \quad (6.3)$$

Kiinnitinryhmän kestävyys voidaan määrittää yksittäisten kiinnittimien reunapuris-tusten $F_{b,Rd}$ summana edellyttäen, että yksittäisen kiinnittimen leikkauskestävyyden mitoitusarvo $F_{v,Rd}$ on vähintään yhtä suuri kuin vastaava reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo $F_{b,Rd}$. Muussa tapauksessa kiinnitinryhmän kestävyys lasketaan pie-nimmän yksittäisen kiinnittimen kestävyuden perusteella kertomalla ko. arvo kiin-nittimien lukumäärällä.

Vetokestävyys

Liitettävän osan vetokestävyys on pienempi arvoista:

a) Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyys:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.4)$$

b) nettopoikkileikkauksen kestävyys kiinnittimien reikien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.5)$$

missä eri termit ovat kohdan 4.7.2 mukaisia.

Nettopoikkileikkauksen käyttöön perustuvaa kaavaa käytetään vain, kun sekä ruuvien kannan että mutterin alla on aluslaatta.

Vaadittaessa sitkeää käyttäytymistä bruttopoikkileikkauksen myötäämisen perus-teella lasketun kestävyuden tulee olla pienempi kuin nettopinta-alan perusteella las-ketun kestävyuden. Sitkeysvaatimukset ja vaatimus kiertymiskyvylle esitetään standardissa EN 1993-1-8. Maanjäristysmitoitusta koskevat vaatimukset esitetään standardissa EN 1998.

Palamurtuminen

Voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 ohjeita.

Yhdestä kyljestä kiinnitetyt kulmateräket tai muut epäsymmetrisesti kiinnitetyt vedetyt sauvat

Kiinnitysten epäkeskeisyys ja ruuvien päätyetäisyyksien ja keskiöetäisyyksien vai-kutukset otetaan huomioon määritettäessä epäsymmetristen profiilien kestävyyttä

sekä epäsymmetrisesti kiinnitettyjen symmetristen profiilien kestävyyttä, kuten esim. kiinnitettäessä kulmateräksiä yhdestä kyljestä.

Yhdestä kyljestä yhdellä ruuvirivillä kiinnitetyt kulmateräket voidaan käsitellä keskeisesti kuormitettuina ja nettopoikkileikkauksen mitoituskestävyys lasketaan seuraavasti:

$$\text{Yksi ruuvi} \quad N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.6)$$

$$\text{Kaksi ruuvia} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.7)$$

$$\text{3 tai useampia ruuveja:} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.8)$$

missä:

β_2 ja β_3 ovat etäisyydestä p_1 taulukon 6.1 mukaan riippuvia pienennystekijöitä. β :n arvot p_1 :n väliarvoille voidaan interpoloida lineaarisesti.

A_{net} on kulmateräksen nettopinta-ala. Pienemästä kyljestä kiinnitetylle erikylkiselle kulmateräkselle pinta-alaksi A_{net} valitaan ekvivalentin tasakylkisen kulmateräksen nettopinta-ala, jolloin ekvivalentti kulmateräs tarkoittaa erikylkisen kulmateräksen pienemmän kyljen perusteella määritettyä tapautta.

Taulukko 6.1 Pienennystekijät β_2 ja β_3

Kiinnitys	Tekijä	Keskiöetäisyys p_1	
		$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
2 ruuvia	β_2	0,4	0,7
Vähintään 3 ruuvia	β_3	0,5	0,7

6.2.4 Kiinnittimet

Nettopinta-alat

Laskettaessa ruuvien vetokestävyyttä käytetään ruuvien pinta-alana tuotestandardin mukaista jännityspoikkipinta-alaa.

Ruuvien leikkauskestävyyttä laskettaessa voidaan käyttää kierteettömän varren pinta-alaa, jos kierteetön osa ei ole leikkaustasossa. Tällöin tulee ottaa huomioon se mahdollisuus, että ruuvit voidaan asentaa paikoilleen molemmilta puolin. Muissa tapauksissa käytetään ruuvien jännityspoikkipinta-alaa.

Leikkauskestävyys

Ruuvikiinnityksen leikkauskestävyys riippuu leikkaustasojen lukumäärästä ja niiden sijainnista ruuvien varren suhteen. Kun vetoa ei ole, ruuvien leikkauskestävyys leikkaustasoa kohti voidaan laskea seuraavasti:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (6.9)$$

missä:

A on ruuvien varren pinta-ala, kun ruuvien kierteet eivät ole leikkaustasossa ja ruuvien jännityspoikkipinta-ala, kun ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa;

f_{ub} on ruuvien vetomurtolujuus.

α :n arvo voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Standardin EN 1993-1-4 mukaiset suositeltavat arvot ovat:

- ruuvien kierteet eivät ole leikkaustasossa: $\alpha = 0,6$
- ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa: $\alpha = 0,5$.

Vetokestävyys

Ruuvien vetokestävyuden mitoitusarvo $F_{t,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (6.10)$$

missä:

$k_2 = 0,63$ uppokantaisille ruuveille, muissa tapauksissa $k_2 = 0,9$.

Liitoksissa, joihin kohdistuu ulkoinen vetovoima, voi syntyä vipuvoimia, jotka tulee ottaa huomioon. Ohjeita vipuvoimien laskemiseksi esitetään standardissa EN 1993-1-8.

Yhdistetty leikkaus ja veto

Kun ruuviin kohdistuu samanaikainen leikkausvoiman $F_{v,Ed}$ ja vetovoima (vipuvoima mukaanlukien) $F_{t,Ed}$ tarkistetaan niiden yhteisvaikutus seuraavasti:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.11)$$

missä $F_{v,Rd}$ ja $F_{t,Rd}$ on esitetty edellä. Lisäksi tarkistetaan, että vaikuttava vetovoima (vipuvoima mukaanlukien) on pienempi kuin vetovoimakestävyys.

Pitkät liitokset ja paksut liitokset

Epätavallisten pitkien kiinnitysten (500 mm tai vähintään 15 kertaa ruuvien halkaisija) tapauksessa sekä jos kiinnityspaksuus (liitettävien osien kokonaispaksuus) ylittää arvon 5 kertaa ruuvien halkaisija, kiinnityksen leikkauskestävyyttä pienennetään. Ruostumattomia teräksiä koskevien tarkempien ohjeiden puuttuessa suositellaan käytettäväksi hiiliteräkselle laadittuja standardin EN 1993-1-8 mukaisia ohjeita.

6.3 Ohutlevyjen mekaaniset kiinnittimet

Ruostumattomaan teräkseen itsekierteittäville tai -porautuvilla ruuveilla tehdyt kiinnitykset voidaan mitoittaa standardin EN 1993-1-3 mukaan lukuun ottamatta ulosvetolujuutta, joka tulee määrittää kokeellisesti. Ruuvien kiinnileikkautumisen tai ruuvien kiertien rikkoutumisen välttämiseksi ruuvien kyky porata ja muodostaa kiertet ruostumattomaan teräkseen tulee osoittaa kokeellisesti ellei riittävää kokeusta ole. Kaavan (6.2) mukaisesti mitoituksessa käytetään pienennettyä vetomurtolujuutta $f_{u,red}$ (ks. kaava (6.1)) vetomurtolujuuden f_u sijasta.

6.4 Hitsauskiinnitykset

6.4.1 Yleistä

Oleellista on, että käytetään oikeita hitsausprosesseja ja että käytetään perusaineen kanssa yhteensopivia lisäaineita ja että pätevöityneet hitsaajat tekevät työn, ks. kohta 10.4. Tämä on tärkeä hitsin riittävän lujuuden ja oikean muodon saavuttamiseksi sekä hitsin ja ympäröivän perusaineen korroosiokestävyyden säilymiseksi.

Seuraavia ohjeita sovelletaan täysin ja osittain läpihitsattuihin päittäishitseihin sekä pienahitseihin, jotka hitsataan kaarihitsausmenetelmillä, kuten:

Menetelmän numero	Menetelmän nimi
111	Puikkohitsaus
121	Jauhekaarihitsaus
122	Jauhekaarinauhahitsaus
131	MIG-hitsaus
135	MAG-hitsaus
137	MIG-täytelankahitsaus
141	TIG-hitsaus
15	Plasmahitsaus

Menetelmien numerot ovat EN ISO 4063 mukaisia.

Yhteensopivat hitsausaineet valitaan siten, että niiden myötöraja ja murtolujuus ylittävät perusaineen vastaavat arvot. (Alilujat hitsausaineet, ks. kohta 6.4.4). Taulukossa 6.2 esitetään teräslajien ja erilaisten hitsausaineiden yhteensopivuus ja taulukossa 6.3 esitetään näiden hitsausaineiden mekaaniset ominaisuudet.

Taulukko 6.2 Yhteensopivat teräslajit ja hitsausaineet

Perusaine Numero	Hitsausaineet Hitsauspuikot EN 1600	Hitsauslangat ja hitsaussauvat EN 12072	Ydintäytelangat EN 12073
1.4301	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4306	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4307	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4318	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4541	E 19 9 Nb	G 19 9 Nb	T 19 9 Nb
1.4401	E 19 12 2	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
1.4404	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
1.4571	E 19 12 3 Nb	G 19 12 3 Nb	T 19 12 3 Nb
1.4362	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
1.4462	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L

Taulukko 6.3 Hitsatun hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet standardien EN 1600, EN 12072 ja EN 12073 mukaan

Hitsiaine	Myötöraja N/mm ²	Vetomurtolujuus N/mm ²
E 19 9	350	550
E/G/T 19 9 L	320	510
E/G/T 19 9 Nb	350	550
E 19 12 2	350	550
E/G/T 19 12 3 L	320	510
E/G/T 19 12 3 Nb	350	550
E 25 7 2 N L	500	700
G 25 7 2 L	500	700
T 22 9 3 N L	450	550

Erityistä huomiota tulee kiinnittää tapaukseen, kun käytetään kokeisiin perustuvaa 0,2-rajaa mitoituksen perusteena (ks. kohta 3.2.4 (ii)). Ruostumattoman teräksen ja hitsauslisäaineiden valmistajat neuvovat tarkoituksenmukaisen hitsauslisäaineen valinnassa. Hitsausmetallin tulee olla vähintään yhtä jaloa kuin perusaine.

Katkopienahitsejä ja ei-jatkuvia osittain läpihitsattuja päittäishitsejä tulee välttää korroosiomahdollisuuden pienentämiseksi lukuun ottamatta lieviä ympäristöolosuhteita. Katkonaisia päittäishitsejä tulee käyttää varoen meri-ilmastossa tai voimakkaasti saastuneissa ympäristöissä erityisesti tilanteissa, joissa voi esiintyä kapillaarisuutta.

6.4.2 Pienahitsit

Soveltamisalue

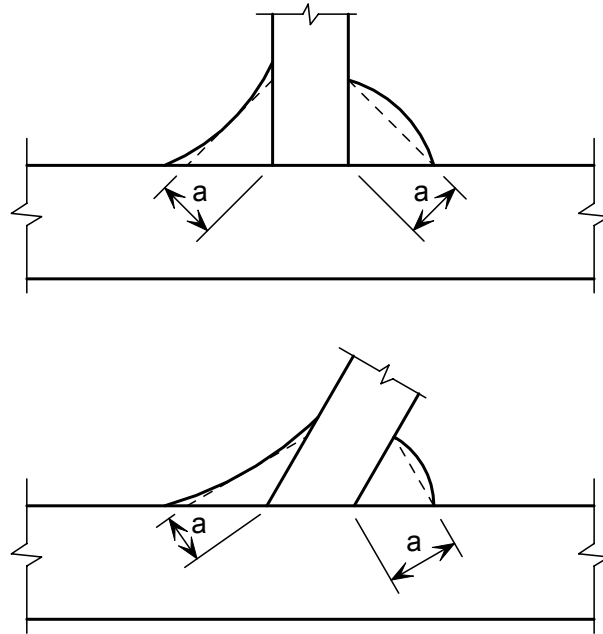
Pienahitsejä voidaan käyttää osien liittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on 60° - 120°. Jos em. kulma on pienempi kuin 60°, pienahitsejä voidaan käyttää, mutta ne mitoitetaan silloin osittain läpihitsattuina päittäishitseinä. Kulman ollessa yli 120° ei saa luottaa siihen, että hitsit siirtävät voimia.

Pienahitsiä ei saa käyttää tapauksissa, joissa siihen kohdistuu taivutusmomentti hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen siten, että se aiheuttaa vetoa hitsin juureen.

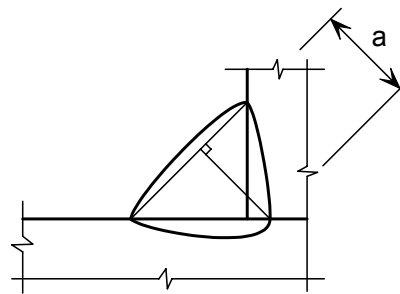
Tehollinen pituus ja a-mitta

Pienahitsin teholliseksi pituudeksi valitaan täysikokoisen hitsin kokonaispituus. Hitsejä, joiden tehollinen pituus on lyhyempi kuin 40 mm tai kuusi kertaa hitsin a-mitta, ei käsitellä voimia siirtävinä hitseinä.

Pienahitsin efektiivinen a-mitta on suurimman kolmion (joko tasakylkinen tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan sisään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän kolmion uloimpaan pintaan nähden, ks. kuva 6.3. Pienahitsin tunkeumaa, ks. kuva 6.4 voidaan hyödyntää, jos menetelmäkokeet osoittavat, että vaadittu tunkeuma saavutetaan systemaattisesti.



Kuva 6.3 Pienahitsin a -mitta



Kuva 6.4 Pienahitsin a -mitta, kun tunkeumaa käytetään hyväksi

Mitoittava jännitys ja leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Mitoittava jännitys lasketaan kaikkien hitsiin kohdistuvien voimien ja momenttien vektoriaalisena summana. Mitoittava jännitys lasketaan hitsin tehollisen pituuden ja a -mitan muodostamaa pinta-alaa kohti (ks. edellä).

Pienahitsin kestävyys on riittävä, jos molemmat seuraavat ehdot ovat voimassa:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad (6.12a)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (6.12b)$$

missä:

$\sigma_{\perp}$ on laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys;

$\tau_{\perp}$ on hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa);

$\tau_{\parallel}$ on hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa).

f_u on heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo;

β_w :n arvoksi valitaan 1,0 kaikille ruostumattomille teräslajeille ellei pienempää arvoa osoiteta kokeellisesti.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 kohdan 4.5.3.3 mukaista yksinkertaistettua menetelmää pienahitsien kestävyysmitoitustarvon määrittämiseksi.

6.4.3 Päittäishitsit

Täysin läpihitsatut päittäishitsit

Täysin läpihitsattujen päittäishitsien kestävyysmitoitustarvoksi valitaan heikomman liitettävän osan kestävyysmitoitustarvo edellyttäen, että hitsi suunnitellaan kohdan 6.3.1 mukaan.

Osittain läpihitsatut päittäishitsit

Osittain läpihitsattuja päittäishitsiä voidaan käyttää leikkausvoimien siirtämiseksi. Niitä ei suositella rakenteisiin, joissa hitseihin kohdistuu vetoa.

Osittain läpihitsattujen päittäishitsien kestävyys lasketaan kuten sellaisten pienahitsien kestävyys, joissa hyödynnetään tunkeumaa. Osittain läpihitsatun päittäishitsin a-mitaksi valitaan systemaattisesti saavutettavan tunkeuman syvyys, joka määritetään menetelmäkokein.

6.3.4 Kylmämuokattujen ruostumattomien terästen hitsaus

Kylmämuokattujen ruostumattomien terästen hitsaukseen sovelletaan samoja periaatteita kuin hehkutettujen ruostumattomien terästen hitsaukseen edellyttäen, että:

- Hitsauskiinnitykseen kohdistuu aksiaalinen kuorma;
- Kylmämuokatun ruostumattoman teräksen kylmämuokkaustaso on enintään CP500 tai C850;
- Hitsauslisäaineet valitaan taulukon 6.2 mukaan;
- Perusaineen kestävyys lämpövaikutusvyöhykkeellä määritetään hehkutetun perusaineen vetomurtolujuuden perusteella.

Hitsiaineen lujuus voi olla pienempi kuin perusaineen lujuus. Alilujia lisäaineita käytettäessä pienahitsien ja päittäishitsien kestävyysmitoitustarvo määritetään hitsimetallin vetomurtolujuuden perusteella (ks. taulukko 6.3) ja β_w :n arvona käytetään arvoa 1,0.

7 PALOMITOITUS

7.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään ruostumattomasta teräksestä tehtyjen kantavien rakenteiden suunnittelua, joille asetetaan rakenteellisia palonkestovaatimuksia. Tässä käsitellään vain passiivisia palosuojausmenetelmiä ja tässä esitetyt ohjeet koskevat teräslajeja ja rakenteita, jotka suunnitellaan tämän käsikirjan lukujen 1 - 6 mukaisesti.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset säilyttävät yleensä suhteellisesti paremmin huoneenlämpötilan mukaisen lujuutensa kuin hiiliteräkset, kun lämpötila on suurempi kuin n. 550 °C ja suhteellisesti hiiliteräksiä paremmin jäykkyytensä kaikissa lämpötiloissa.

Standardissa EN 1991-1-2 esitetään tulipalolle altistettujen rakenteiden mekaaniset ja lämpövaikutukset. Eurocodeissa tulipaloa käsitellään onnettomuustilanteena. Standardissa EN 1990 esitetään kuormitusyhdistelmät onnettomuustilanteille ja suositellaan kuormien osavarmuusluvuille arvoa 1,0. Standardissa EN 1993-1-2 suositellaan materiaalin osavarmuusluvulle $\gamma_{M,fi}$ arvoa 1,0 tulipalotilanteessa.

Ruostumattomasta teräksestä tehdyille rakenteille asetettavat palotekniset toimivuusvaatimukset ovat samat kuin hiiliteräkselle asetetut vaatimukset, nimittäin:

- Kun rakenteelta vaaditaan mekaanista kestävyyttä palotilanteessa, rakenne suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se säilyttää kuormankantokykynsä kyseeseen tulevan tulipalon ajan.
- Jos palosuojaus tai osastoivan rakenneosan suunnittelukriteeri edellyttää muodonmuutuskriteerin käyttöä kantavassa rakenteessa, sovelletaan kyseeseen tulevia muodonmuutuskriteerejä.

7.2 Mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa

Taulukossa 7.1 esitetään lujuuden ja jäykkyyden pienennystekijät suhteessa 20 °C:een lämpötilaa vastaavaan arvoon ruostumattomien teräslajien jännitys-venymäyhteyksien määrittämiseksi korkeissa lämpötiloissa sekä parametri $g_{2,\theta}$. Nämä pienennystekijät ovat:

$k_{0,2proof,\theta}$ 0,2-raja lämpötilassa θ suhteessa 20 °C:een lämpötilaa vastaavaan mitoituslujuuteen, ts. $f_{0,2proof,\theta}/f_y$

$g_{2,\theta}$ Parametri lämpötilassa θ 2 %:n kokonaisvenymää vastaavan lujuuden $f_{2,\theta}$ laskemiseksi seuraavan kaavan mukaisesti:

$$f_{2,\theta} = f_{0,2proof,\theta} + g_{2,\theta}(f_{u,\theta} - f_{0,2proof,\theta}) \quad (7.1)$$

$k_{u,\theta}$ Vetomurtolujuus lämpötilassa θ suhteessa 20 °C:n lämpötilaa vastaavaan arvoon, ts. $f_{u,\theta}/f_u$

$k_{E,\theta}$ Lineaarinen alkukimmokerroin lämpötilassa θ suhteessa 20 °C:n lämpötilaa vastaavaan arvoon, ts. E_θ/E

missä:

- E on kimmokerroin 20 °C:een lämpötilassa (= 200 000 N/mm²);
 f_y on myötölujuuden ominaisarvo 20 °C:een lämpötilassa kohdan 3.2.4 mukaan;
 f_u on vetolujuuden ominaisarvo 20 °C:een lämpötilassa kohdan 3.2.4 mukaan.

Määritettäessä ruostumattomista teräksistä tehtyjen rakenneosien rakenteellista kestävyttä tulipalossa, käytetään materiaalilujuuksille seuraavia ominaisarvoja:

Pilarit:	$f_{0,2proof,\theta}$	(kaikki poikkileikkausluokat)
Sivusuunnassa tuetut palkit:	$f_{2,\theta}$	(poikkileikkausluokat 1...3)
	$f_{0,2proof,\theta}$	(poikkileikkausluokka 4)
Sivusuunnassa tukemattomat palkit:	$f_{0,2proof,\theta}$	(kaikki poikkileikkausluokat)
Vedetyt rakenneosat:	$f_{2,\theta}$	(kaikki poikkileikkausluokat).

Määritettäessä poikkileikkausluokkiin 1...3 kuuluvien palkkien ja vedettyjen rakenneosien rakenteellista palonkestävyyttä tapauksissa, joissa asetetaan vaatimuksia muodonmuutoksille, suositellaan käytettäväksi 1,0 %:n kokonaisvenymää vastaavaa lujuutta $f_{1,\theta}$ laskelmien perustana lujuuden $f_{2,\theta}$ sijasta. $f_{1,\theta}$:n arvo lasketaan kaavasta:

$$f_{1,\theta} = f_{0,2proof,\theta} + 0,5g_{2,\theta}(f_{u,\theta} - f_{0,2proof,\theta}) \quad (7.2)$$

$f_{0,2proof,\theta}$:n arvot esitetään taulukossa 7.1 suhteessa 20 °C:n lämpötilaa vastaaviin myötörajan ominaisarvoihin tekijän $k_{0,2proof,\theta}$ avulla.

Taulukko 7.1 *Lujuuden ja kimmokertoimen pienennystekijät ja parametri $g_{2,\theta}$ korkeissa lämpötiloissa*

Lämpötila $\theta(^{\circ}\text{C})$	Pienennystekijä $k_{0,2\text{proof},2}$	Parametri $g_{2,\theta}$	Pienennystekijä $k_{u,\theta}$	Pienennystekijä $k_{E,\theta}$
Teräslaji 1.4301				
20	1,00	0,26	1,00	1,00
100	0,82	0,24	0,87	0,96
200	0,68	0,19	0,77	0,92
300	0,64	0,19	0,73	0,88
400	0,60	0,19	0,72	0,84
500	0,54	0,19	0,67	0,80
600	0,49	0,22	0,58	0,76
700	0,40	0,26	0,43	0,71
800	0,27	0,35	0,27	0,63
900	0,14	0,38	0,15	0,45
1000	0,06	0,40	0,07	0,20
1100	0,03	0,40	0,03	0,10
1200	0,00	0,40	0,00	0,00
Teräslaji 1.4401				
20	1,00	0,24	1,00	1,00
100	0,88	0,24	0,93	0,96
200	0,76	0,24	0,87	0,92
300	0,71	0,24	0,84	0,88
400	0,66	0,21	0,83	0,84
500	0,63	0,20	0,79	0,80
600	0,61	0,19	0,72	0,76
700	0,51	0,24	0,55	0,71
800	0,40	0,35	0,34	0,63
900	0,19	0,38	0,18	0,45
1000	0,10	0,40	0,09	0,20
1100	0,05	0,40	0,04	0,10
1200	0,00	0,40	0,00	0,00
Teräslaji 1.4571				
20	1,00	0,25	1,00	1,00
100	0,89	0,25	0,88	0,96
200	0,83	0,25	0,81	0,92
300	0,77	0,24	0,80	0,88
400	0,72	0,22	0,80	0,84
500	0,69	0,21	0,77	0,80
600	0,66	0,21	0,71	0,76
700	0,59	0,25	0,57	0,71
800	0,50	0,35	0,38	0,63
900	0,28	0,38	0,22	0,45
1000	0,15	0,40	0,11	0,20
1100	0,075	0,40	0,055	0,10
1200	0,00	0,40	0,00	0,00
Teräslaji 1.4462				
20	1,00	0,35	1,00	1,00
100	0,91	0,35	0,93	0,96
200	0,80	0,32	0,85	0,92
300	0,75	0,30	0,83	0,88
400	0,72	0,28	0,82	0,84
500	0,65	0,30	0,71	0,80
600	0,56	0,33	0,57	0,76
700	0,37	0,40	0,38	0,71
800	0,26	0,41	0,29	0,63
900	0,10	0,45	0,12	0,45
1000	0,03	0,47	0,04	0,20
1100	0,015	0,47	0,02	0,10
1200	0,00	0,47	0,00	0,00

Taulukko 7.1 (jatkoa) Lujuuden ja kimmokertoimen pienennystekijät ja parametri $g_{2,\theta}$ korkeissa lämpötiloissa

Lämpötila $\theta(^{\circ}\text{C})$	Pienennystekijä $k_{0,2\text{proof},2}$	Parametri $g_{2,\theta}$	Pienennystekijä $k_{u,\theta}$	Pienennystekijä $k_{E,\theta}$
Teräslaji 1.4318				
20	1.00	0.25	1.00	1.00
100	0.78	0.25	0.74	0.96
200	0.65	0.25	0.73	0.92
300	0.57	0.25	0.64	0.88
400	0.51	0.25	0.60	0.84
500	0.48	0.25	0.55	0.80
600	0.46	0.27	0.52	0.76
700	0.40	0.27	0.40	0.71
800	0.27	0.26	0.26	0.63
Teräslaji 1.4318 C850				
20	1.00	0.21	1.00	1.00
100	0.86	0.24	0.71	0.91
200	0.77	0.25	0.61	0.88
300	0.69	0.24	0.60	0.84
400	0.68	0.24	0.57	0.80
500	0.65	0.25	0.53	0.76
600	0.54	0.25	0.45	0.72
700	0.40	0.26	0.34	0.67
800	0.23	0.25	0.24	0.52
900	0.11	0.25	0.10	0.35
Teräslaji 1.4571 C850				
20	1.00	0.36	1.00	1.00
100	0.96	0.36	0.94	0.96
200	0.95	0.36	0.88	0.92
300	0.92	0.36	0.84	0.88
400	0.89	0.36	0.82	0.84
500	0.83	0.36	0.79	0.80
600	0.81	0.36	0.72	0.76
700	0.60	0.37	0.53	0.71
800	0.35	0.39	0.38	0.63
900	0.10	0.40	0.20	0.45

7.3 Termiset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa

7.3.1 Lämpöpiteneminen

Ruostumattoman austeniittisen teräksen lämpöpiteneminen $\Delta l/l$ lasketaan kaavasta:

$$\Delta l/l = (16 + 4,79 \times 10^{-3} \theta_a - 1,243 \times 10^{-6} \theta_a^2) \times (\theta_a - 20) 10^{-6} \quad (7.3)$$

missä:

- l on pituus 20 °C:een lämpötilassa;
- Δl on lämpötilan aiheuttama piteneminen;
- θ_a on teräksen lämpötila [°C].

7.3.2 Ominaislämpö

Ruostumattoman teräksen ominaislämpö c_a lasketaan kaavasta:

$$c_a = 450 + 0,280 \times \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (7.4)$$

missä:

θ_a esitetään kohdassa 7.3.1.

7.3.3 Lämmönjohtavuus

Ruostumattoman teräksen lämmönjohtavuus λ_a lasketaan kaavasta:

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \theta_a \text{ W/mK} \quad (7.5)$$

missä:

θ_a esitetään kohdassa 7.3.1.

7.4 Rakenteellisen palonkestävyyden määrittäminen

Rakenteiden palonkestävyys voidaan määrittää jollakin seuraavista menetelmistä tai niitä yhdistämällä:

- yksinkertaistettu laskentamenetelmä, jota sovelletaan yksittäisiin sauvoihin;
- tarkennettu laskentamenetelmä;
- kokeellinen mitoitus.

Yksinkertaistettu laskentamenetelmä perustuu varmalla puolella oleviin oletuksiin. Tarkennetuilla laskentamenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa sovelletaan rakenteiden mekaniikan ja lujuusopin periaatteita realistisella tavalla tarkasteltavassa tapauksessa. Mikäli yksinkertaistettua laskentamallia ei esitetä, käytetään joko tarkennettua laskentamenetelmää tai kokeisiin perustuvaa menetelmää.

Tarkempia laskentamenetelmiä esitetään tämän käsikirjan kommenttiosassa, ks. esipuhe.

7.4.1 Poikkileikkausluokitus

Paloteknisessä mitoituksessa luvun 4 mukaista poikkileikkausluokitusta sovelletaan siten, että poikkileikkausluokka määritetään 20 °C lämpötilan mukaan.

7.4.2 Vedetyt sauvat

Vetokestävyyden mitoitussarvo $N_{fi,\theta,Rd}$, kun lämpötila sauvassa θ_a on tasan jakaantunut, lasketaan kaavasta:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.6)$$

missä:

$k_{2,\theta} = f_{2,\theta} / f_y$ eli lujuuden pienennystekijä, joka vastaa 2 %:n kokonaisvenymää lämpötilassa θ_a ;

N_{Rd} on kohdan 4.7.2 mukainen poikkileikkauskestävyyden mitoitussarvo huoneen lämpötilassa $N_{pl,Rd}$.

γ_{M0} ja $\gamma_{M,fi}$ ovat taulukon 2.1 mukaisia osavarmuuslukuja.

Jos sauvan lämpötilajakautuma on epätasainen, kestäväyyden mitoitussarvo lasketaan kaavasta:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i k_{2,\theta,i} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.7)$$

missä:

- A_i on poikkileikkausosan i pinta-ala;
- θ_i on poikkileikkauksen osan A_i lämpötila;
- $k_{2,\theta,i}$ on pienennystekijä, joka vastaa 2 %:n kokovenymän mukaista lujuusarvoa lämpötilassa θ_i , ks. kohta 7.2.

Vaihtoehtoisesti vetokestävyuden mitoitusarvo $N_{fi,t,Rd}$ ajanhetkellä t , kun lämpötila on epätasaisesti jakaantunut, voidaan valita yhtäsuureksi kuin tasan jakaantunutta lämpötilaa θ_a vastaava arvo $N_{fi,\theta,Rd}$, joka lasketaan ajanhetkellä t suurimman lämpötilan $\theta_{a,max}$ mukaan.

7.4.3 Puristetut sauvat

Poikkileikkausluokkiin 1, 2, 3 tai 4 kuuluville alla mainituille puristetuille sauvoille noudatetaan seuraavia ohjeita:

- kylmämuovatut avoimet poikkileikkaukset (ei hitsaamalla valmistetut), esim. C-profiilit tai kulmateräket, tai
- kylmämuovatut rakenneputket (sekä pituussuunnassa hitsatut että hitsaamattomat), esim. pyöreät tai suorakaiteen muotoiset rakenneputket.

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,fi,t,Rd}$ hetkellä t , kun lämpötila θ_a on tasan jakaantunut, lasketaan kaavasta:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3} \quad (7.8)$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A_{eff} k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{poikkileikkausluokassa 4} \quad (7.9)$$

missä:

$k_{0,2proof,\theta}$ on lämpötilaa θ_a vastaava 0,2-rajan pienennystekijä (ks. kohta 7.2);

χ_{fi} on pienennystekijä taivutusnurjahduksessa palotilanteessa, joka lasketaan kaavasta:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_0 + \sqrt{\varphi_0^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \quad \text{mutta } \chi_{fi} \leq 1 \quad (7.10)$$

$$\text{missä: } \varphi_0 = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_\theta^2 \right) \quad (7.11)$$

missä α ja $\bar{\lambda}_0$ ovat taulukon 5.1 mukaisia huoneenlämpötilaa vastaavia kertoimia.

Muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_\theta$ lämpötilassa θ lasketaan kaavasta:

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \left[\frac{k_{0,2proof,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5} \quad \text{kaikissa poikkileikkausluokissa} \quad (7.12)$$

missä:

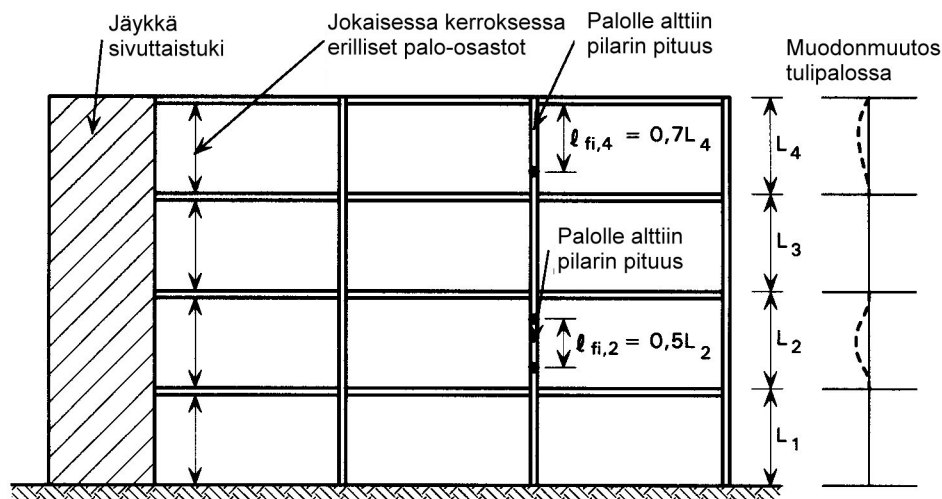
$k_{E,\theta}$ on lineaarisen alkukimmokertoimen pienennystekijä lämpötilassa θ_a , ks. kohta 7.2.

Kun sauvan lämpötila on epätasainen, puristuskestävyys voidaan laskea käyttämällä tasan jakaantunutta lämpötilaa, joka vastaa sauvan suurinta lämpötilaa. Menetelmä on varmalla puolella.

Pilarin nurjahduspituus palotilanteessa määritetään yleensä samalla tavalla kuin huoneenlämpötilassa. Sivusuunnassa tuetuissa kehissä pilarin nurjahduspituus l_{fi} voidaan laskea tarkastelemalla pilaria päistään kiinnitettyä siinä suunnassa, jossa

pilari liittyy ylä- ja alapuolisten palo-osastojen pilareihin jäykästi tai osittain jäykästi edellyttäen, että em. palo-osastoja eristävien rakenneseosien palonkestävyys on vähintään tarkasteltavan pilarin palonkestävyyden suuruinen.

Sivusuunnassa tuetuissa kehissä, joissa jokainen kerros muodostaa erillisen palo-osaston, johon liittyvillä rakenteilla on riittävä palonkesto, välikerroksen pilarien nurjahduspituutena käytetään arvoa $l_{fi} = 0,5L$ ja ylimmän kerroksen pilarien nurjahduspituutena arvo $l_{fi} = 0,7L$, missä L on tarkasteltavan kerroksen systeemikorkeus, ks. kuva 7.1.



Kuva 7.1 Sivusuunnassa tuettujen kehien pilarien nurjahduspituudet l_{fi}

7.4.4 Sivusuunnassa tuetut sauvat (kiepahdus ei määräävä)

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{fi,\theta,Rd}$, kun poikkileikkauksen lämpötila θ_a on vakio, lasketaan kaavasta:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} [\gamma_{M0}/\gamma_{M,fi}] M_{Rd} \quad \text{poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3} \quad (7.13)$$

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{0,2\text{proof},\theta} [\gamma_{M0}/\gamma_{M,fi}] M_{Rd} \quad \text{poikkileikkausluokassa 4} \quad (7.14)$$

missä:

M_{Rd} on poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{pl,Rd}$ (poikkileikkausluokissa 1 ja 2), poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutuskestävyys $M_{el,Rd}$ (poikkileikkausluokassa 3) tai tehollisen poikkileikkauksen taivutuskestävyys $M_{eff,Rd}$ (poikkileikkausluokassa 4) huoneenlämpötilassa;

$k_{2,\theta}$ ja $k_{0,2\text{proof},\theta}$ on määritetty kohdassa 7.4.3.

Tarvittaessa normaalilämpötilan mukaisia taivutuskestävyyden arvoja pienennetään leikkausvoiman takia kohdan 4.7.6 mukaan.

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{fi,t,Rd}$ ajanhetkellä t , kun lämpötilajakaantuma on epätasainen, lasketaan kaavasta (menettely on varmalla puolella):

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / \kappa_1 \kappa_2 \quad (7.15)$$

missä:

$M_{fi,\theta,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo (tai tehollinen mitoitusarvo poikkileikkausluokassa 4), kun tasan jakaantuneen lämpötilan θ_a arvoksi valitaan poikkileikkauksen suurin lämpötila;

- κ_1 on sovitustekijä vastaten poikkileikkauksen epätasaista lämpötilajakaantumaa, ks. taulukko 7.2;
- κ_2 on sovitustekijä, joka ottaa huomioon epätasaisen lämpötilajakaantumisen palkin pituussuunnassa, ks. taulukko 7.2.

Taulukko 7.2 Sovitustekijät

Paloaltistusolosuhde	κ_1
Palkki, joka on palolle altis kaikilta neljältä sivulta	1,0
Suojaamaton palkki, johon palo kohdistuu kolmelta sivulta ja neljännen sivun päällä on liitto- tai betonilaatta	0,70
Suojattu palkki, johon palo kohdistuu kolmelta sivulta ja neljännen sivun päällä on liitto- tai betonilaatta	0,85
	κ_2
Staatteisesti määräämättömien palkkien tuet	0,85
Kaikki muut tapaukset	1,0

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{fi,t,Rd}$ ajanhetkellä t , kun poikkileikkauksen lämpötilajakaantuma on epätasainen, lasketaan kaavasta:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{2,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M0}/\gamma_{M,fi}] \quad \text{poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3} \quad (7.16)$$

$$V_{fi,t,Rd} = k_{0,2proof,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M0}/\gamma_{M,fi}] \quad \text{poikkileikkausluokassa 4} \quad (7.17)$$

missä:

V_{Rd} on poikkileikkauksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo huoneen lämpötilassa kohdan 4.7.5 mukaan (kun teräksen lämpötila on yli 400 °C, käytetään arvoa $\eta = 1,0$);

θ_{web} on poikkileikkauksen uuman lämpötila.

7.4.5 Sivusuunnassa tukemattomat palkit (kiepahdus määräävä)

Sivusuunnassa tukemattoman sauvan kiepahduskestävyyden mitoitusarvo $M_{b,fi,t,Rd}$ hetkellä t lasketaan kaavasta:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{poikkileikkausluokissa 1 ja 2} \quad (7.18)$$

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{poikkileikkausluokassa 3} \quad (7.19)$$

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{poikkileikkausluokassa 4} \quad (7.20)$$

missä:

$\chi_{LT,fi}$ on kiepahduksen pienennystekijä palotilanteessa, joka lasketaan kaavasta:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\varphi_{LT,\theta} + \sqrt{\varphi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}} \quad \text{mutta } \chi_{LT,fi} \leq 1 \quad (7.21)$$

$$\text{ja } \varphi_{LT,\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT,\theta} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right) \quad (7.22)$$

missä α_{LT} on huoneenlämpötilaa vastaava kohdan 5.4.2 mukainen epätarkkuustekijä.

$k_{0,2proof,\theta}$ on kohdan 7.4.3 mukainen poikkileikkauksen suurinta lämpötilaa θ vastaava pienennystekijä:

Muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_{LT,\theta}$ lämpötilassa θ lasketaan kaavasta:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \left[\frac{k_{0,2\text{proof},\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5} \quad \text{kaikissa poikkileikkausluokissa} \quad (7.23)$$

missä:

$k_{E,\theta}$ on kohdan 7.4.3 mukainen pienennystekijä lämpötilassa θ .

7.4.6 Sauvat, joihin kohdistuu aksiaalinen puristus ja taivutus

Aksiaalisten puristusvoimien ja taivutusmomenttien yhteisvaikutus tarkistetaan seuraavien ehtojen mukaisesti (heikomman tai vahvemman akselin suhteen tapahtuvan nurjahduksen ja kiepahduksen estämiseksi):

(a) Poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1 \quad (7.24)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min1,fi} A k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1 \quad (7.25)$$

missä:

$N_{fi,Ed}$, $M_{y,fi,Ed}$ ja $M_{z,fi,Ed}$ ovat aksiaalisen kuorman ja taivutusmomenttien mitoitusarvoja palotilanteessa;

$M_{y,fi,\theta,Rd}$ ja $M_{z,fi,\theta,Rd}$ määritetään kohdassa 7.4.4;

$k_{0,2\text{proof},\theta}$ on pienennystekijä lämpötilassa θ kohdan 7.4.3 mukaan;

$\chi_{\min,fi}$ on pienin pienennystekijä taivutus-, vääntö- tai taivutusvääntönurjahduksessa lämpötilassa θ kohdan 7.4.3 mukaan;

$\chi_{\min1,fi}$ on pienin pienennystekijän arvo seuraavissa tapauksissa: taivutusnurjahdus z-akselin suhteen, vääntönurjahdus tai taivutusvääntönurjahdus kohdan 7.4.3 mukaan lämpötilassa θ ;

$\chi_{LT,fi}$ on kiepahduksen pienennystekijä lämpötilassa θ kohdan 7.4.5 mukaan;

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (7.26)$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9 \quad (7.27)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3 \quad (7.28)$$

$$\mu_y = (1,2 \beta_{M,y} - 3) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8 \quad (7.29)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3 \quad (7.30)$$

$$\mu_z = (2 \beta_{M,z} - 5) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,44 \beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8 \quad \text{and} \quad \bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,1 \quad (7.31)$$

β_M on taulukon 7.3 mukainen ekvivalentin momentin tekijä.

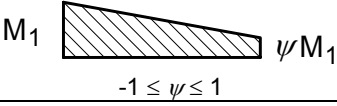
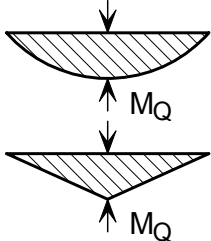
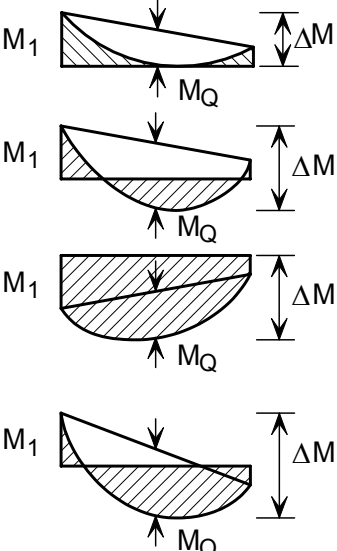
(b) Poikkileikkausluokassa 4:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A_{eff} k_{0,2proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed} + N_{fi,Ed} e_y}{M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed} + N_{fi,Ed} e_z}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1 \quad (7.32)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min1,fi} A_{eff} k_{0,2proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed} + N_{fi,Ed} e_y}{\chi_{LT,fi} M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed} + N_{fi,Ed} e_z}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1 \quad (7.33)$$

missä termit ovat edellisen kohdan (a) mukaisia paitsi, että k_y , k_z ja k_{LT} arvoja laskettaessa A korvataan arvolla A_{eff} .

Taulukko 7.3 Ekvivalentin tasaisen momentin tekijät, β_M

Momenttikuvio	Ekvivalentin tasaisen momentin tekijä β_M
Sauvanpäämomentit  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$
Poikittaisen kuormituksen aiheuttaman momentit tasossa 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
Poikittaisen kuormituksen aiheuttamat momentit tasossa plus sauvanpäämomentit 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M $ vain kuormituksesta Momenttikuviot, kun momentin merkki ei muutu: $\Delta M = \max M $ Momenttikuviot, kun momentin merkki muuttuu: $\Delta M = \max M + \min M $

7.4.7 Lämpötilan nousun laskeminen

Lämpötilan nousun laskemiseksi tarkoitettu menetelmä sopii sekä hiiliteräksille että ruostumattomille teräksille.

Tasaisesti lämmitetyn suojaamattoman ruostumattomasta teräksestä tehdyn sauvan poikkileikkauksen lämpötilan nousu ajanjakson t aikana lasketaan kaavasta:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{\text{net,d}} \Delta t \quad (7.34)$$

missä:

c_a on ruostumattoman teräksen ominaislämpö kohdan 7.3.2 mukaan (J/kgK);

ρ_a on ruostumattoman teräksen tiheys taulukon 3.6 mukaan (yleensä tiheyden oletetaan olevan lämpötilasta riippumaton) (kg/m³);

A_m/V on suojaamattoman profiilin poikkileikkaustekijä;

A_m on sauvan palolle altis pinta-ala sauvan pituusyksikköä kohti;

V on sauvan tilavuus sauvan pituusyksikköä kohti;

$\dot{h}_{\text{net,d}}$ on pinta-alayksikköä kohti laskettu nettolämpövuon mitoitussarvo

$$= \dot{h}_{\text{net,c}} + \dot{h}_{\text{net,r}} \quad (7.35)$$

missä:

$$\dot{h}_{\text{net,c}} = \alpha_c (\theta_g - \theta_a) \quad (7.36)$$

$$\dot{h}_{\text{net,r}} = \phi \varepsilon_{\text{res}} 5,67 \times 10^{-8} [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4] \quad (7.37)$$

α_c on kuljettumisen lämmönsiirtymiskerroin (yleensä käytetään arvoa 25W/m²K);

θ_g on sauvaa ympäröivän palokaasun lämpötila nimellisen lämpötila-aikakäyrän mukaan (°C);

θ_a on profiilin poikkileikkauksen lämpötila, jonka oletetaan olevan vakio ajanhetkellä t (°C);

ϕ on näkyvyyskerroin;

ε_{res} on resaltoiva emissiviteetti.

Parametri ε_{res} tarkoittaa tulipalon ja ruostumattoman teräspinnan välistä lämpösäteilyä ja sen suuruus riippuu siitä miten suoraan rakenneosaa on tulipalolle altis. Tulipalon säteilyvaikutuksilta osittain suojatuilla rakenneosilla on pienempi ε_{res} . Ruostumattomalle teräkselle voidaan käyttää arvoa $\varepsilon_{\text{res}} = 0,2$.

Edellä esitettyä yhtälöä lämpötilan nousun laskemiseksi voidaan käyttää teräksen lämpötilan laskemiseksi asteittain, mikäli palon lämpötila-aikariippuvuus tunnetaan. Standardin EN 1991-1-2 mukaan ns. standardipalokäyrän lämpötila-aikariippuvuus lasketaan kaavasta:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (7.38)$$

missä

t on kulunut aika (minuuteissa).

8 VÄSYMINEN

Rakenteissa tai niiden osissa, joihin kohdistuu merkittäviä jännitysvaihteluja väsyminen otetaan huomioon. Rakennuksia ei yleensä tarvitse mitoittaa väsymiselle lukuun ottamatta seuraavia tapauksia: nostolaitteita, liikkuvia pyöräkuormia ja värähteleviä koneita tukevat rakenteet ja tuulen takia värähtelevät rakenneosat.

Kuten hiiliteräkselläkin jännityskeskittymien ja hitsausvirheiden yhteisvaikutus aiheuttavat lähes välttämättä rakenteeseen kohtia, jotka ovat enemmän alttiit väsymiselle kuin rakenteen muut osat. Hiiliteräksestä tehdyille rakenteille laaditut ohjeet väsymiskestävyyden arvioimiseksi soveltuvat myös ruostumattomista teräksistä tehdyille rakenteille, ks. standardi EN 1993-1-9.

Hyvällä suunnittelulla voidaan merkittävästi pienentää rakenteiden väsymisherkyyttä. Tämä edellyttää rakenteen yleisen muodon ja väsymiselle alttiiden rakenneyksityiskohtien järkevää ja huolellista valintaa. On oleellista, että väsyminen otetaan huomioon suunnittelun alkuvaiheessa. Jos väsyminen otetaan huomioon vasta muun suunnittelun jälkeen, se voi johtaa huonoon tai kalliiseen rakenteeseen. Tärkeää on ottaa huomioon myös valmistuksen ja asennuksen asettamat vaatimukset. Em. seikkojen takia on suositeltavaa, että aikaisessa vaiheessa tunnistetaan kohdat, jotka ovat eniten alttiit väsymiselle (säröjen syntyminen) ja päätetään tarvittavista erityistoimenpiteistä ottaen huomioon myös valmistus ja asennus. Erityisesti valmistusta ja asennusta helpottavien reikien tai nostoa varten tehtyjen kiinnitysten vaikutus väsymiskestävyyteen tulee ottaa huomioon.

Potentiaaliset väsymisongelmat voidaan mahdollisesti eliminoida välttämällä seuraavia asioita rakenneyksityiskohtien suunnittelussa:

- Poikkileikkauksen jyrkät muutokset ja jännityskeskittymät yleensä;
- Osien huono yhteensovitus ja epäkeskeisyydet;
- Pienet epäjatkuvuudet kuten naarmut ja hiontajäljet;
- Sekundääristen kiinnitysten tarpeeton hitsaus, kuten esim. nostokorvakkeet;
- Osittain läpihitsatut hitsit, pienahitsit, epäjatkuvat hitsit ja hitsaustuet;
- Hitsien sytytysjäljet.

Vaikka väsymiskestävyyden parannusmenetelmät, kuten hitsin geometrian kontrollointi, hitsin juuren hiominen, raepuhallus ja vasarointi, voivat parantaa liitoksen väsymiskestävyyttä, ei ole olemassa riittäviä tietoja mahdollisten etujen määrittämisestä ruostumattomilla teräksillä. Tulee myös ottaa huomioon, että em. tekniikat ovat työvoimavaltaisia ja vaativat erityisosaamista ja kokemusta maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi. Em. tekniikoita, erikoistapauksia lukuun ottamatta, ei tule pitää suunnitteluvaihtoehtoina.

9 Kokeellinen mitoitus

9.1 Yleistä

Ruostumattoman teräksen testausta tai rakenneosan kokeellista mitoitusta saatetaan tarvita mm. seuraavista syistä.

- jos suunnittelu perustuu todellisiin materiaaliominaisuuksiin (ks. kohta 3.2.4);
- jos hyödynnetään sauvojen kylmämuokattujen nurkkien lujuuden kasvua (ks. kohta 3.2.2 ja 4.7.1);
- jos sauvan geometria on annettujen soveltuvuusrajojen ulkopuolella (kuten kohdassa 4.2 annetut soveltuvuusrajat);
- jos rakenneosien tai komponenttien käyttö perustuu prototyyppitestaukseen;
- vaadittaessa vaatimuksenmukaisuuden osoittamista tuotannossa oleville tuotteille.

Hiiliteräksille kehitettyjä koestusmenetelmiä koskevia tavanomaisia toimenpiteitä ja vaatimuksia sekä koetulosten käsittelyohjeita sovelletaan myös ruostumattomasta teräksestä tehtyjen rakenteiden koestukseen. Yleisenä suosituksena on, että näitä ohjeita noudatetaan, ks. esim. kohta 5.2 ja standardin EN 1990 liite D sekä standardin EN 1993-1-3 liite A. Ruostumattomien terästen käyttäytyminen on kuitenkin erilainen, johon tulee kiinnittää enemmän huomiota. Seuraavassa esitetään joitakin lisäohjeita.

9.2 Jännitys-venymäkäyrän määrittäminen

Materiaalitestaukseen soveltuva eurooppalainen standardi on SFS EN 10002-1, *Metallisten materiaalien vetokoe. Koemenetelmä huoneenlämpötilassa*.

Kuormitusnopeuden vaikutus otetaan tarvittaessa huomioon, ks. kohta 3.2.2.

9.3 Rakenneosien koestus

Rakenneosat suositellaan testattavaksi mahdollisimman täysimittakaavaisin kokein riippuen koestuslaitteista. Koekappaleet suositellaan valmistettavaksi käyttäen samaa valmistusprosessia kuin mitä käytetään lopullisessa tuotannossa. Hitsausta käytettäessä prototyyppi hitsataan samalla tavalla.

Koska ruostumaton teräs saattaa olla anisotrooppinen, suositellaan, että koekappaleet valmistetaan levystä tai arkista samasta suunnasta (valssaussuunta tai sitä vastaan kohtisuora suunta) kuin lopullinen tuote. Jos lopullinen suunta on tuntematon tai sitä ei voida taata, voi olla tarpeellista tehdä kokeet molemmissa suunnissa ja valita pienemmän arvon antavat koetulokset.

Ruostumattomalla teräksellä on suurempi sitkeys ja muokkauslujittuminen on voimakkaampaa kuin hiiliteräksellä, minkä vuoksi koestuslaitteiden kuormituskyvyn tulee mahdollisesti olla suurempi kuin mitä vaaditaan vastaavan lujuusluokan hiiliteräksellä. Suuremman kuormituskyvyn lisäksi kuormituslaitteiden tulee sallia suuremmat muodonmuutokset koekappaleessa.

On huomattava, että koekappaleen suurilla koekuormilla virumisen vaikutukset tulevat merkittävimiksi ja tämä voi aiheuttaa sen, että venymät tai siirtymät eivät stabiloidu kohtuullisessa ajassa.

Muokkauslujitetulle materiaalille määritetään sekä veto- että puristuslujuudet kyseeseen tulevassa suunnassa. Koetuloksia verrataan ko. suunnan referenssilujuuteen.

10 VALMISTUS

10.1 Johdanto

Tämän kohdan tarkoitus on esittää suunnittelijalle tarpeellisia näkökohtia ruostumattomasta teräksestä tehtyjen rakenteiden valmistuksesta sekä suosituksia hyvästä käytännöstä. Tämä auttaa myös sopivan valmistajan valinnassa.

Ruostumaton teräs ei ole vaikea materiaali. Joidenkin asioiden suhteen se on kuitenkin erilainen kuin hiiliteräs ja ne asiat tulee ottaa huomioon. Monet valmistus- ja liittämismenetelmät ovat samanlaisia kuin hiiliteräksille, mutta ruostumattoman teräksen erilaiset ominaisuudet vaativat erikoishuomioita joissakin asioissa. On tärkeää, että suunnittelijan ja valmistajan välillä on hyvä yhteistyö jo projektin alkuvaiheessa sen varmistamiseksi, että kyseeseen tuleva valmistuskäytäntö voidaan hyväksyä ja tullaan hyväksymään.

Tärkeä tavoite on säilyttää teräksen korroosionkestävyys. On tärkeää ryhtyä kaikkiin tarpeellisiin toimenpiteisiin prosessin eri vaiheissa, kuten varastointi, käsittely ja muokkaus, jotta ei vaaranneta pinnan itsekorjaantuvan passiivikerroksen muodostumista. Erityisen huolellinen tulee olla hitsattujen alueiden korroosionkestävyyden säilyttämisessä. Vaikka tarvittavat toimenpiteet ovat oleellisia, ne ovat yksinkertaisia ja vastaavat yleensä hyvää konepajakäytäntöä.

On tärkeää säilyttää ruostumattoman teräksen pinnan hyvä ulkonäkö koko valmistusketjun aikana. Pinnat voivat tahraantua rumentavasti, jolloin pintoja ei yleensä voida hyväksyä esteettisistä syistä. Pintojen korjaaminen on aikaavievää ja kallista. Pinnan likaantuminen hiiliteräksen tapauksessa yleensä peittyy maalaukseen, kun taas ruostumattoman teräksen kyseessä ollessa näin ei yleensä ole.

Rakenteen muotoa voidaan ohjata saatavilla olevien materiaalien mukaan. Tulee ottaa huomioon, että kuumavalssattujen profiilien valikoima on suppeampi kuin hiiliteräksillä. Tämä aiheuttaa sen, että käytetään enemmän kylmämuovattuja ja hitsattuja rakenneosia. Koska kylmämuovauslaitteiden pituus on rajoitettu, on mahdollista käyttää vain suhteellisen lyhyitä profileja, joka aiheuttaa tarpeen käyttää jatkoksia profileissa. Liitosdetaljien suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota ruuvien välyksiin taivutussäteiden läheisyydessä sekä hitsauksen aiheuttamien muodonmuutosten mahdollisesti aiheuttamiin sovitusergelmiin.

Valmistusta ja asennusta koskevia ohjeita esitetään esistandardissa ENV 1090-6 *Execution of steel structures. Supplementary rules for stainless steel. (Teräsrakenteiden toteuttaminen. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt)*. Tätä standardia ollaan parasta aikaa muuntamassa standardiksi EN 1090 *Execution of steel structures and aluminium structures (Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen)*. Standardissa EN 1090-1 esitetään ohjeet CE-merkin käytöstä teräsrakenteissa. Standardi EN 1090-2 sisältää toteutusluokkia, jotka riippuvat teräsrakenteen tyylistä. Eri toteutusluokille esitetään yksityiskohtaisia valmistusta ja asennusta koskevia vaatimuksia. Standardin EN 1090-2 odotetaan valmistuvan siten, että se lähetetään äänestykseen vuoden 2007 alussa.

Ruostumattomien terästen hitsausta koskeva eurooppalainen standardi on *SFS-EN 1011-3 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksat. Ruostumattomien terästen kaarihitsaus (EN 1011-3 Welding. Recommendations for welding of metallic materials. Arc welding of stainless steels)*.

10.2 Varastointi ja käsittely

Ruostumattomien terästen varastoinnissa ja käsittelyssä vaaditaan yleensä suurempaa huolellisuutta verrattuna hiiliteräksiin pinnan vaurioitumisen estämiseksi (erityisesti kiiltohehkutetut tai hiotut pinnat) sekä hiiliteräksen ja raudan pinnalle kasaantumisen välttämiseksi. Varastointi- ja käsittelymenetelmistä tulee sopia etukäteen kyseeseen tulevien sopimusosapuolten kanssa, koskien myös riittävästi yksityiskohtia koskevia vaatimuksia. Nämä menettelyt koskevat esimerkiksi seuraavia vaatimuksia:

- Teräs tarkistetaan välittömästi toimituksen jälkeen pintavikojen osalta.
- Teräs voidaan suojata muovilla tai muulla pinnoitteella. Tämä tulee jättää paikoilleen niin pitkäksi aikaa kuin mahdollista ja pinnoite poistetaan vasta juuri ennen lopullista valmistusta. Suojaava pinnoite esitetään hankinta-asiakirjoissa, jos sitä vaaditaan (esim. kiiltohehkutetut pinnat).
- Varastointia suolapitoisessa kosteassa ilmastossa tulee välttää. Varastohyllyissä ei saa olla hiiliteräksestä valmistettuja hankaavia pintoja ja pinnat suojataan sen takia puulla, kumilla, muovipinnoilla tai kalvoilla. Levyt varastoidaan ensisijassa pystysuunnassa, koska vaakasuuntaisesti varastoitujen levyjen päällä voidaan kävellä, jolloin on riskinä mm. rautapölyn kerääntyminen pinnalle ja pinnan vaurioituminen.
- Hiiliteräksestä valmistettuja nostovälineitä, esim. ketjut, koukut ja listat, tulee välttää. Eristävien materiaalien tai imukuppien käyttö estää raudan kerääntymisen. Trukkinostimen haarukat tulee myös suojata vastaavasti.
- Kosketusta kemikaalien kanssa sekä liiallisia öljy- ja rasvamääriä (jotka voivat tahria joitakin pintoja) tulee välttää.
- Ensisijassa käytetään erillisiä valmistustiloja hiiliteräksille ja ruostumattomille teräksille. Käytetään vain ruostumattomille teräksille tarkoitettuja työkaluja erityisesti hiomalaikkoja ja metalliharjoja. Käytettävät metalliharjat ja teräsviilat valmistetaan ruostumattomasta teräksestä, jonka korroosionkestävyys vastaa perusaineen korroosionkestävyyttä (esim. ferriittisestä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja harjoja ei saa käyttää austeniittisen ruostumattoman teräksen harjaukseen).
- Valmistuksen ja asennuksen aikaisena varotoimenpiteenä kaikki terävät purseet (jäysteet) tulee poistaa.
- Erikoistoimenpiteet voivat olla tarpeen valmiiden rakenteiden kuljetuksen ajaksi suojaamiseksi.

10.3 Muotoilu

Austeniittiset ruostumattomat teräkset muokkauslujittuvat merkittävästi kylmämuokkauksen aikana. Tämä voi olla sekä hyödyllinen ominaisuus (joka sallii merkittävää muokkautumista venytysmuovauksen aikana ilman ennen aikaista murtumisriskiä) että haitta (erityisesti koneistettaessa, kun vaaditaan hyvää syötettävyyttä ja nopeutta). Muokkauslujittumisen määrä vaihtelee teräslajeittain, esim. teräslaji 1.4318 muokkauslujittuu enemmän kuin muut rakentamisessa käytettävät teräslajit.

10.3.1 Leikkaus

Ruostumaton teräs on suhteellisen kallis materiaali verrattuna joihinkin muihin metalleihin, minkä takia on syytä olla huolellinen levyjen merkitsemisessä hukka-

palojen välttämiseksi leikkauksen yhteydessä. Tulee ottaa huomioon, että hukkapaloja saattaa syntyä enemmän, jos materiaalin kiillotetun pinnan tai yhteen suuntaan kuvioitun pinnan tulee säilyä myös valmistuksen jälkeen. Eräät merkintäkynät tai -liidut ovat vaikeasti poistettavia tai aiheuttavat likaantumista, jos niitä käytetään suoraan teräksen pinnalla (mieluummin käytetään suojaavaa kalvoa). Merkintäaineiden sopivuus tulee tarkistaa.

Ruostumatonta terästä voidaan leikata tavallisilla menetelmillä, kuten leikkaus ja sahaus, mutta vaadittavat voimat ovat suurempia verrattuna samanpaksuisiin hiiliteräksiin muokkauslujittumisesta johtuen. Jos mahdollista leikkaus ja työstäminen suoritetaan, kun teräs on hehkutetussa tilassa. Tällöin muokkauslujittumisen vaikutus ja työkalujen kulumisen ovat pienempiä.

Leikattaessa suoria linjoja käytetään yleensä giljotiinileikkuria. Käyttämällä avopäätyisiä leikkureita voidaan leikata leikkaavan terän pituutta pidempiä kappaleita vaikkakin sillä riskillä, että leikattuihin reunoihin syntyy pieniä portaita.

Myös plasmaleikkausmenetelmiä voidaan käyttää. Ne ovat erityisen sopivia paksujen levyjen ja profiilien leikkaamiseen, joissa leikatut reunat koneistetaan, esim. hitsausta varten. Happiasetyleenileikkaus ei sovellu ruostumattoman teräksen leikkaamiseen, ellei käytetä leikkausjauhetta.

10.3.2 Kylmämuovaus

Ruostumatonta terästä voidaan muotoilla yleisesti käytetyillä kylmämuovaustekniikoilla kuten taivutus, painosorvaus, särmäys, hydraulinen muovaus ja syväveto. Rakenteellisissa sovellutuksissa särmäys on eniten käytetty tekniikka. Suurille määrille ohutlevytuotteita rullamuovaus voi kuitenkin olla taloudellisempi tapa.

Ruostumattoman teräksen taivuttamisessa tarvittavat voimat ovat suurempia kuin geometrisesti samanlaisten hiiliteräksestä valmistettavien rakenneosien valmistamisessa tarvittavat voimat muokkauslujittumisesta johtuen (n. 50 % austeniittisen teräksen kyseessä ollessa tai jopa enemmän duplex-teräksillä). Ruostumatonta terästä tulee taivuttaa yli myös hieman enemmän hiiliteräksen verrattuna takaisinjouston huomioon ottamiseksi. Monimutkaisten poikkileikkausten tapauksessa on järkevää ottaa valmistaja mukaan suunnitteluun niin aikaisin kuin mahdollista.

Ruostumattomien terästen suuri sitkeys sallii niinkin pienien säteiden käytön taivutuksessa kuin puolet ainepaksuudesta hehkutetuilla aineilla. Kuitenkin yleisesti suositellaan seuraavia minimiarvoja sisäpuolisille pyöristyssäteille:

2t austeniittisille teräksille;
2,5t duplex-teräksille

missä t on aineen paksuus.

Putkia taivutettaessa, otetaan huomioon seuraavat ohjeet:

- Putken ulkohalkaisijan ja seinämän paksuuden suhde ei saa ylittää arvoa 15 (kalliiden työkalujen välttämiseksi);
- Taivutussäteen (putken keskilinjalla) tulee olla vähintään $2,5d$, missä d on putken ulkohalkaisija;
- Hitsi sijoitetaan lähelle neutraaliakselia hitsin taivutusjännitysten pienentämiseksi.

10.3.3 Reiät

Reiät voidaan valmistaa poraamalla tai lävistämällä. Porausta käytettäessä tulee käyttää teräväkärkistä poraa oikealla kärkikulmalla ja oikeaa leikkausnopeutta. Pyöreäpäisen pistepuikon käyttöä ei suositella, koska se lujittaa teräksen pintaa. Voidaan käyttää keskitysreikää tai jos pistepuikkoa on käytettävä, sen tulee olla kolmion muotoinen. Lävistämistä voidaan käyttää austeniittisilla teräksillä noin 20 mm:n ainepaksuuteen asti; lujemmilla duplex-teräksillä suurin mahdollinen ainepaksuus on pienempi. Pienin lävistettävissä olevan reiän halkaisija on 2 mm suurempi kuin levyn paksuus. Lävistettyjä reikiä tulee välttää korrodoivissa olosuhteissa johtuen reiän reunojen muokkauslujittumisesta.

10.4 Hitsaus

10.4.1 Johdanto

Ruostumattomia austeniittisia ja duplex-teräksiä voidaan hitsata menestyksellisesti käyttämällä tavallisia hitsausprosesseja edellyttäen, että hitsauksessa käytetään ruostumattomille teräksille tarkoitettuja hitsauslisäaineita.

Yleinen puhtaus ja saasteettomuus ovat tärkeitä hyvän hitsauksen laadun saavuttamiseksi. Öljyt ja muut hiilivedyt ja vahaliidulla tehdyt merkinnät poistetaan niiden hajoamisen ja hiilen syntymisen välttämiseksi. Hitsissä ei saa olla sinkkiä mukaan lukien sinkityistä tuotteista syntyvä sinkki eikä kuparia ja sen seoksia. (Kuparista juuritukea käytettäessä, juuritukeen tehdään ura välittömästi sulamisalueen viereen).

Ruostumattoman teräksen osalta on tärkeämpää kuin hiiliteräksen osalta vähentää kohtia, joissa rakorrosio (ks. 3.7.2) voi alkaa. Hitsausvirheet kuten reunahaava, vajaa tunkeuma, roiske, kuona ja sytytysjäljet ovat kaikki mahdollisia korroosion paikkoja ja ne tulee siten minimoida. Sytytysjäljet ja sytyttäminen irtonaisella madoituksella vahingoittavat myös passiivikerrosta ja aiheuttavat mahdollisesti ennenaikaista korroosiota ja siten vahingoittavat valmiin rakenteen ulkonäköä.

Kun hitsin ulkonäkö on tärkeä, suunnittelijan tulee määrittää vaatimukset hitsin muodolle ja pinnalle. Tämä voi vaikuttaa valittavaan hitsausprosessiin tai hitsauksen jälkikäsittelyyn. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota hitsin sijaintiin ja siihen onko mahdollista soveltaa hitsin jälkikäsittelyä.

Lämmöntuontia ja palkojen välistä lämpötilaa valvotaan hitsauksesta johtuvien muodonmuutosten minimoimiseksi (ks. 10.4.4) ja mahdollisten metallurgisten ongelmien välttämiseksi (ks. 10.4.5).

Hitsaus tehdään käyttäen hyväksyttyjen standardien (kuten EN ISO 15609-1 *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure specification. Arc welding*. (SFS-EN ISO 15609-1: *Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 1: Kaarihitsaus*)) mukaisia hitsausmenetelmiä. Hitsaajat tulee hyväksyä standardin EN 287-1 *Qualification test of welders. Fusion welding. Steels* (SFS-EN 287-1: *Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset*) mukaan. Hitsausohjeen tulee sisältää seuraavat asiat:

- hitsausmenetelmän oikeellisuuden toteaminen yksilöimällä hitsausmenetelmä ja testausvaatimukset;
- hitsaajien pätevyudet;
- hitsaustoimenpiteiden tarkistus valmistuksen ja hitsauksen aikana sekä hitsauksen jälkeen;

- tarkastuslaajuus ja käytettävät rikkomattomat aineenkoetusmenetelmät;
- sallittavien hitsausvirheiden hyväksymiskriteerit.

Edellyttäen, että käytetään sopivia hitsausmenetelmiä, hitsausongelmia ei pitäisi esiintyä. Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset ovat kuitenkin suurempia ruostumattomien terästen osalta verrattuna hiiliteräksiin, ks. 10.4.4.

Mutterin lukitsemista hitsaamalla ruuviin ei saa koskaan sallia, koska ruuveja ja muttereita ei ole tarkoitettu hitsattavaksi.

10.4.2 Hitsausmenetelmät

Kuten edellä todettiin yleisiä sulahitsausmenetelmiä voidaan käyttää ruostumattoman teräksen hitsaukseen. Taulukossa 10.1 esitetään erilaisten hitsausprosessien soveltuvuus paksuus-alueittain ja muut ehdot. MIG ja TIG-hitsauksessa suojakaasu ei saa sisältää hiilidioksidia, joka voi aiheuttaa hiilen kasaantumiseen teräksen pinnalle ja duplex-terästen tapauksessa tulee välttää myös typpeä.

Taulukko 10.1 Hitsausprosessit ja niiden soveltuvuus

Hitsausprosessi (EN ISO 4063)	Soveltuvat tuotemuodot	Liitosmuodot	Ainepaksuusalue	Hitsausasennot	Soveltuvuus konepaja- tai asennusolosuhteisiin
111 Puikkohitsaus	Kaikki paitsi ohutlevyt	Kaikki	3 mm ⁽¹⁾ tai suurempi	Kaikki	Kaikki
131 MIG-hitsaus	Kaikki	Kaikki	2 mm ⁽¹⁾ tai suurempi	Kaikki	Kaikki ⁽²⁾
141 TIG-hitsaus	Kaikki	Kaikki	Enintään 10 mm asti	Kaikki	Kaikki ⁽²⁾
121/122 Jauhekaari- ja jauhekaarilankahitsaus	Kaikki paitsi ohutlevyt	Kaikki	3 mm ⁽¹⁾ tai suurempi	Vain jalko-asento	Kaikki
2 Vastushitsaus	Vain ohutlevyt	Kaikki	n. 3 mm suurimmillaan	Kaikki	Kaikki

Huom.:

1) Riippuu käytettävän hitsausliitoksen tyypistä.

2) Enemmän herkkä säälle kuin muut hitsausprosessit ja vaaditaan parempaa suojausta ympäristön suhteen.

10.4.3 Hitsauslisäaineet

Kaupalliset hitsauslisäaineet on valmistettu siten, että saadaan aikaan hitsi, jonka lujuus ja korroosionkestävyys vastaavat perusainetta ja minimoivat jähmettymisestä aiheutuvaa halkeilua. Erikoissovellutuksissa, kuten epätavallisen aggressiiviset ympäristöt tai kun vaaditaan ei- magneettisuutta, käytetään teräksen tuottajien ja hitsausaineiden valmistajien ohjeita. Hitsauslisäaineet eivät saa likaantua ja ne varastoidaan valmistajan ohjeiden mukaan.

Kaikkien hitsauslisäaineiden tulee täyttää esistandardin ENV 1090 (jonka standardi EN 1090-2 tulee korvaamaan) vaatimukset. On tärkeää pitää hitsauslisäaineet puhtaina ja ne varastoidaan valmistajan ohjeiden mukaan.

10.4.4 Hitsausmuodonmuutokset

Muiden metallien tavoin ruostumattomaan teräkseen syntyy yleensä muodonmuutoksia hitsauksessa. Muodonmuutokset (kulmikkuus, kaareutuminen, kutistuminen,

jne.) ovat luonteeltaan samanlaisia kuin hiiliteräksillä. Ruostumattomien terästen, erityisesti austeniittisten lajien osalta, muodonmuutokset ovat kuitenkin suurempia verrattuna hiiliteräksiin johtuen suuremmista lämpölaajenemiskertoimista ja alhaisemmista lämmönjohtavuuksista (joka aiheuttaa jyrkempiä lämpötilagradientteja, ks. 3.3).

Hitsausmuodonmuutoksia voidaan hallita, mutta ei eliminoida. Suunnittelija ja valmistaja voivat ryhtyä seuraaviin toimenpiteisiin:

Suunnittelijan toimenpiteet:

- Harkitaan hitsin tarpeellisuus.
- Pienennetään hitsauksen laajuutta.
- Pienennetään hitsin pinta-alaa. Esimerkiksi paksujen poikkileikkausten tapauksessa, X-railoja, U-railoja tai kaksois-U-railoja V-railojen sijasta.
- Käytetään symmetrisiä liitoksia.
- Suunnitellaan suurempien mittatoleranssien käyttö.

Valmistajan toimenpiteet:

- Käytetään tehokkaita hitsausjigejä. Jos mahdollista, hitsausjigiin tulisi liittyä kupari tai alumiinisauvat, joilla helpotetaan lämmönsiirtymistä pois hitsattavasta kohdasta.
- Kun tehokkaan hitsausjigin käyttö ei ole mahdollista, käytetään lähekkäin sijaitsevia tasapainoisessa järjestyksessä tehtäviä siltahitsejä.
- Varmistetaan hyvä yhteensovitus ennen hitsausta.
- Käytetään mahdollisimman pientä lämmöntuontia ottaen huomioon valittu hitsausprosessi.
- Käytetään tasapainoista ja tarkoituksenmukaista hitsausjärjestystä kuten takaskelhitsausta ja jaksottaista monipalkohitsausta.

10.4.5 Metallurgisia näkökohtia

Tässä ei käsitellä ruostumattomiin teräksiin liittyviä metallurgisia asioita lukuun ottamatta joitakin merkittävimpiä asioita.

Erkautumisen muodostuminen austeniittisissa teräksissä

Austeniittisilla teräksillä hitsin muutosvyöhyke ei ole altis rakeenkasvulle ja hauraiden metallisten faasien erkautumiselle. Hitsausprosessit suunnitellaan yleensä siten, että erkautumisvaikutuksille kriittisellä lämpötila-alueella (450 - 900 °C) oloaikaa kontrolloidaan. Toistuvat hitsien korjaukset tietenkin kasvattavat em. aikaa ja sen takia hitsien korjauskerrat rajoitetaan tavallisesti kolmeen.

Kromikarbidien erkaantuminen ja sen seurauksena olevaa korrosionkestävyyden pienenemistä käsitellään kohdassa 3.7.2 raerajakorroosion yhteydessä. Raerajakorroosio ei yleensä ole ongelma vähän hiiltä sisältävillä austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä (esim. 1.4307 ja 1.4404). Hitsauskorroosion vaikutus voi kuitenkin ilmetä tavanomaisen määrän hiiltä sisältävillä teräksillä (ei koske niukkahiilisiä lajeja), jos levyn paksuus on suurempi kuin noin 10 mm.

Jähmettymissäröily austeniittisissa teräksissä

Hitsiaineen jähmettymissäröilyä, jota kutsutaan myös kuumahalkeiluksi, ei esiinny, jos hitsiaine sisältää vähintään noin 5 % ferriittiä. Teräksen valmistajat tasapainot-

tavat yleisten austeniittisten terästen kemiallisen koostumuksen ja lämpökäsittelyn siten, että ne eivät käytännöllisesti katsoen sisällä ferriittiä toimitustilassa, mutta siten, että ferriittiä muodostuu riittävästi hitsiaineeseen, joka tehdään ohutlevyjen hitsauksessa usein ilman lisäainetta. Myös tässä tapauksessa säröilyriskin pienentämiseksi on aiheellista pitää lämmöntuonti (hitsiin tuotava lämpömäärä) ja välipal-kojen lämpötila sekä rakenneosan jäykkyys pieninä. Paksumpien aineenpaksuuk-sien hitsauksessa käytetään lisäaineita, joiden kemiallinen koostumus on sellainen, että hitsiaineeseen muodostuu sopiva määrä ferriittiä. Yleensä ei ole tarpeellista mitata muodostuneen ferriitin tarkkaa määrää, koska asianmukaisten hitsausmenetelmien ja hitsauslisäaineiden käyttö varmistaa, että jähmettymissäröilyä ei esiinny.

Duplex-terästen hauraus

Duplex-teräkset ovat herkkiä “475 °C-hauraudelle” ja “sigma- hauraudelle”. Edel-linen esiintyy, kun terästä pidetään likipitään lämpötila-alueella 550 °C...400 °C tai teräksen annetaan jäähtyä hitaasti em. lämpötila-alueen yli. Ilmiö kasvattaa vetomurtolujuutta ja kovuutta sekä pienentää sitkeyttä vedossa ja iskunkestävyyttä. “Sigma-hauraus” voi esiintyä, jos terästä pidetään pitkän aikaa lämpötila-alueella 565 °C...900 °C, mutta esiintymisaika voi olla niinkin lyhyt kuin puoli tuntia sopi-vissa olosuhteissa (riippuen teräksen kemiallisesta koostumuksesta ja termomekaa-nisesta tilasta). “Sigma- haurauden” vaikutukset ovat suurimmillaan huoneen läm-pötilassa. Molemmat haurausilmiöt heikentävät korroosionkestävyyttä ja sitkeyttä.

Sekä “475 °C-hauraus” että “sigma-hauraus” voidaan hallita riittävästi käyttämällä oikeita hitsausprosesseja. Suurimmaksi välipalon lämpötilaksi suositellaan 200 °C. Erityisen huolellinen tulee olla hitsattaessa isoja profiileja.

Haurastumisen välttämiseksi terästen pitkäaikaista pitämistä yli 300 °C lämpöti-lassa tulee välttää.

10.4.6 Hitsien jälkikäsittely

Hitsien jälkikäsittely on yleensä tarpeellinen kuten seuraavissa kohdissa esitetään, erityisesti kaarihitsausta käytettäessä. On tärkeää määrittää hyvissä ajoin vaadittava hitsin jälkikäsittely kustannuslitysten ja mahdollisesti huonon käytettävyyden välttämiseksi. Pinnan jälkikäsittelytekniikoita käsitellään kohdassa 10.6.

Hitsin viimeistelyyn tavallisimmin käytettävät menetelmät ovat teräsharjaus ja hio-minen. Viimeistelyn määrä minimoidaan ja jos mahdollista se rajoitetaan teräshar-jaukseen. Tämä sen takia, että pinnan hiomisessa syntyvä lämpö voi vaikuttaa kor-roosionkestävyyteen. Käytettävien teräsharjojen tulee olla tehty ruostumattomasta teräksestä ja niitä tulee käyttää vain näille ruostumattomille teräksille (ks. kohta 10.2).

Hiekka- ja lasikuulapuhallus muistuttavat lopputulokseltaan harjausta. Hiekka- tai lasikuulat tunkeutuvat harjausta paremmin pinnan onkaloihin, joten esim. hiilen-poisto hitsin pinnasta on perusteellisempaa kuin harjauksessa. Teräspinta aktivoituu myös puhalluksessa, joten paras korroosionkestävyys saavutetaan peittaamalla tai passivoimalla suihkupuhallettu pinta.

Hyvä käytäntö on poistaa kaikki lämmöstä aiheutuva värjäntyminen eli ns. päästö-värit. Keltainen lämmöstä aiheutuva värjäntyminen voi kuitenkin olla hyväksyttävissä, jos ruostumaton teräs antaa hyvän korroosionkestävyyden tarkasteltavassa ympäristössä. Jos näin ei kuitenkaan ole tai kun väri ei ole esteettisistä syistä hyväksyttävissä, väri voidaan poistaa peittaamalla tai lasihelmillä. Peittäus voidaan suorittaa upotuspeittauksena (ks. kohta 10.6) tai käyttämällä tahnoja valmistajien ohjeiden mukaan.

Hitsin pinnan vasarointi on edullinen hitsin jälkikäsittely. Se aiheuttaa puristusjännityksiä pintaan, joka parantaa väsymiskestävyyttä ja kestävyyttä jännityskorroosiosta aiheutuvaa säröilyä vastaan sekä parantaa esteettistä ulkonäköä. Vasarointia ei kuitenkaan saa käyttää väsymiskestävyyden parantamisen perusteena.

Metallin irrottaminen merkittävästi työstämällä aiheuttaa jännityksen poistumista ja sen takia muodonmuutoksia hitsattuun tuotteeseen. Tapauksissa, joissa muodonmuutokset ovat sellaisia, että mittatoleransseja ei voida saavuttaa, vaaditaan jännityksiin kohdistuvaa lämpökäsittelyä. Yleensä tämä on käytännöllistä vain pienikokoisille rakennneosille ja vain niukkahiilisille lajeille (kuten 1.4307 ja 1.4404) tai stabiloiduille lajeille (kuten 1.4541 ja 1.4571) herkistymisen (ks. 3.7.2) välttämiseksi.

10.4.7 Hitsien tarkastus

Taulukossa 10.2 esitetään ruostumattomille teräksille ja hiiliteräksille tavallisesti käytettävät hitsien tarkastusmenetelmät.

Esitettjä menetelmiä käytetään rakenteellisen ja korroosionestoon liittyvän tarpeen mukaan. Silmäääräinen tarkastus tulee kuitenkin tehdä aina hitsauksen kaikissa vaiheissa, koska siten voidaan estää monien ongelmien syntyminen valmistuksen aikana. Ruostumattoman teräksen pinnan tarkastaminen on tärkeämpi toimenpide kuin hiiliteräksellä, koska ruostumatonta terästä käytetään etupäässä korroosion estämisen takia ja jo pieni pintasärö voi aiheuttaa sen, että materiaali on altis korroosiolle.

Taulukko 10.2 Hitsien tarkastusmenetelmät

NDT:n tyyppi	Austeniittinen ruostumatton teräs	Ruostumatton duplex-teräs	Hiiliteräs
Pinnan tarkastus	Silmäääräinen DPI	Silmäääräinen DPI MPI	Silmäääräinen DPI MPI
3D-tarkastus	Röntgenkuvaus Gammakuvaus	Röntgenkuvaus Gammakuvaus	Röntgenkuvaus Gammakuvaus Ultraääni

DPI - Värijauh tarkastus (Dye penetrant inspection)
MPI - Magneettijauh tarkastus (Magnetic particle inspection)

Magneettijauh tarkastus ei tule austeniittisilla teräksillä kyseeseen, koska ko. teräkset eivät ole magneettisia. Ultraäänimenetelmien käyttö on rajoitettua hitsien tarkastuksessa johtuen tulkintavaikeuksista; niitä voidaan kuitenkin käyttää perusaineen tarkastukseen. Gammakuvaus ei sovellu säröjen tai puutteellisen hitsin sulamisen tarkastamiseen, jos ainepaksuus on alle 10 mm.

10.5 Kitkasyöpyminen ja kiinnileikkautuminen

Jos pinnat ovat kuormituksen alaisia ja liikkuvat toistensa suhteen, pintojen paikallisen adheesion ja murtumisen seurauksena voi syntyä kitkasyöpymistä. Joissakin tapauksissa seurauksena voi olla pinnoissa olevien partikkelien yhteenhitsautuminen ja pintojen kiinnileikkautuminen. Kitkasyöpymisen välttämiseksi voidaan käyttää seuraavia menetelmiä:

- Käytetään erilaisia ruostumattomia teräksiä (teräslajeja, jotka eroavat toisistaan koostumuksen, muokausasteen ja kovuuden osalta). Esimerkiksi EN ISO 3506:n mukaisia ruuvi-mutteriyhdistelmiä A2-C2, A4-C4 tai A2-A4;

- Vaikeissa tapauksissa käytetään toisessa osassa sovelluskohtaisesti voimakkaasti muokkauslujitettuja ruostumattomia teräksiä tai kovia pinnoitteita;
- Käytetään kitkasyöpymistä estäviä aineita.

Käytettäessä erilaisia teräksiä tai erilaisia pinnoitteita tulee varmistaa, että saavutetaan vaadittu korroosionkestävyys. Ruuvien rasvaus on edullista, mutta se voi johtaa liian kerääntymiseen ja voi aiheuttaa varastointiongelmia.

Suosittelavaa on, että ruuvien materiaali on kylmämuokatussa tilassa ja suositellaan lujuusluokan 70 käyttöä (ks. taulukko 3.3). Ruuvimateriaalia ei tule käyttää pehmenneissä tilassa kitkasyöpymistäipumuksen takia. Valssattujen kierteiden käyttö koneistettujen kierteiden asemasta sekä hienokierteiden ja tiiviisti sovitettujen kierteiden välttäminen pienentävät kitkasyöpymisen todennäköisyyttä.

10.6 Pinnan viimeistely

Ruostumattoman teräksen pinnan viimeistely on tärkeä suunnittelukriteeri ja se tulee määrittää selvästi arkkitehtonisten tai toiminnallisten vaatimusten mukaan. Mitä hienompi pinta on, sen suuremmat ovat kustannukset. Toimenpiteet ennen käsittelyä ja hitsausta tulee ottaa huomioon. Esisuunnittelu on tärkeä kustannusten säästämiseksi. Esimerkiksi, jos kaiteiden putkien väliset hitsit kätketään näkymättömiin, se pienentää viimeistelykustannuksia ja parantaa huomattavasti kaiteen lopullista ulkonäköä.

Teräksen pinta tulee saattaa sen korroosionkestävyyttä vastaavaan tilaan poistamalla kaikki hehkutushilse ja epäpuhtaudet. Peittaus happokylvyssä irrottaa hehkutushilseen ja pinta voidaan harjata puhtaaksi ja myös liuottaa kaikki rauta- ja hiili-teräspartikkelit.

Hankaavat käsittelyt, kuten hionta ja kiillottaminen aiheuttavat yhdensuuntaisesti kuvioitun pinnan ja siten hitsien näkymättömäksi saaminen voi olla vaikea levyissä ja arkeissa, joiden pinta vastaa tavallista valssausta. Kokeiden tekeminen voi olla tarpeellista yksityiskohtaisen menetelmän määrittämiseksi, jotta haluttu pinnan laatu saavutetaan.

Elektrolyyttinen eli sähkökemiallinen kiillotus poistaa ohuen pintakerroksen. On mahdollista valmistaa laaja kirjo erilaisia pintoja himmeästä kirkkaan kiiltävään riippuen materiaalin alkuperäisen pinnan tyypistä.

On olemassa myös muita pinnan käsittelyjä kuten sähköinen pinnoittaminen, rum-pukäsittely, syövytys, etsaaminen, värjääminen ja pinnan mustaaminen, mutta niitä käytetään harvoin rakenneteknisissä sovellutuksissa ja niitä ei tässä käsitellä.

Pinnoilla ei saa olla epäpuhtauksia valmiissa rakenteessa. Erityistä huomiota tulee kiinnittää epäpuhtauksiin, jotka syntyvät lähellä tehtävistä hiiliteräksiin liittyvistä töistä erityisesti hiontapölystä. Ruostumaton teräs tulee joko suojata irrotettavalla muovikalvolla tai sopimusasiakirjoissa lopullinen pinta tulee määrittää puhdistettavaksi rakenteen valmistumisen jälkeen.

LIITE A RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN MERKINTÖJEN VASTAAVUUS

Standardin EN 10088, saksalaisten, englantilaisten, ranskalaisten, ruotsalaisten, espanjalaisten ja amerikkalaisten merkintöjen vastaavuus esitetään taulukossa A.1.

Taulukko A.1 Ruostumattomien terästen merkintöjen vastaavuus eurooppalaisten, amerikkalaisten ja aikaisempien kansallisten standardien välillä

EN 10088:n mukainen teräslaji		Saksa (DIN)		Englanti	Ranska	Italia	Ruotsi	Espanja	USA	
Nimi	No.	Nimi	No.	BSI	AFNOR	UNI	SIS	UNE	AISI	UNS
X5CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	1.4301	304 S 15 304 S 16 304 S 31	Z 6 CN 18-09	X5 CrNi 18 10	2332 2333	3504	304	S 30400
X2CrNi19-11	1.4306	X2 CrNi 19 11	1.4306	304 S 11	Z 2 CN 18-10	X2 CrNi 18 11	2352	3503	304 L	S 30403
X2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNi18-7	1.4318	X2 CrNiN 18 7	1.4318	-	-	-	-	-	301 LN (302 LN)	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 18 10	1.4541	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	X6 CrNiTi 18 11	2337	3523	321	S 32100
X5CrNi Mo17-12-2	1.4401	X5CrNiMo 17 12 2	1.4401	316 S 31	Z 6 CND 17-11	X5 CrNiMo 17 12	2347	3534	316	S 31600
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X2CrNiMo 17 13 2	1.4404	316 S 11	Z 2 CND 17-12	X2 CrNiMo 17 12	2348	3533	316L	S 31603
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2 CrNiMo 18 14 3	1.4435	316 S 13	Z 2 CND 17-13	X2 CrNiMo 17 13	2353	3533	316 L	S 31603
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	X1 NiCrMoCuN 25 20 5	1.4539	-	Z 1 CNDU 25-20	-	2562	-	904 L	N 08904
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12 2	1.4571	320 S 31	Z 6 CNDT 17-12	X6 CrNiMoTi 17 12	2350	3535	316 Ti	S 31635
X2CrNi18-10	1.4311	X2 CrNiN 18 10	1.4311	304 S 61	Z 2 CN 18-10 Az	-	2371	-	304 LN	S 30453
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	X2 CrNiMoN 17 12 2	1.4406	316 S 62	Z 2 CND 17-12 Az	-	-	-	316 LN	S 31653
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	X2 CrNiMoN 17 13 5	1.4439	-	-	-	-	-	317 LMN	S 31726
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	X1 NiCrMoCuN 25 20 6	1.4529	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	X2 CrNiMoN 22 5 3	1.4462	Duplex 2205	Z 2 CND 22-5 Az	-	2377	-	-	S 31803

LIITE B KIEPAHDUS

B.1 Yleinen tapaus

Kimmoteorian mukainen kriittinen kiepahdusmomentti M_{cr} taivutetulle sauvalle, jonka poikkileikkaus on vakio, lasketaan kaavasta:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{1/2} - (C_2 z_g - C_3 z_j)$$

missä:

C_1 , C_2 ja C_3 ovat tekijöitä, jotka riippuvat kuormituksesta ja reunaehdoista taulukoiden B.1 ja B.2 mukaan.

I_t on vääntövakio;

I_w on käyritysmisvakio (käyritysmisjäyhyysmomentti);

I_z on jäyhyysmomentti heikomman akselin suhteen;

k_z ja k_w ovat teholliseen pituuteen liittyviä tekijöitä;

L on sauvan pituus sivusuunnassa tuettujen pisteiden välillä;

$z_g = z_a - z_s$

z_a on kuorman vaikutuspisteen koordinaatti;

z_s on leikkauskeskiön koordinaatti;

$$z_j = z_s - \frac{\int z (y^2 + z^2) dA}{2 I_y}$$

z_j :n arvoa laskettaessa z on negatiivinen puristetulle laipalle; z_j on positiivinen, kun se laippa, jonka I_z -arvo on suurempi, on puristettu suurimman momentin kohdalla. $z_j = 0$ profiileille, joiden laipat ovat yhtä suuret mukaan lukien U- ja Z-profiilit.

z_g on negatiivinen alaspäin suuntautuville kuormille (gravity loads), kun kuormat vaikuttavat leikkauskeskiön yläpuolella. Yleisessä tapauksessa z_g on negatiivinen, kun kuormat vaikuttavat leikkauskeskiötä kohti kuormien vaikutuskohdasta katsottuna. Jos kuorman siirtyminen palkin sivusuunnassa on estetty, on $z_g = 0$.

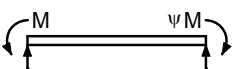
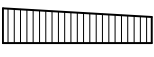
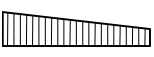
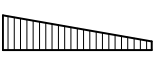
Tehollisen pituuden tekijät k_z ja k_w vaihtelevat arvosta 0,5 täysin jäykälle tuennalle arvoon 1,0 nivelelliselle tuennalle. Em. tekijät saavat arvon 0,7, kun sauvan toinen pää on jäykästi kiinnitetty ja toinen pää on nivelellisesti tuettu. Tavalliselle tuenta-tapaukselle sauvan molemmissa päissä saadaan:

$$k_z = k_w = 1,0$$

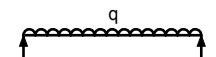
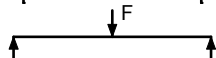
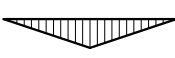
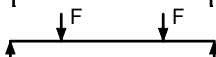
- tuenta poikittaisen siirtymän suhteen, kiertyminen tasossa vapaa;
- kiertyminen sauvan pituusakselin suhteen on estetty, käyrityminen on vapaa.

Tekijä k_z viittaa sauvan pään kiertymiseen tasossa. Se on analoginen puristetun sauvan suhteen l/L kanssa. Tekijä k_w viittaa sauvan pään käyritymiseen. Ellei kiinnitystä käyrityksen suhteen erikseen selvitetä käytetään arvoa $k_w = 1,0$.

Taulukko B.1 Tehollisen pituuden tekijää k_z vastaavat tekijöiden C_1 ja C_3 arvot. Sauvanpäämomentit

Sauvanpäämomentit ja tukien reunaehdot	Taivutusmomenttipinta	$k_z:n$ arvo	Tekijöiden arvot		
			C_1	C_3	
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$
	 $\psi = +1$	1,0	1,00	1,000	
		0,5	1,05	1,019	
	 $\psi = +3/4$	1,0	1,14	1,000	
		0,5	1,19	1,017	
	 $\psi = +1/2$	1,0	1,31	1,000	
		0,5	1,37	1,000	
	 $\psi = +1/4$	1,0	1,52	1,000	
		0,5	1,60	1,000	
	 $\psi = 0$	1,0	1,77	1,000	
		0,5	1,86	1,000	
	 $\psi = -1/4$	1,0	2,06	1,000	0,850
		0,5	2,15	1,000	0,650
	 $\psi = -1/2$	1,0	2,35	1,000	$1,3 - 1,2\psi_f$
		0,5	2,42	0,950	$0,77 - \psi_f$
	 $\psi = -3/4$	1,0	2,60	1,000	$0,55 - \psi_f$
		0,5	2,57	0,850	$0,35 - \psi_f$
	 $\psi = -1$	1,0	2,60	$-\psi_f$	$-\psi_f$
		0,5	2,45	$0,125 - 0,7\psi_f$	$-0,125 - 0,7\psi_f$

Taulukko B.2 Tehollisen pituuden tekijää k_z vastaavat tekijöiden C_1 , C_2 ja C_3 arvot. Sauvaan vaikuttaa uuman suuntainen kuormitus.

Kuormitus ja tukiehdot	Taivutusmomenttipinta	$k_z:n$ arvo	Tekijöiden arvot		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,12	0,45	0,525
		0,5	0,97	0,36	0,478
		1,0	1,35	0,59	0,411
		0,5	1,05	0,48	0,338
		1,0	1,04	0,42	0,562
		0,5	0,95	0,31	0,539

Taulukon B.1 ja B.2 arvoja voidaan käyttää vain yhden akselin suhteen symmetrisille profiileille vain, kun $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$

missä:

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$$

missä:

I_{fc} on puristetun laipan hitausmomentti poikkileikkauksen heikomman akselin suhteen;

I_{ft} on vedetyn laipan hitausmomentti poikkileikkauksen heikomman akselin suhteen;

$\psi_f = 0$ kaksoissymmetrisille poikkileikkauksille;

$\psi_f > 0$ yhden akselin suhteen symmetrisille poikkileikkauksille, kun suurempi laippa on puristettu;

$\psi_f < 0$ yhden akselin suhteen symmetrisille poikkileikkauksille, kun pienempi laippa on puristettu;

z_j :n laskemiseksi voidaan käyttää seuraavia likimääräistyksiä:

$$z_j = 0,8\psi_f \frac{h_s}{2} \quad \text{kun } \psi_f \geq 0$$

$$z_j = \psi_f \frac{h_s}{2} \quad \text{kun } \psi_f < 0$$

missä:

h_s on laippojen leikkauskeskiöiden välinen etäisyys.

B.2 Erikoistapauksia

B.2.1 Kaksoissymmetriset poikkileikkaukset

Kimmoteorian mukainen kriittinen kiepahdusmomentti, kun sauvan poikkileikkaus on vakio ja laipat ovat yhtä suuret, jolloin $z_j = 0$, lasketaan kaavasta:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[\left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]^{1/2} - C_2 z_g \right]$$

Sauvanpäämomenttien tapauksessa ja leikkauskeskiössä vaikuttaville uuman suuntaisille kuormille, jolloin $C_2 z_g = 0$, saadaan:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{1/2}$$

Tavallisille sauvan päiden reunaehdoille, jolloin $k_z = k_w = 1,0$, saadaan:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{1/2}$$

LIITE C MATERIAALITIEDOT TAIPUMALASKELMIA VARTEN

Käytettävä sekanttikimmokertoimen arvo E_S (ks. kohta 5.4.6) valitaan valssaus-suunnan mukaan. Jos suuntaa ei tunneta tai sitä ei voida varmistaa, käytetään valssaus-suunnan mukaista arvoa.

Sekanttikimmokertoimen arvo lasketaan kaavasta:

$$E_S = (E_{S1} + E_{S2})/2$$

missä:

E_{S1} vedetyn laipan jännitystä vastaava sekanttimoduulin arvo;

E_{S2} puristetun laipan jännitystä vastaava sekanttimoduulin arvo.

Valssausuunnasta ja käyttörajatilan jännityssuhteesta riippuen sekanttimoduulien E_{S1} ja E_{S2} arvot voidaan laskea seuraavasta kaavasta käyttäen taulukon C.1 mukaisia arvoja. Vaihtoehtoisesti teräslajeille 1.4301, 1.4401 ja 1.4462 voidaan käyttää taulukon C.2 arvoja ja lineaarista interpolointia.

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n} \text{ ja } i = 1,2$$

missä:

$\sigma_{i,Ed,ser}$ on puristetun tai vedetyn laipan jännityksen mitoitusarvo käyttörajatilassa;

$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$.

Yksinkertaistuksena E_S :n muuttuminen sauvan pituussuunnassa voidaan jättää huomioimatta ja voidaan käyttää E_S :n pienintä arvoa (joka vastaa suurempaa jännitysten σ_1 ja σ_2 arvoista) koko sauvan pituudella.

Taulukko C.1 Vakioiden arvot sekanttikimmokertoimen laskemiseksi

Teräslaji	f_y N/mm ²	k	n	
			Pituussuunta	Poikkisuunta
Grade	f_y N/mm ²		n	
			Longitudinal direction	Transverse direction
1.4301	210			
1.4307	200			
1.4541	200		6,0	8,0
1.4318	330			
1.4401	220			
1.4404	220		7,0	9,0
1.4571	220			
1.4362	400		5,0	5,0
1.4462	460			

Taulukko C.2 Teräslajien 1.4301, 1.4401 ja 1.4462 sekanttikimmokerroin taipumalaskelmia varten

Sekanttikimmokerroin (kN/mm ²)					
Jännityssuhde (σ/f_y)	Teräslaji 1.4301		Teräslaji 1.4401		Teräslaji 1.4462
	Pituussuunta	Poikittais- suunta	Pituussuunta	Poikittais- suunta	Molemmat suunnat
0,00	200	200	200	200	200
0,20	200	200	200	200	200
0,25	200	200	200	200	199
0,30	199	200	200	200	199
0,35	199	200	199	200	197
0,40	198	200	199	200	196
0,42	197	199	198	200	195
0,44	196	199	197	199	194
0,46	195	199	197	199	193
0,48	194	198	196	199	191
0,50	192	198	194	199	190
0,52	190	197	193	198	188
0,54	188	196	191	197	186
0,56	185	195	189	197	184
0,58	183	194	187	195	182
0,60	179	192	184	194	180
0,62	176	190	181	192	177
0,64	172	187	178	190	175
0,66	168	184	174	188	172
0,68	163	181	170	185	169
0,70	158	177	165	181	165
0,72	152	172	160	177	162
0,74	147	167	154	172	159
0,76	141	161	148	166	155

Osa II – MITOITUSESIMERKIT

Tässä osassa esitetään kolmetoista mitoitusmerkkiä, jotka havainnollistavat mitoitusääntöjen käyttöä. Esimerkit ovat:

Mitoitusmerkki 1

Aksiaalisesti puristettu pyöreä rakenneputki.

Mitoitusmerkki 2

Poikkileikkausluokan 4 hitsattu I-pilari, johon kohdistuu aksiaalinen puristus ja taivutus.

Mitoitusmerkki 3

Poikkileikkausluokkaan 4 kuuluva katon taivutettu muotolevy.

Mitoitusmerkki 4

Rakenneputkien välinen väsytyskuormitettu hitsausliitos.

Mitoitusmerkki 5

Hitsausliitos.

Mitoitusmerkki 6

Ruuviliitos.

Mitoitusmerkki 7

Poikkileikkausluokkaan 4 kuuluva taivutettu levypalkki, jossa leikkauslommahdus on määräävä.

Mitoitusmerkki 8

Poikkileikkausluokkaan 4 kuuluva taivutettu levypalkki. Kestävyys pistekuormalle on määräävä.

Mitoitusmerkki 9

Taivutettu kylmämuovattu U-profiili, jossa on poikittaiset välituet puristetussa laipassa. Kiepahdus poikittaisten välitukien välillä on määräävä.

Mitoitusmerkki 10

Puristetun ja taivutetun rakenneputken palonkestävyys (30 min).

Mitoitusesimerkki 11

Poikkileikkausluokan 4 taivutettu trapetsin muotoinen muotolevy - vertailu, kun perusaine on joko kylmämuokattu tai hehkutettu

Mitoitusesimerkki 12

Reunajäykisteellinen kylmämuokatusta materiaalista tehty taivutettu C-profiili lattiapalkkina

Mitoitusesimerkki 13

Kylmämuokatusta materiaalista valmistetun taivutetun ja puristetun ristikon palomitoitus 30 min. palonkestolle

Esimerkkien 7 ja 8 levypalkit ovat duplex-terästä 1.4462. Muissa esimerkeissä teräs on austeniittinen teräs 1.4301 tai 1.4401.

Mitoitusesimerkkien marginaalissa olevat viittaukset tarkoittavan tämän käsikirjan kaavoja, yhtälöitä, taulukoita jne. ellei toisin mainita.