

# **Dimensionering av konstruktioner i rostfritt stål**

**(Tredje upplagan)**

Stålbyggnadsinstitutet är ett fristående industriforskningsinstitut som finansieras av dess ca 75 medlemsföretag, och genom projektbidrag från svenska, europeiska och internationella forskningsmedel. Stålbyggnadsinstitutet bedriver forskning och utveckling samt informerar och vidareutbildar kring användandet av stål i byggnadskonstruktioner.



Euro Inox is the European Market Development Association for Stainless Steel. Focussing, among other things, on building, the organisation contributes to a better understanding of stainless steel in market segments with a high growth potential. Electronic and printed publications, seminars and participation in targeted research projects are key elements of the activities. More information is available on the web site [www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org). To find out about the range of articles, papers, brochures, books and CD-ROMs, write to Euro Inox, Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80, 1030 Brussels, Belgium, Fax +32 2 706 82 69.

© 2006 Euro Inox and The Steel Construction Institute

ISBN 2-87997-209-4  
(1<sup>st</sup> edition 2002: ISBN 2-87997-042-3)

Euro Inox and The Steel Construction Institute have made every effort to ensure that the information presented here is technically correct. However, the reader is advised that the material contained therein is for general information purposes only. Euro Inox, The Steel Construction Institute and any other contributor specifically disclaim any liability or responsibility for loss, damage or injury, resulting from the use of the information contained in this publication.

CD-ROM, 7 languages	ISBN 2-87997-037187-X
English version	ISBN 2-87997-204-3
Finnish version	ISBN 2-87997-208-6
French version	ISBN 2-87997-205-1
German version	ISBN 2-87997-210-8
Italian version	ISBN 2-87997-206-X
Spanish version	ISBN 2-87997-207-8

# FÖRORD

## Tredje upplagan

Den tredje upplagan av denna publikation har utarbetats inom ramen för RFCS projektet - *Valorisation Project – Structural design of cold worked austenitic stainless steel* (contract RFS2-CT-2005-00036). Det är en komplett revidering av andra upplagan, inklusive en utvidgning av avsnitten om kallbearbetat rostfritt stål och uppdatering av hänvisningar till Eurokoderna. Den tredje upplagan hänvisar till relevanta delar i SS-EN 1990, SS-EN 1991 och EN 1993. Branddimensioneringen i avsnitt 7 har uppdaterats och nya avsnitt om rostfria ståls beständighet i mark och livscykelkostnader har tillkommit. Tre nya dimensioneringsexempel med kallbearbetat rostfritt stål har införts. Dessa har tagits fram av:

- **Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)**
- **Stålbyggnadsinstitutet (SBI)**
- **Technical Research Centre of Finland (VTT)**

Arbetet har styrts via en styrkommitté och i huvudsak utförts av The Steel Construction Institute. Följande organisationer har medverkat i framtagandet av denna av den tredje upplaga:

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

## Tillkännagivande

Stålbyggnadsinstitutet riktar ett stort tack till Marcus Andersson, Outokumpu Stainless AB för översättning av tillkommande delar för den svenska utgåvan samt till Prof. Bernt Johansson och Tekn.Dr. Anders Olsson för granskningen av innehållet. Vidare framförs ett varmt tack till RFCS och Euro Inox för finansiering av arbetet.

## Förord till andra upplagan

Denna publikation har tagits fram som en slutredovisning av det av Europeiska kol- och stålunionen (ECSC) finansierade projektet, *Valorisation Project – Development of the use of stainless steel in construction* (kontrakt 7215-PP-056). Utredningsarbetet har gjorts av the Steel Construction Institute med stöd av övriga deltagare i projektet. Den är en fullständig revidering av *Design manual for structural stainless steel*, som togs fram av Steel Construction Institute mellan 1989 och 1992 och publicerades av Euro Inox 1994.

Den nya utgåvan beaktar de framsteg i kunskaper om verkningssättet hos konstruktioner i rostfritt stål som gjorts under de senaste 10 åren. Speciellt innehåller den de nya dimensioneringsrekommendationerna från det nyligen avslutade ECSC-finansierade projektet *Development of the use of stainless steel in construction* (kontrakt 7210-SA/842), vilket har lett till att publikationen har utökats till att omfatta även runda rör och brandteknisk dimensionering. Under de senaste 10 åren har det utgivits ett stort antal nya europeiska standarder som behandlar rostfritt stålmaterial, fästelement, tillverkning, montering, svetsning etc. Publikationen har uppdaterats med hänsyn till aktuella standarder och data i dessa.

En styrgrupp för projektet, med representanter från varje deltagande och stödjande organisation, övervakade arbetet och medverkade till att ta fram publikationen.

Dimensioneringsexemplen togs fram av följande deltagande organisationer:

- Luleå Tekniska Universitet
- VTT Statens Tekniska Forskningscentral, Finland
- RWTH Aachen
- Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)
- The Steel Construction Institute (SCI)

Följande personer ingick i styrgruppen och/eller tog fram dimensioneringsexemplen:

Nancy Baddoo	The Steel Construction Institute
Massimo Barteri	Centro Sviluppo Materiali (CSM)
Bassam Burgan	The Steel Construction Institute
Helena Burstrand Knutsson	Stålbyggnadsinstitutet (SBI)
Lars Hamrebjörk	Stålbyggnadsinstitutet (SBI)
Jouko Kouhi	VTT Statens Tekniska Forskningscentral, Finland
Roland Martland	Health and Safety Executive (UK)
Enrique Mirambell	Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Anders Olsson	AvestaPolarit AB (publ) (tid. Luleå Tekniska Universitet)
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 Statens Tekniska Forskningscentral, Finland

## Tillkännagivande

Stålbyggnadsinstitutet riktar ett stort tack till Civ.Ing. Kurt Lundin för översättningen av den svenska utgåvan samt till Prof. Bernt Johansson och Tekn.Dr. Anders Olsson för granskningen av innehållet. Ett varmt tack framförs till följande organisationer som gav finansiellt stöd till projektet:

- Europeiska kol- och stålunionen (ECSC)
- Euro Inox
- Health and Safety Executive (UK)

# ANVISNINGAR TILL LÄSAREN

Denna publikation har tagits fram som en vägledning för ingenjörer med erfarenhet av dimensionering av bärande konstruktioner i kolstål, men inte nödvändigtvis av konstruktioner i rostfritt stål. Den är inte på något sätt avsedd att ha en legal status eller att frita ingenjören från ansvaret för att konstruktionen blir säker och funktionell.

Publikationen består av två delar:

- Del I - Rekommendationer
- Del II - Beräkningsexempel

Rekommendationerna i Del I baseras på partialkoefficientmetoden och följer, i tillämpliga delar, reglerna i följande delar av Eurocode 3 *Design of steel structures*,

EN 1993-1-1 *Design of steel structures: General rules and rules for buildings*

EN 1993-1-2 *Design of steel structures: Structural fire design*

EN 1993-1-3 *Design of steel structures: General rules: Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting*

EN 1993-1-4 *Design of steel structures: General rules: Supplementary rules for Stainless steels*

EN 1993-1-5 *Design of steel structures: Plated structural elements*

EN 1993-1-8 *Design of steel structures: Design of joints*

EN 1993-1-9 *Design of steel structures: Fatigue*

EN 1993-1-10 *Design of steel structures: Material toughness and through-thickness properties*

Denna publikation ger rekommenderade värden för vissa storheter. Dessa värden kan modifieras på nationell nivå, genom nationella bilagor.

Dimensioneringsexemplen i del II visar användningen av rekommendationerna. Ett system med hänvisningar anger det avsnitt i exemplen som motsvarar en viss rekommendation.

Rekommendationerna och dimensioneringsexemplen finns tillgängliga online på Steelbiz, ett tekniskt informationssystem från SCI ([www.steelbiz.org](http://www.steelbiz.org)), och från Euro Inox webbplats ([www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)). En kommentardel till rekommendationerna, som innefattar en fullständig lista med referenser, finns också tillgänglig online på dessa webbplatser. Syftet med kommentardelen är att ge konstruktören möjlighet att bedöma grunderna för rekommendationerna och att underlätta arbetet med revideringar, när nya data blir tillgängliga. Man har utnyttjat tillfället att presentera resultaten av olika provningsprogram som har genomförts speciellt för att ge bakgrundsdata till publikationen.

Rekommendationer, beräkningsexempel och kommentarer finns också tillgängliga på en CD från Euro Inox.

Ett dimensioneringsverktyg finns tillgängligt på [www.steel-stainless.org/software](http://www.steel-stainless.org/software) att dimensionera kallformade konstruktionselement i rostfritt stål utsatta för axiell dragning, böjning eller axiellt tryck. Dimensioneringshjälpmedlen beäknar tvärsnittsstorheter och bärförmåga enligt rekommendationerna i denna publikation.

De rekommendationer för dimensioneringen som presenteras i detta dokument baseras på bästa tillgängliga kunskap vid tiden för publiceringen. Dock kan inget ansvar av något slag för personskada, dödsfall, förlust, sakskada eller försening, oavsett orsak, som uppstått genom användning av rekommendationerna, accepteras av deltagarna i projektet eller övriga som medverkat i arbetet med publikationen



# Innehåll

## Del I – Rekommendationer

1	INLEDNING	1
1.1	Omfattning	1
1.2	Beteckningar	1
1.3	Regler för beteckning av axlar	3
1.4	Enheter	3
2	GRUNDER FÖR DIMENSIONERINGEN	5
2.1	Allmänna krav	5
2.2	Dimensionering i gränstillstånd	5
2.3	Laster	7
3	MATERIAL: EGENSKAPER, VAL OCH BESTÄNDIGHET	10
3.1	Material	10
3.2	Mekaniskt verknings sätt och dimensioneringsvärden för egensk.	15
3.3	Fysikaliska egenskaper	20
3.4	Effekter av temperatur	20
3.5	Livscykelkostnad	21
3.6	Val av material	21
3.7	Beständighet	24
4	EGENSKAPER HOS TVÄRSNITT	32
4.1	Allmänt	32
4.2	Största bredd-tjockleksförhållande	32
4.3	Klassificering av tvärsnitt	32
4.4	Effektiva bredder	36
4.5	Avstyvade tvärsnittsdelar	41
4.6	Beräkning av tvärsnittsstorheter	44
4.7	Tvärsnitts bärförmåga	47
5	DIMENSIONERING AV KONSTRUKTIONSELEMENT	52
5.1	Inledning	52
5.2	Dragna konstruktionselement	52
5.3	Tryckta konstruktionselement	52
5.4	Böjbelastade element	56
5.5	Konstruktionselement påverkade av axiallast och böjmoment	65
6	UTFORMNING OCH DIMENSIONERING AV FÖRBAND	67
6.1	Allmänna rekommendationer	67
6.2	Skruvförband	68
6.3	Fästelement för tunnplåt	73
6.4	Svetsförband	74
7	BRANDTEKNISK DIMENSIONERING	78
7.1	Allmänt	78
7.2	Mekaniska egenskaper vid förhöjd temperatur	78
7.3	Termiska egenskaper vid förhöjd temperatur	81
7.4	Bestämning av bärförmåga vid brand	82
8	UTMATTNING	89

9	PROVNING	90
9.1	Allmänt	90
9.2	Bestämning av spännings-töjningskurvan	90
9.3	Provning av element	90
10	TILLVERKNINGSASPEKTER	92
10.1	Inledning	92
10.2	Lagring och hantering	92
10.3	Formningsoperationer	93
10.4	Svetsning	95
10.5	Hopskärning	99
10.6	Slutbearbetning	99
Bilaga A	Jämförelse mellan beteckningar för rostfritt stål	101
Bilaga B	Vippning	103
Bilaga C	Materialdata för nedböjningsberäkningar	107
<b>Del II - DIMENSIONERINGSEXEMPEL</b>		
	Design example 1	111
	Design example 2	113
	Design example 3	117
	Design example 4	125
	Design example 5	129
	Design example 6	137
	Design example 7	143
	Design example 8	149
	Design example 9	155
	Design example 10	163
	Design example 11	171
	Design example 12	177
	Design example 13	185



# 1 INLEDNING

## 1.1 Omfattning

Rekommendationerna i publikationen är tillämpliga på de typer av material i rostfritt stål som är typiska för bärande ändamål. De är i första hand avsedda för dimensionering av konstruktionselement och sekundära bärande komponenter i byggnader, offshoreanläggningar och liknande konstruktioner. De bör inte tillämpas på speciella konstruktioner såsom i kärnkraftsanläggningar eller tryckkärl, för vilka det redan finns särskilda standarder för användning av rostfritt stål.

Rekommendationerna berör aspekter på materialbeteende, dimensionering av svetsade och kallformade element och anslutningarna mellan dessa. De gäller för de austenitiska och duplexa rostfria stål som är typiska för bärande eller arkitektoniska tillämpningsområden.. Rekommendationerna baseras på partialkoefficientmetoden.

## 1.2 Beteckningar

I allmänhet är de beteckningar som används i denna publikation desamma som i EN1993-1-1, *Eurokod 3. Dimensionering av stålkonstruktioner – allmänna regler och regler för byggnader*. Index används i stor omfattning, t ex är  $N_{b,z,Rd}$  den dimensionerande bärförmågan (index Rd) för en pelare utsatt för axiallast (N) med hänsyn till knäckning (index b) i veka riktningen (index z).

Mått och tvärsnittsaxlar visas i Figur 1.1. Observera att, till skillnad från normal praxis i många länder, är tvärsnittets styva axel normalt y-y och veka axeln z-z, se avsnitt 1.3.

### **Latinska versaler**

<i>A</i>	Olyckslast; Area
<i>C</i>	Fixerat värde; Faktor
<i>E</i>	Elasticitetsmodul; Effekt av laster
<i>F</i>	Last; Kraft
<i>G</i>	Permanent last; Skjuvmodul
<i>I</i>	Tröghetsmoment
<i>L</i>	Längd; Spännvidd; Systemlängd
<i>M</i>	Böjmoment
<i>N</i>	Axialkraft
<i>Q</i>	Variabel last
<i>R</i>	Bärförmåga
<i>V</i>	Tvärkraft
<i>W</i>	Böjmotstånd

### **Grekiska versaler**

$\Delta$	Ändring i ..... (står före huvudsymbolen)
----------	---

### **Latinska gemener**

<i>a</i>	Avstånd mellan avstyvningar; a-mått
<i>b</i>	Bredd
<i>c</i>	Avstånd; Bredd på utstickande del
<i>d</i>	Diameter; Djup
<i>e</i>	Excentricitet; Förskjutning av neutrallager; Kantavstånd; Ändavstånd
<i>f</i>	Hållfasthet
<i>g</i>	Spalt

<i>h</i>	Höjd
<i>i</i>	Tröghetsradie; Heltal
<i>k</i>	Koefficient; Faktor
<i>l</i>	Knäckningslängd
<i>m</i>	Konstant
<i>n</i>	Antal ...
<i>p</i>	Delning
<i>q</i>	Fördelad kraft
<i>r</i>	Radie
<i>s</i>	Delning vid förskjutna hål
<i>t</i>	Tjocklek
<i>uu</i>	Styv huvudaxel
<i>vv</i>	Vek huvudaxel
<i>w</i>	Deformation av skålning
<i>xx, yy, zz</i>	Rätvinkliga axlar

### **Grekiska gemener**

$\alpha$	(alfa)	Förhållande; Faktor
$\beta$	(beta)	Förhållande; Faktor
$\gamma$	(gamma)	Partialkoefficient
$\varepsilon$	(epsilon)	Töjning; Koefficient = $\left(\frac{235 E}{210000 f_y}\right)^{0,5}$
$\lambda$	(lambda)	Slankhetsparameter
$\rho$	(ro)	Reduktionsfaktor
$\sigma$	(sigma)	Normalspänning
$\tau$	(tau)	Skjuvspänning
$\varphi$	(fi)	Förhållande
$\chi$	(chi)	Reduktionsfaktor (för instabilitet)
$\psi$	(psi)	Spänningsförhållande; Reduktionsfaktor

### **Index**

a	Medeltal
b	Kontakttryck; Instabilitet; Skruv
c	Tvårsnitt
cr	Kritisk
d	Dimensioneringsvärde
E	Euler; Lasteffekt
eff	Effektiv
e	Effektiv (med ytterligare index)
el	Elastisk
f	Fläns
g	Brutto
<i>i,j,k</i>	Index (ersätt med siffra)
k	Karakteristisk
LT	Vippning
M	(Med hänsyn till) böjmoment
N	(Med hänsyn till) axialkraft
net	Netto
o	Initial
pl	Plastisk
R	Bärförmåga
r	Reducerat värde
S	Sekant

s	Dragspänning; Avstyvning
t	Dragning; Vridning
u	Styv huvudaxel; Brott
V	(Med hänsyn till) tvärkraft
v	Skjuvning; Vek huvudaxel
w	Liv; Svets; Vältning
x	Axel längs elementet
y	Flytning; Tvärsnittsaxel (styv huvudaxel med undantag för osymmetriska tvärsnitt)
z	Tvärsnittsaxel (vek huvudaxel med undantag för osymmetriska tvärsnitt)
$\sigma$	Normalspänning
$\tau$	Skjuvspänning

### 1.3 Regler för beteckning av axlar

Allmän regel för beteckning av axlar:

xx	längs elementet
yy	tvärsnittsaxel vinkelrätt mot livet, eller den större skänkeln vid vinkelprofiler
zz	tvärsnittsaxel parallellt med livet, eller den större skänkeln vid vinkelprofiler

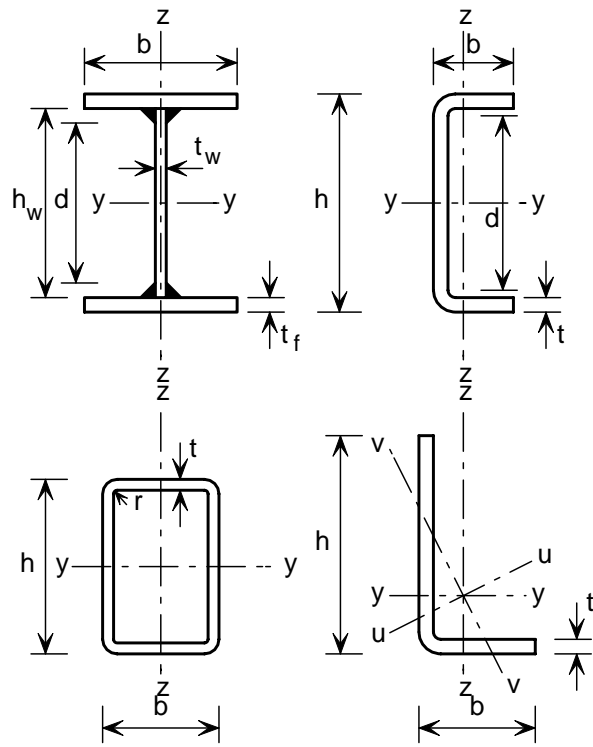
yy-axeln är normalt tvärsnittets styva huvudaxel och zz-axeln är normalt veka huvudaxeln. För vinkelprofiler lutar huvudaxlarna (uu och vv) i förhållande till yy- och zz-axlarna, se Figur 1.1.

Moment betecknas efter momentvektorns riktning. För ett I-tvärsnitt betecknar t ex  $M_y$  ett böjmoment som verkar i livets plan, eftersom momentvektorn ligger vinkelrätt mot livet.

### 1.4 Enheter

I beräkningar rekommenderas följande enheter:

- krafter och laster kN, kN/m, kN/m<sup>2</sup>
- densitet kg/m<sup>3</sup>
- tunghet kN/m<sup>3</sup>
- spänningar och hållfasthet MPa (=N/mm<sup>2</sup> eller MN/m<sup>2</sup>)
- böjmoment kNm



**Figur 1.1** Mått och tvärsnittsaxlar

## 2 GRUNDER FÖR DIMENSIONERINGEN

### 2.1 Allmänna krav

En konstruktion bör utformas och tillverkas så att den kan:

- förbli funktionsduglig under den avsedda livslängden
- klara de laster som kan uppträda under uppförande och användning
- begränsa omfattningen av skada på grund av olyckslaster
- ha lämplig beständighet med hänsyn till underhållskostnader

Ovanstående krav kan uppfyllas genom att man använder lämpliga material, gör en lämplig dimensionering och detaljutformning samt specificerar procedurer för kvalitetskontroll av utförande och underhåll.

Konstruktioner bör dimensioneras med hänsyn till alla relevanta gränstillstånd.

### 2.2 Dimensionering i gränstillstånd

Gränstillstånd är stadier som, om de överskrids, gör konstruktionen oförmögen att uppfylla funktionskrav. Det finns två vedertagna typer av gränstillstånd: brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd. Brottgränstillstånd är stadier som, om de överskrids, kan leda till att hela konstruktionen eller delar av den kollapsar med fara för människors säkerhet. Bruksgränstillstånd motsvarar stadier, bortom vilka specificerade krav vid normal användning inte längre uppfylls. Gränstillstånd som har med beständighet att göra kan vara brottgräns- eller bruksgränstillstånd beroende på om, exempelvis, korrosionen påverkar konstruktionens bärförmåga eller dess utseende. Exempel på dessa gränstillstånd ges nedan:

#### Brottgränstillstånd

- Bärförmåga (som innefattar allmän flytning, bristning, instabilitet och övergång till mekanism)
- Stabilitet mot stjälpning och svängning
- Utmattningsbrott

#### Bruksgränstillstånd

- Nedböjning
- Vibration (t ex vindinducerad)
- Reparabel utmattningsskada
- Krypning

#### Gränstillstånd för beständighet

- Korrosion
- Metallurgisk stabilitet

### **Brottgränstillstånd**

För brottgränstillstånd bör samband av följande form uppfyllas

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

där:

- $E_d$  är dimensioneringsvärdet av lasteffekten uttryckt som moment eller krafter i det studerade elementet orsakade av de laster (, se avsnitt 2.3) som verkar på konstruktionen, och
- $R_d$  är motsvarande dimensionerande bärförmåga, enligt tillämpligt avsnitt i dessa rekommendationer

Den dimensionerande bärförmågan,  $R_d$ , anges allmänt som  $R_k/\gamma_M$  där  $R_k$  är en karakteristisk bärförmåga och  $\gamma_M$  en partialkoefficient. Partialkoefficienten  $\gamma_M$  antar olika värden. Tabell 2.1 anger de  $\gamma_M$ -värden som är rekommenderade i EN 1993-1-4, och EN 1993-1-8. De svenska nationella bilagorna till dessa standarder är inte fastställda vid denna publikations tryckning men enligt föreliggande förslag kommer vissa värden att avvika från de rekommenderade värdena som ges i Tabell 2.1. Det är värdena i den nationella bilagan som ska användas i Sverige.

Om det inte finns någon nationell bilaga tillgänglig bör  $\gamma_M$ -värdena överenskommas med vederbörande myndighet.

Som ett alternativ till beräkning kan den dimensionerande bärförmågan bestämmas genom provning av material, komponenter och konstruktioner (se kapitel 9).

**Tabell 2.1 Rekommenderade värden på  $\gamma_M$**

Bärförmåga för:	Symbol	Värde (EN 1993-1-4)
Tvärsnitt utsatta för påtaglig flytning inklusive buckling	$\gamma_{M0}$	1,10
Bärverksdelar med hänsyn till stabilitet	$\gamma_{M1}$	1,10
Tvärsnitt i drag till brott (nettotvärsnitt vid skruvhål)	$\gamma_{M2}$	1,25
Skruv-, svets- och nitförband (inklusive hålkanttryck)	$\gamma_{M2}$	1,25
Bärförmåga för:	Symbol	Värde (EN 1993-1-8)
Förband i fackverksbalkar av hålprofiler	$\gamma_{M5}$	1,00
Nitförband i bruksgränstillstånd	$\gamma_{M6,ser}$	1,00

### **Bruksgränstillstånd**

motsvarande samband för bruksgränstillstånd är:

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

där:

- $E_d$  är dimensioneringsvärdet för effekter av laster specificerade i bruksgränstillståndet, t ex ett elements nedböjning av bruksgränslast ( $F_k$ , se avsnitt 2.3.4), och
- $C_d$  är det begränsande konstruktionsvärdet för det relevanta bruksgränsstadiet.

## Gränstillstånd för beständighet

Dessa tillstånd kräver att man beaktar de korrosionsfenomen som behandlas i avsnitt 3.7.

## 2.3 Laster

### 2.3.1 Allmänt

I Eurokoderna uttrycks påverkningarna i form av 'laster'. En 'last' definieras som:

- En uppsättning krafter (laster) som appliceras på konstruktionen (direkt last),
- En uppsättning tvång eller accelerationer förorsakade av t ex temperaturändringar, fuktvariationer, ojämn sättning eller jordbävningar (indirekt last).

Karakteristiska värden ( $F_k$ ) för individuella laster anges:

- i EN 1991 *Laster på bärverk* (med möjliga tillägg och/eller ändringar i den nationella bilagan) eller andra tillämpligaregler, eller
- av byggherren, eller konstruktören i samråd med byggherren, under förutsättning att de minimivillkor som anges i tillämpliga lastbestämmelser eller av vederbörande myndighet beaktas.

Dimensioneringsvärdet för enskild last ( $F_d$ ) bildas genom att multiplicera karakteristisk last med en partialkoefficient för laster ( $\gamma_F$ ).

Det dimensionerande fallet fastställs genom att man beaktar alla realistiska lastkombinationer och identifierar den som är avgörande.

### 2.3.2 Brottgränstillstånd – Laster för konstruktioner på land

Man skiljer på följande typer av laster:

- "Permanent" laster ( $G$ ) – t ex egentyngden av konstruktioner, fast inredning
- "Variabla" laster ( $Q$ ) t ex pålagda laster, vindlaster, snölaster och termiska laster
- Olyckslaster ( $A$ ) – t ex explosioner, brand och påkörningskrafter

SS-SS-EN 1990 - *Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* ger lastkombinationer som bör användas vid dimensionering av byggnader samt rekommenderade värden på partialkoefficienter för laster ( $\gamma_F$ ). Man bör även studera den nationella bilagan till SS-EN 1990 för det land för vilket konstruktionen dimensioneras, eftersom det kan ge andra värden på  $\gamma_F$  som bör användas istället för de inramade värdena. I den finns också rekommenderade värden på kombinationsfaktorer ( $\psi$ -faktorerna) och icke gynnsam permanent last ( $\xi$ -faktorn) (Om det inte finns någon nationell bilaga ska  $\gamma_F$ -,  $\psi$ - och  $\xi$ -faktorerna överenskommas med relevant nationell instans.) Numeriska värden för laster anges i den nationella bilagan till SS-EN 1991.

För normal tillämpning, dvs i situationer som inte innefattar olyckor, kombineras laster enligt EN 1990 som:

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

eller alternativt som det minst fördelaktiga av följande uttryck

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

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

där:

- $G_{k,j}$  är det karakteristiska värdet på den permanenta lasten
- $Q_{k,1}$  är det karakteristiska värdet på variabla huvudlasten d.v.s. den ogynnsammaste variabla lasten
- $Q_{k,i}$  är det karakteristiska värdet på övriga variabla laster  $i$
- $j$  är index för permanent last
- $i$  är index för variabel last
- $\gamma_{G,j}$  är partialkoefficienten för permanenta laster  $G_{k,j}$
- $\gamma_{Q,1}$  är partialkoefficienten för den variabla huvudlasten 1
- $\xi_j$  är en reduktionsfaktor för icke gynnsamma permanenta laster  $G$
- $\psi_{0,i}$  är en reduktionsfaktor för kombinerade värden av en variabel last  $Q_{k,i}$ .

I den svenska nationella bilagan anges att ekvationerna 2.4a och 2.4b ska användas och att lasteffekten ska multipliceras med en koefficient  $\gamma_d$  som beror av säkerhetsklassen med värden 1,0, 0,91 och 0,83 för säkerhetsklass 3, 2 respektive 1.

Följande värden ges i SS-EN 1990 gällande i Sverige:

$$\begin{aligned} \gamma_{G,j} &= 1,35 \text{ (för icke gynnsam inverkan)} \\ \gamma_{Q,1} &= 1,5 \quad \gamma_{Q,i} = 1,5 \\ \xi &= 0,85 \end{aligned}$$

Värdet på  $\psi_0$  beror på typen av last (se SS-EN 1990).

Ekvation 2.4a och 2.4b introducerades eftersom Ekvation 2.3 var överdrivet konservativ för tunga konstruktioner. För stålkonstruktioner resulterar Ekvation 2.4a och 2.4b generellt i lägre laster än Ekvation 2.3.

### 2.3.3 Brottgränstillstånd – Laster för offshorekonstruktioner

Uppgifter kan hämtas i API RP2A - LRFD *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Load and Resistance Factor Design*, First Edition, 1993.

Följande dimensionerande lastkombinationer från API RP2A för konstruktion i drift föreslås för användning i denna publikation tillsammans med de laster som anges i API RP2A för dimensionering av rostfria komponenter i överbyggnader. Beteckningarna är de som används i API RP2A.

#### **Driftförhållanden:**

$$1,3D_1 + 1,3D_2 + 1,5L_1 + 1,5L_2 + 1,2(W_0 + 1,25D_n) \quad (2.5)$$

#### **Extrema stormförhållanden:**

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



När inre krafter av gravitationslaster verkar i motsatt riktning mot inre krafter av vind, vågor och strömmar bör gravitationslasterna reduceras så att man använder:

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

där:

- $D_1$  är den ständiga last som innefattar egentygnd av konstruktioner, fast inredning och permanent utrustning
- $D_2$  är den ständiga last som innefattar tyngden av utrustning och andra objekt som kan ändras från den ena till den andra driftformen
- $L_1$  är variabel last 1 (innefattar tyngden av förbrukningsmaterial i rörledningar och behållare)
- $L_2$  är variabel last 2 (laster med kort varaktighet som uppstår genom operationer såsom lyftning av borrhång, kranlyft, drift av maskiner, förtöjning av fartyg och helikopterlaster)
- $W_o$  är de av operatören definierade lasterna eller effekterna av vind, vågor och strömmar
- $W_e$  är extrema laster eller effekter av vind, vågor och strömmar (100 års återkomsttid)
- $D_n$  är tröghetskrafter

### 2.3.4 Laster för bruksgränstillstånd

Bruksgränstillståndet bör kontrolleras för följande kombinationer:

- karakteristisk
- vanlig
- kvasipermanenta lastkombinationer

SS-EN 1990 ger kombinationer av laster som används vid byggnadskonstruktioner. (Referenser bör även göras till den nationella bilagan för det land där konstruktionen dimensioneras.) I SS-EN 1990 anges även att den acceptabla nedböjningen ska överenskommas med byggherren.

För den karakteristiska lastkombinationen, normalt använd för att kontrollera permanent skada, bör följande lastkombinationer användas:

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

där alla termer definieras i avsnitt 2.3.2.

EN 1990 ger tillämpliga lastkombinationer att användas i följande situationer:

- för att beräkna nedböjningar under normala lastkombinationer (avsnitt A.1.4.3(1)),
- när långtidsdeformation på grund av krympning, relaxation eller krypning behöver beaktas (avsnitt A.1.4.3(6)),
- om konstruktionens funktion, brukarens komfort eller konstruktionens inverkan på maskinens funktion beaktas (avsnitt A.1.4.3(4) och (5)).

# 3 MATERIAL: EGENSKAPER, VAL OCH BESTÄNDIGHET

## 3.1 Material

### 3.1.1 Inledning

Det finns många olika typer av rostfria stål. Alla dessa är inte lämpade för bärande ändamål, speciellt inte där man tänker använda svetsning. Det finns fem huvudgrupper av rostfritt stål, som indelas efter den metallurgiska strukturen: dessa är de austenitiska, ferritiska, martensitiska, duplexa och utskiljningshärdande grupperna. De austenitiska och de duplexa rostfria stålen är i allmänhet de mest användbara grupperna för bärande ändamål.

Austenitiska rostfria stål erbjuder en god kombination av korrosionsmotstånd, formnings- och tillverkningsegenskaper. Duplexa rostfria stål har hög hållfasthet och slitstyrka med mycket god motståndsförmåga mot spänningsskorrosionsprickor.

De mest allmänt använda materialen, som benämns de austenitiska standardmaterialen, är 1.4301 (allmänt känt som 304) och 1.4401 (allmänt känt som 316). De innehåller 17-18 % krom och 8-11 % nickel. Stålsort 1.4301 är lämpligt för lant-, stads- och lätt industrimiljö medan material 1.4401 är högre legerat och bättre lämpat för marin och industriell miljö.

De lågkolhaltiga varianterna av dessa material är 1.4307 (304L) och 1.4404 (316L). Material 1.4301 och 1.4401 gjordes tidigare med betydligt högre kolhalter med konsekvenser för korrosionsegenskaperna<sup>1</sup>. Antingen borde ett 'L'-material eller ett stabiliserat stål som 1.4541 och 1.4571 ha använts där man var orolig för korrosionsbeteendet i svetsat skick.

Stålsort 1.4318 är ett lågkolhaltigt rostfritt stål, med hög kvävehalt som deformationshårdnar mycket snabbt vid kallbearbetning. Materialet har länge även använts i järnvägsindustrin och är lika lämpligt för applikationer inom fordonsindustri, flygindustri och arkitektur. Stålsort 1.4318 har liknande korrosionsmotstånd som 1.4301 och är bäst lämpat för applikationer som kräver högre hållfasthet än 1.4301 och där det behövs stora volymer. Det kan anskaffas direkt från tillverkaren; föreskrivare som är intresserade av att använda 1.4318 bör kontrollera tillgängligheten direkt med tillverkaren. Priset kommer troligen att vara något högre än för 1.4301, beroende på beställd volym.

En ökad användning av rostfritt stål för lastbärande applikationer har lett till efterfrågan på låglegerade duplexa stål, s.k. "Lean Duplex", där de goda mekaniska egenskaperna kombineras med en lägre legerad sammansättning. I de kommande delarna 4 och 5 av EN 10088 (se avsnitt 3.1.2), är den nyligen utvecklade duplexa stålsorten 1.4162 inkluderad. Stålsort 1.4162 är ett konstruktionsstål med en 0,2-gräns i området 450 – 530 N/mm<sup>2</sup> och med ett korrosionsmotstånd som ligger mellan de austenitiska stålsorterna 1.4301 och 1.4404.

Endast den valsade versionen, till skillnad från den gjutna avses. Vägledning för materialval för särskilda applikationer ges i avsnitt 3.6.

---

<sup>1</sup> Kol i stålet reagerar med krom och utskiljer kromkarbider i korngränserna vid vissa termiska cykler, t ex i de värmepåverkade zonerna vid svetsar (HAZ). Den lokala förlusten av krom från korngränsområdet till karbidpartiklarna medför företrädesvis interkristallina korrosionsangrepp och stålet sägs vara *sensibiliserat*, eller drabbat av *svetsfrätning* (se 3.7.2).

### 3.1.2 Tillämpliga standarder

#### **Platta och långa produkter**

Tillämplig standard är SS-EN 10088, *Rostfria stål*. Den består av tre delar:

- Del 1: *Förteckning över rostfria stål* ger kemisk sammansättning och referensdata för vissa fysikaliska egenskaper såsom elasticitetsmodulen, *E*.
- Del 2: *Tekniska leveransbestämmelser för plåt och band av korrosionsbeständiga stål för allmänna ändamål* ger tekniska egenskaper och kemisk sammansättning för korrosions beständiga stål som används vid formning av bärande element.
- Del 3: *Tekniska leveransbestämmelser för halvfabrikat, stång, valstråd, tråd, profiler och blanka produkter av korrosionsbeständiga stål för allmänna ändamål* ger tekniska egenskaper och kemisk sammansättning för material som används i långa produkter.

Del 4 (platta produkter) och 5 (långa produkter) för byggnadsändamål i 10088 är nu under beredning för att täcka material för konstruktionsändamål. De publiceras sannolikt under 2007.

Beteckningssystemet som används i SS-EN 10088 är det europeiska stålnumret och ett stålnamn.

Till exempel har stålsorten 304L ett stålnummer 1.4307, där:

<b>1.</b>	<b>43</b>	<b>07</b>
Betecknar stål	Betecknar en grupp av rostfria stål	Individuell identifiering av material

Namnsystemet ger viss upplysning om stålets sammansättning. Namnet på materialet med nummer 1.4307 är X2CrNi18-9, där:

<b>X</b>	<b>2</b>	<b>CrNi</b>	<b>18-9</b>
Betecknar höghållfast stål	100 x kolhalten (%)	Kemisk beteckning för de viktigaste legeringselementen	% av de viktigaste legeringselementen

Varje rostfritt stål har ett unikt motsvarande stålnummer. I Bilaga A finns en tabell som visar beteckningarna för jämförbara rostfria stålmaterial i olika nationella och europeiska standarder.

Tabell 3.1 ger specificerade minimivärden på mekaniska egenskaper för vanliga rostfria stål enligt SS-EN 10088-2. Dessa ståls kemiska sammansättning ges i Tabell 3.2.

Både austenitiska och duplexa rostfria stål kan förutsättas vara tillräckligt sega och inte sprödbrottsbenägna för drifttemperaturer ned till - 40°C.

Karakteristiska värden på de mekaniska egenskaperna anges i avsnitt 3.2.4.

**Tabell 3.1** Specificerade mekaniska egenskaper för vanliga rostfria stål enligt EN 10088-2

	Material	Produktform <sup>(1)</sup>	Största tjocklek (mm)	0.2%-gräns <sup>(2)</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) min	Brottgräns vid dragning (N/mm <sup>2</sup> )	Brottför-längning
Austenitiska krom-nickelstål	1.4301	C	8	230	540 – 750	45 <sup>(3)</sup>
		H	13,5	210	520 – 720	45 <sup>(3)</sup>
		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
Austenitiska molybdenkrom-nickelstål	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
Stabiliserade austenitiska stål	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
Lågkolhaltiga, kvävelegerade austenitiska stål	1.4318	C	8	350	650 – 850	35
		H	13,5	330	650 – 850	35
		P	75	330	630 – 830	45
Duplexa stål	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

Anm:

(1) C= kallvalsat band, H= varmvalsat band, P= varmvalsad plåt

(2) Egenskaper i tvärriktningen

(3) För sträckriktat material är minimivärdet 5% lägre

**Tabell 3.2** *Kemisk sammansättning enligt EN 10088-2*

Material	Legeringshalt (max-värde eller tillåtet intervall) vikt-%				
	C	Cr	Ni	Mo	Övriga
Austenitiska stål	1.4301	0,07	17,5 – 19,5	8,0 – 10,5	
	1.4307	0,03	17,5 – 19,5	8,0 – 10,5	
	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 <sup>(1)</sup>
	1.4571	0,08	16,5 – 18,5	10,5 – 13,5	2,0 – 2,5 Ti: 5xC – 0,7 <sup>(1)</sup>
	1.4318	0,03	16,5 – 18,5	6,0 - 8,0	N: 0,1 – 0,2
Duplexa stål	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

Anm:

(1) Titan tillsätts för att stabilisera kol och förbättra korrosionsegenskaperna i de värmepåverkade zonerna vid svetsar. Med undantag för konstruktioner med mycket grova profiler har dock de titanstabiliserade austenitiska stål i stor utsträckning ersatts av de lätt tillgängliga lågkolhaltiga materialen 1.4307 och 1.4404.

### **Skrubar**

Rostfria skruvar täcks av EN ISO 3506, *Corrosion-resistant stainless steel fasteners*. Specifikationen ger kemisk sammansättning och mekaniska egenskaper för fästelement i de austenitiska, martensitiska och ferritiska grupperna. Andra material, som inte direkt behandlas i specifikationen, tillåts om de uppfyller kraven på fysikaliska och mekaniska egenskaper och har likvärdigt korrosionsmotstånd.

I EN ISO 3506, klassificeras skruv- och muttermaterial med en bokstav: "A" för austenitiska, "F" för ferritiska och "C" för martensitiska. Det rekommenderas att man använder austenitiska skruvar, med egenskaper enligt Tabell 3.3 och 3.4 (hämtad från EN ISO 3506). Bokstaven åtföljs av en siffra (1, 2, 3, 4 eller 5), som anger korrosionsmotståndet. Siffran 1 representerar det minst beständiga och 5 det mest beständiga materialet.

Stål i grupp A1 är speciellt avsedda för bearbetning. På grund av hög svavelhalt har stålen i denna grupp lägre korrosionsmotstånd än motsvarande stål med normal svavelhalt. Skruvar i grupp A1 bör användas med försiktighet, se avsnitt 3.6.1.

Stål i grupp A2 har ett korrosionsmotstånd som är likvärdig med material 1.4301. Stål i grupp A3 är stabiliserade rostfria stål med ett korrosionsmotstånd som är likvärdigt med material 1.4541. (Ett stabiliserat stål har en tillsats av ett starkt karbidbildande ämne såsom titan, som företrädesvis reagerar med kol, och förhindrar att det bildas kromkarbider.)

Stålsorterna i grupp A4 innehåller molybden och har ett korrosionsmotstånd som är likvärdig med material 1.4401. Stål i grupp A5 är stabiliserade rostfria stål med molybden och med egenskaper som material 1.4571.

Austenitiska skruvar kan erhållas i tre brottgränsklasser, se Tabell 3.3. Observera att värden måste överenskommas för grövre fästelement än M39 i brottgränsklass 50 och grövre än M24 i egenskapsklass 70 och 80, eftersom dessa värden beror på legeringen och tillverkningsmetoden.

Skruvar i brottgränsklass 50 är omagnetiska, medan de i brottgränsklass 70 och 80 kan uppvisa vissa magnetiska egenskaper.

Skruvar i brottgränsklass 50 är i mjukt tillstånd, vilket resulterar i det högsta korrosionsmotståndet. Brottgränsklasserna 70 och 80 är kallbearbetade, och detta kan påverka korrosionsmotståndet något. Skruvar i brottgränsklass 50 som har skurna gängor kan vara känsligare för att gängorna skär, se avsnitt 10.5.

Man bör tänka på att matcha hållfastheten och korrosionsmotståndet för skruvarna och grundmaterialet. EN 14399 ger föreskrifter för CE märkta skruvar.

**Tabell 3.3** Specificerade minimivärden på mekaniska egenskaper för skruvar och muttrar i austenitiskt material enligt EN ISO 3506

Material <sup>(1)</sup>	Egenskapsklass	Dimension	Skruvar		Muttrar
			Brottgräns vid dragning <sup>(2)</sup> (MPa)	0,2-gräns (MPa)	Hållfasthetsklass (MPa)
A1, A2, A3, A4 och A5	50	≤ M39	500	210	500
	70	≤ M24 <sup>(3)</sup>	700	450	700
	80	≤ M24 <sup>(3)</sup>	800	600	800

Anm:

- (1) Utöver de olika ståltyper som täcks av EN ISO 3506 i brottgränsklass 50, 70 och 80, kan andra ståltyper enligt SS-EN 10088-3 också användas.
- (2) Dragspänningen är beräknad på spänningsarean.
- (3) För fästelement med nominell gängdiameter  $d > 24$  mm bör de mekaniska egenskaperna överenskommas mellan användaren och tillverkaren samt markeras med materialbeteckning och brottgränsklass enligt denna tabell.

**Tabell 3.4** Kemisk sammansättning förskruvar enligt EN ISO 3506

Material	Kemisk sammansättning (viktprocent) <sup>(1)</sup>								
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	Övriga
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	- <sup>(2)</sup>	1,0	2,0	0,05	0,03	
A3	0,08	17,0 - 19,0	9,0 - 12,0	- <sup>(2)</sup>	1,0	2,0	0,045	0,03	Antingen Ti: ≥ 5xC – 0,8 eller 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	Antingen Ti: ≥ 5xC – 0,8 eller Nb/Ta: ≥ 10xC – 1,0

Anm:  
(1) Värdena är max-värden om inte annat anges  
(2) Molybden kan ingå enligt tillverkarens val

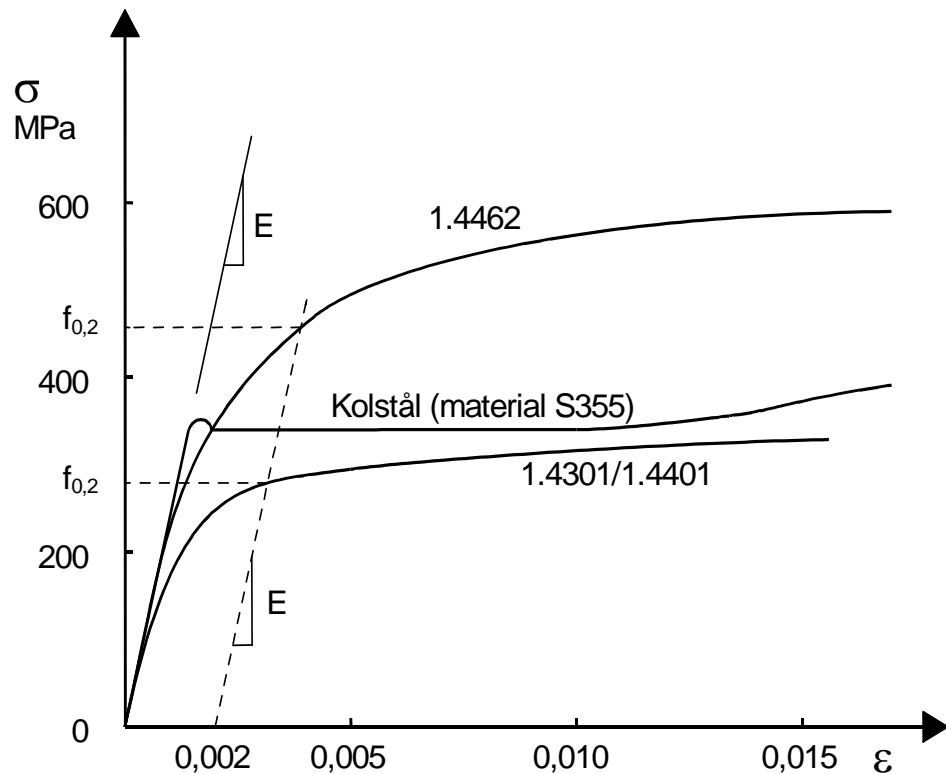
## 3.2 Mekaniskt verkningsätt och dimensioneringsvärden för egenskaper

### 3.2.1 Grundläggande spännings-töjningssamband

Spännings-töjningsegenskaperna för rostfria stål skiljer sig från kolstål i ett antal avseenden. Den viktigaste skillnaden är formen på spännings-töjningskurvan. Medan kolstål typiskt uppvisar linjärt elastiskt verkningsätt upp till sträckgränsen och en plattå före området för deformationshårdnande (töjhårdning), har rostfritt stål en mer avrundad respons utan någon väldefinierad sträckgräns (se Figur 3.1). Därför anges ”sträckgränsen” för rostfria stål normalt som en spänning definierad för en viss kvarstående töjning (normalt 0,2 %) såsom figuren visar.

Observera att Figur 3.1 visar typiska experimentella spännings-töjningskurvor. Kurvorna är representativa för de typer av material som sannolikt tillhandahålls, och bör inte användas för dimensionering.

Rostfria stål kan ta upp avsevärda stötar utan att brista tack vare sin utmärkta duktilitet (speciellt de austenitiska stålsorterna) och sitt deformationshårdnande.



( $f_{0,2}$  är 0,2-gränsen)

**Figur 3.1** Typiska spännings-töjningskurvor för rostfritt stål och kolstål i glödgat tillstånd (för dragning i längdriktningen)

### 3.2.2 Faktorer som påverkar spännings-töjningssambandet

Det finns faktorer som kan ändra formen på den ursprungliga spännings-töjningskurvan för rostfria stål. Dessa faktorer är i viss utsträckning ömsesidigt beroende och innefattar:

#### **Kallbearbetning**

Austenitiska och duplexa materials hållfasthet höjs genom kallbearbetning (såsom vid kallformningsoperationer, inklusive rullriktning och även under tillverkning). Denna höjning är förknippad med en minskad duktilitet, men detta har normalt obetydliga konsekvenser beroende på det initialt höga värdet på duktiliteten, speciellt för de austenitiska rostfria stålen. Tabell 3.5 ger kallbearbetningsnivå specificerad enligt EN 1993-1-4 som är angivet i den europeiska materialstandarderna för rostfritt stål, EN 10088. Kallbearbetade stål kan specificeras både i termer av lägsta tillåtna 0,2-gräns eller som brottgräns eller hårdhet, men endast en parameter kan specificeras.

När rostfritt stål kallbearbetas, tenderar materialet att visa asymmetri vid drag och tryck p.g.a. anisotropi (olika spännings-töjnings beteende längs och tvärs med valsriktningen.) Graden av asymmetri beror på stålsort, kallbearbetningsgrad och tillverkning. Figur 3.2 visar spännings-töjningskurvan för material 1.4318 som kallbearbetats till C850; tryckhållfastheten i längsriktningen ligger under draghållfastheten både i tvärs- och längsriktningen (de värden som ges i materialstandarderna som t.ex. EN 10088 och anges av leverantörerna). Hänsyn till detta bör därför tas i valet av dimensionerande hållfasthet för kallbearbetade material (se avsnitt 3.2.4). Ytterligare information om värden gällande andra typer av belastningsriktningar bör sökas från leverantören.



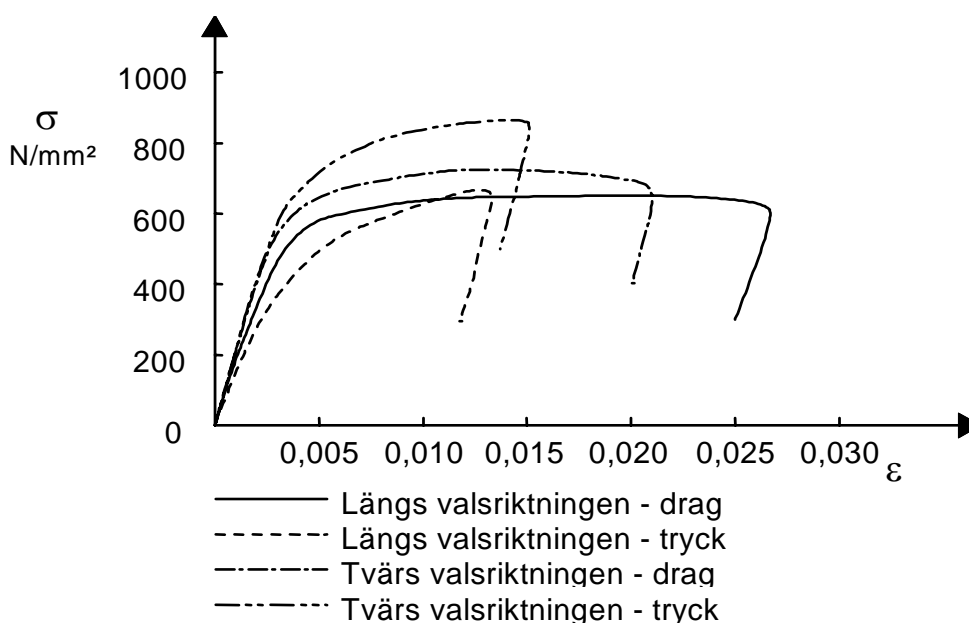
Priset för kallbearbetat rostfritt stål är beroende av stålsort, produktionsmetod och bearbetningsgrad och är något högre än för motsvarande glödgat material,.

**Tabell 3.5** Hållfasthetsnivåer för kallbearbetat rostfritt stål enligt EN 10088-2 (gäller material med tjocklek  $\leq 6$  mm)

Kallbearbetat tillstånd	0,2% -gräns min <sup>1) 2)</sup>	Brottdrag-hållfasthet Min <sup>1) 2)</sup>	Tillgängliga stålsorter i kallbearbetat tillstånd
CP350	350	700 <sup>3)</sup>	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571
CP500	500	850 <sup>3)</sup>	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571, 1.4318
CP700	700	1000 <sup>3)</sup>	1.4318, 1.4301
C700	350 <sup>3)</sup>	700	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571
C850	500 <sup>3)</sup>	850	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571, 1.4318
C1000	700 <sup>3)</sup>	1000	1.4318, 1.4301

Anm:

- (1) Annan 0,2% -gräns eller dragbrotthållfasthet kan överenskommas.
- (2) Maximal produkttjocklek minskar med ökad hållfasthet. Maximal produkttjocklek och kvarstående töjning är också beroende av stålets deformationsegenskaper och kallbearbetningsmetod. Ytterligare information kan efterfrågas från tillverkaren.
- (3) Ospecificerade, indikerande minimivärden.



**Figur 3.2** Typiska spänning-töjningskurvor för stålsort 1.4318 kallbearbetat till hållfasthetsnivå C850

Under kallformning av ett tvärsnitt ökar 0,2-gränsen med omkring 50 % i tvärsnittets hörn. Effekten är lokal och bärförmågans ökning beror på hörnets placering i tvärsnittet; t.ex. är fördelen liten i en balk med hörn nära neutralaxeln. Hållfasthetsökningen kompenserar effekter på grund av förtunningen av materialet i de kallbearbetade hörnen. För att nyttja den ökade hållfastheten visas ökad bärförmåga genom provning (se kapitel 9).

Svetsning av ett kallformat element kan ge upphov till glödning och reducering av den ökade hållfastheten – Avsnitt 6.4.4 ger vägledning för konstruktion av svetsade förband mellan element av kallbearbetat material.

### **Känslighet för töjningshastighet**

Känsligheten för töjningshastigheten är mer uttalad vid rostfria stål än vid kolstål, dvs att vid stora töjningshastigheter kan en relativt sett högre hållfasthet uppnås för rostfria stål än för kolstål.

### **Värmebehandling**

Glödning, eller mjukning, minskar hållfasthetshöjningen och anisotropin.

## **3.2.3 Typiska värden på egenskaper**

Som tydligt framgår av 3.2.1 och 3.2.2 ovan har flera faktorer inverkan på de rostfria stålets mekaniska egenskaper jämfört med kolstål. Stålets metallurgi är mer komplex, och tillverkningsprocessen har en större påverkan på de slutliga egenskaperna. För en given stålsort kan man räkna med skillnader i egenskaperna hos material från olika tillverkare. De mekaniska egenskaperna, som är beroende på kemisk sammansättning och termomekanisk behandling, kan därför i hög grad styras av tillverkarna, och det är möjligt att förhandla med enskilda tillverkare om önskade egenskaper.

Ur konstruktionssynpunkt överstiger den verkliga 0,2-gränsen det specificerade minimivärdet med bred marginal. Typiska medelvärden ligger mellan 20 och 35% över det specificerade minimivärdet. En så stor marginal som den man observerar för 0,2-gränsen finns inte vid brottgränsen, som typiskt ligger endast 10% över specificerade minimivärden.

## **3.2.4 Dimensioneringsvärden för egenskaper**

### **Platta produkter**

Tre alternativ är tänkbara: specificerade minimivärden, verifierade data från materialprovning eller data enligt verksprovningssintyg.

- (i) Dimensionering med specificerade minimivärden

#### *Glödmat material*

Det karakteristiska värdet på sträckgränsen,  $f_y$ , och den karakteristiska brottgränsen vid dragning,  $f_u$  sätts lika med de minimivärden som anges i SS-EN 10088-2 (se Tabell 3.1).

#### *Kallbearbetat material*

Högre nominella värden på  $f_y$  och  $f_u$  kan antas för material som levererats i kallbearbetat tillstånd specificerat i SS-EN 10088-2.

För material som levererats med en specificerad 0,2-gräns (t.ex. CP350), kan det minsta värdet på 0,2-gränsen i Tabell 3.5 användas som karakteristisk hållfasthet. För att ta hänsyn till de kallbearbetade materialens asymmetri i de fall där tryck är ett relevant spänningstillstånd i stålets valsriktning (d.v.s. beteendet hos en pelare, böjning där tvärsnittet till övervägande del utsätts för tryck), bör det karakteristiska värdet tas enligt  $0.8 \times 0.2\%$ -gränsen i Tabell 3.5. Ett högre värde kan användas med stöd av försöksresultat.

För material som levereras med en specificerad brottgräns (t.ex. C700), kan det minsta värdet på brottgränsen i Tabell 3.5 användas som den karakteristiska hållfastheten; minimivärdet för 0,2-gränsen bör hämtas från leverantören.

*Anm. 1:* Rektangulära profiler finns tillgängliga i kallbearbetat material med hållfastheter mellan CP350 och CP500 med sträckgräns och brottgräns som garanteras av tillverkaren (sträckgränsen gäller då i både drag och tryck).

*Anm. 2:* Dimensioneringsreglerna i denna publikation är tillämpliga för material upp till hållfasthetsnivåer CP500 och C850. För högre kallbearbetade hållfasthetsnivåer bör dimensionering ske genom provning enligt avsnitt 9. Ett undantag är profiler med tvärsnitt i klass 1, 2 och 3 som inte är utsatt för lokal eller global instabilitet. För dessa bör tvärsnittsbärförmågan beräknas enligt avsnitt 4.

(ii) Dimensionering med provningsdata

Detta bör endast ses som ett alternativ när dragprovningen har gjorts på provkroppar från den plåt, från vilken elementen ska formas eller sammansättas. Konstruktören bör även försäkra sig om att provningarna har gjorts enligt en erkänd standard, t ex SS-EN 10002-1, och att de procedurer som valts av tillverkaren är sådana att elementet verkligen kommer att tillverkas av det provade materialet och placeras på rätt sätt i konstruktionen.

Ett värde på den dimensionerande hållfastheten kan erhållas genom en statistisk utvärdering enligt rekommendationerna i bilaga D i SS-EN 1990.

Det rekommenderas att den karakteristiska brottgränsen vid dragning,  $f_u$ , även i detta fall baseras på det specificerade minimivärdet i SS-EN 10088-2.

(iii) Dimensionering med data enligt verksprovningssintyg

Uppmätta värden på 0,2-gränsen ges i verksprovningssintyget. Ett värde på den dimensionerande hållfastheten kan erhållas genom en statistisk utvärdering enligt rekommendationerna i bilaga D i SS-EN 1990.

Det rekommenderas att den karakteristiska brottgränsen vid dragning,  $f_u$ , även i detta fall baseras på det specificerade minimivärdet i SS-EN 10088-2.

SS-EN 10088-2 anger värdet 200 000 MPa på elasticitetsmodulen för alla austenitiska och duplexa standardmaterial som är typiska för bärande ändamål. För att beräkna nedböjningar är sekantmodulen riktigare, se 5.4.6. För dessa stålsorter kan värdet på Poissons tal sättas lika med 0,3 och skjuvmodulen  $G$  kan sättas lika med 76 900 MPa.

### **Fästelement**

För att beräkna bärförmågan hos ett fästelement utsatt för dragning, skjuvning eller en kombination av dragning och skjuvning, används hållfasthetsvärdet  $f_{ub}$  som:

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

där  $\sigma_{ub}$  är det specificerade minimivärdet på brottgränsen enligt Tabell 3.3 för den aktuella brottgränsklassen.

När det krävs att man beaktar lastens varaktighet på fästelementen, bör man använda anvisningarna i ENV 1991 (som delvis kommer att ersättas av SS-EN 1990) för tillämplig lastkombination i brottgränstillstånd.

### 3.3 Fysikaliska egenskaper

Tabell 3.5 ger de fysikaliska egenskaperna vid rumstemperatur i glödgat tillstånd för den grupp stål enligt SS-EN 10088-1 som behandlas i denna publikation. Fysikaliska egenskaper kan variera något med produktform och dimension, men sådana variationer har vanligtvis inte någon allvarlig betydelse för användningen.

**Tabell 3.6** Fysikaliska egenskaper vid rumstemperatur, glödgat tillstånd

Material	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Längdutvidg- ningskoefficient 20 – 100°C (10 <sup>-6</sup> /°C)	Termisk konduk- tivitet (W/m <sup>0</sup> C)	Värmekapacitet (J/kg <sup>0</sup> 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

Ur konstruktionssynpunkt är den viktigaste fysikaliska egenskapen längdutvidgningskoefficienten, som, för de austenitiska stålen, avviker väsentligt från värdet för kolstål ( $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ). När kolstål och rostfritt stål används tillsammans bör effekterna av olika längdutvidgning beaktas vid dimensionering.

Duplexa och ferritiska stål är magnetiska. När de omagnetiska egenskaperna hos de austenitiska materialen är viktiga för tillämpningen, måste man vara noga vid val av tillsatsmaterial för att minimera ferritinnehållet i svetsen. Kraftig kallbearbetning, speciellt av de magert legerade austenitiska stålen, kan också öka den magnetiska permeabiliteten. Efterföljande glödning torde återställa de omagnetiska egenskaperna. För tillämpningar där det krävs omagnetiskt material rekommenderas att man rådfrågar ståltillverkaren.

### 3.4 Effekter av temperatur

Austenitiska stål bibehåller sin seghet vid låga temperaturer. Vid förhöjda temperaturer bibehåller austenitiska och duplexa stål en större andel av sin hållfasthet över ca 550°C jämfört med kolstål. Dimensionering av konstruktioner som utsätts för långvarig exponering vid låga eller höga temperaturer ligger inte inom ramen för denna publikation. Det räcker med att säga att andra mekaniska egenskaper och korrosionstyper än de som tas upp i detta avsnitt har större betydelse. Andra rostfria stål än de som valts här är i de flesta fall bättre lämpade för användning vid höga temperaturer och ytterligare råd bör inhämtas.

Duplexa stål bör inte användas där temperaturen under långa perioder ligger över ca 300°C på grund av risken för försprödning.

Avsnitt 7 behandlar brandteknisk dimensionering och ger mekaniska och fysikaliska egenskaper vid höga temperaturer.

## 3.5 Livscykelkostnad

Det finns en ökande medvetenhet om att livscykelkostnaden, inte bara initialkostnaden bör beaktas vid val av material. Livscykelkostnaden tar hänsyn till:

- initialkostnad,
- driftskostnad,
- restvärde.

Rostfritt stål anses ibland vara ett dyrt material. Erfarenheten har visat att man genom att använda ett korrosionsbeständigt material kan undvika framtida underhållskostnader, såsom kostnader för driftstopp och reservdelskostnader, kostnader som är betydligt högre än initialkostnaderna för materialet.

Initialkostnaden för en rostfri produkt för konstruktionsändamål kan vara betydligt högre än för en likvärdig produkt i kolstål beroende på den rostfria stålsorten. Dock erhålls framtida besparingar genom undvikande av regelbundna kostsamma ytbeleggningsförbättringar.

Det utmärkta korrosionsmotståndet hos rostfritt stål kan ge många fördelar inklusive:

- minskad inspektionsfrekvens och kostnader,
- minskade underhållskostnader
- lång drifttid

Rostfritt stål har även ett högt restvärde (d.v.s. värdet vid slutet av konstruktionens livstid), även om det sällan är en avgörande faktor för en konstruktion med en lång projekterad livstid (t.ex. mer än 50 år).

Vid beräkningar av livscykelkostnaden används redovisningsprincipen för nuvärdesberäkning av kassaflöde för att räkna om alla kostnader till dagens penningvärde. Realräntan tar med inflationen, bankräntan, skatter, och möjligtvis en risk faktor. Detta möjliggör en realistisk jämförelse av tillgängliga val och potentiella långsiktiga fördelar genom att rostfritt stål jämförs mot andra materialval.

## 3.6 Val av material

### 3.6.1 Stålsorter

I det stora flertalet fall då man använder rostfritt stål för bärande ändamål är det metallens korrosionsmotstånd som utnyttjas, oavsett om detta är av utseendeskäl, för att minimera underhållet eller för att få långvarig beständighet. Korrosionsmotståndet måste därför vara den primära faktorn vid val av lämpligt material.

Rostfria stål får sitt korrosionsmotstånd genom att det finns ett passivt ytskikt som, under förutsättning av tillräcklig tillgång till syre eller lämpliga oxiderande ämnen, tenderar att vara självläkande när det skadas. Denna oxidfilm är primärt en följd av stålets krominnehåll, även om tillsats av nickel och andra legeringselement påtagligt kan öka det skydd som skiktet ger. Speciellt används en liten mängd molybden för att förbättra stålets motståndsförmåga mot gropfrätning (se 3.7.2).

Det är när oxidfilmen på ytan skadas, kanske genom elektrokemiskt angrepp eller mekanisk skada, som korrosion kan inledas.

Med en omsorgsfull utformning bör man kunna vara säker på att få en problemfri konstruktion, men projektörer bör vara medvetna om att även rostfria stål kan utsättas för olika former av korrosion under vissa förhållanden. Oaktat att dessa försämrande effekter finns är det fullt möjligt att använda rostfria stål på ett utomordentligt effektivt sätt, under förutsättning att man tänker på några få elementära principer. Det är bara när dessa material används utan att man beaktar principerna bakom deras korrosionsegenskaper som det kan bli problem.

Valet av rätt rostfri stålsort måste ta hänsyn till miljön ifråga, tillverkningen, ytfinishen och underhållet av konstruktionen. Det kan noteras att underhållskraven är minimala: enbart avspolning av det rostfria stålet, även naturlig avspolning genom regn, kommer påtagligt att bidra till att öka livslängden.

Det första steget är att karakterisera miljön, inklusive rimliga förutsedda avvikelser från förhållandena vid dimensioneringen. När man kategoriserar atmosfärisk miljö bör man speciellt ägna uppmärksamhet åt starkt lokala förhållanden, såsom närheten till skorstenar med utsläpp av korrosiva rökgaser. Tänkbar framtida utveckling eller ändrat användningsområde bör också beaktas. Förhållandena på ytan och stålets temperatur, samt de spänningar som kan förväntas, kan också vara viktiga parametrar (se 3.7.2).

Lämpliga stålsorter kan sedan väljas så att man får ett allmänt tillfredsställande korrosionsmotstånd i miljön. Valet av en lämplig stålsort bör beakta vilka tänkbara korrosionsformer som kan vara av betydelse i den påverkande miljön. Detta kräver viss förståelse för karaktären på den korrosion som man möter i rostfria stål. Avsnitt 3.7 skisserar de huvudsakliga principerna bakom korrosionen av rostfria stål, och pekar på förhållanden, där användningen av rostfria stål inte bör innebära några onödiga risker och komplikationer. Avsikten är också att illustrera såväl allmän god praxis, som förhållanden där rostfria stål kan behöva användas med försiktighet. I dessa senare fall bör man rådfråga specialister, eftersom stålen i många fall fortfarande kan användas med gott resultat.

Sedan bör man beakta mekaniska egenskaper, enkelhet i tillverkningen, tillgängliga produktformer, ytfinish och kostnader.

Bedömningen av olika stålsorters ändamålsenlighet görs lämpligen genom att man ser på erfarenheter av rostfria stål i liknande tillämpningar och miljöer. Tabell 3.7 ger vägledning för att välja lämpliga stålsorter för atmosfäriska miljöer. Nationella bestämmelser bör också kontrolleras, eftersom dessa i vissa fall kan vara strängare. För rostfritt stål nedsänkt i vatten, se avsnitt 3.7.3. För rostfritt stål som kommer i kontakt med kemikalier bör alltid expertis rådfrågas.

Man bör vara försiktig med att använda automatstål för fästelement. Svaveltillsatsen i dessa stål i den austenitiska gruppen gör dem mer korrosionsbenägna, speciellt i industriella och marina miljöer. Särskilt gäller detta fästelement i A1-material enligt EN ISO 3506, se Tabell 3.3.

**Tabell 3.7** Föreslagna stålsorter vid olika atmosfäriska miljöer

Stålsort	Lokal											
	Lantmiljö			Stadsmiljö			Industriell miljö			Marin miljö		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Austenitiska krom-nickel-stål (t.ex. 1.4301, 1.4307, 1.4541, 1.4318)	T	T	T	T	T	(T)	(T)	(T)	X	T	(T)	X
Austenitiska molybden-krom-nickel-stål (t ex 1.4401, 1.4404, 1.4571) och duplexstål 1.4362	0	0	0	0	T	T	T	T	(T)	T	T	(T)
Duplexstål 1.4462	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	T

L - Minst korrosiva förhållanden inom denna kategori, t ex mildrad genom låg fuktighet, låga temperaturer.

M - Ganska typiskt i denna kategori.

H - Korrosionen är sannolikt högre än vad som är typiskt för denna kategori, t ex på grund av ständig hög fuktighet, höga temperaturer i omgivningen och speciellt aggressiva luftföroreningar.

O - Eventuellt överdimensionerad ur korrosionssynpunkt.

T - Troligen det bästa valet med hänsyn till korrosionsmotstånd och kostnader.

X - Kommer troligen att drabbas av omfattande korrosion.

(T) - Värt att överväga om man vidtar försiktighetsåtgärder (dvs att man specificerar relativt blanka ytor och tvättar av regelbundet).

Anm: Nationella bestämmelser kan innehålla strängare krav.

### 3.6.2 Tillgängliga produktformer

#### Allmänna produkttyper

Produkter av tunnplåt, plåt och stång är alla allmänt tillgängliga i de rostfria stålsorter som behandlas i denna publikation. Rörformade produkter i den duplexa stålsorten 1.4362 (2304) finns inte allmänt tillgängliga eftersom det är en relativt ny stålsort för byggindustrin, även om den har använts i några år inom offshore för väggar som blåser bort vid explosion.

Det finns ett sortiment av valsade profiler (vinkelprofiler, U-profiler, T-profiler, rektangulära rör och I-profiler) tillgängliga i austenitiska standardmaterial såsom 1.4301 och 1.4401 men inga i duplexa stål. Generellt kan profiler tillverkas genom kallformning (valsning eller bockning), eller svetsning. Material i kallvalsat tillstånd finns tillgängligt i olika former inklusive plåt, band, stång och rör:

- Plåt och band (typiskt i tjocklekar  $\leq 6.0$  mm)
- Rundstång (diameter från 5 mm till 60 mm)
- Kvadratiska och rektangulära rör (tvärsnittsdimensioner upp till 400 mm, tjocklekar från 1.2 till 6 mm).

De kallbearbetade rostfria stålsorter som finns tillgängliga på marknaden finns angivna i Tabell 3.5.

### **Kallformning**

Det är viktigt att man tidigt har en diskussion med potentiella tillverkare, för att få klarhet i vilka begränsningar som gäller för kallformning, eftersom det krävs större krafter vid formning av rostfria stål än vid kolstål. Längden på kantpressade kallformade profiler begränsas av maskinens storlek eller av tillgänglig kraft vid tjockare eller starkare material. Duplexa material kräver ungefär dubbelt så stora krafter vid formningen som austenitiska, och följaktligen är det möjliga området för duplex-tvårsnitt mer begränsat. På grund av de duplexa materialens lägre duktilitet måste man dessutom använda större hörnradier. Ytterligare information kan fås i avsnitt 10.3.2.

### **Ytfinish**

I vissa tillämpningar är ytfinish och utseende viktigt. Tillverkare erbjuder att antal standardbearbetningar av ytan, från varmvalsade ytor via matta till blankpolerade. Det bör noteras att även om de olika ytbearbetningarna är standardiserade så medför olikheter i processerna att det blir skillnader i utseendet mellan material från olika tillverkare och även mellan material från en enskild tillverkare. Blankpolerade ytor används ofta i arkitektoniska tillämpningar, och det bör noteras att blanka ytor förstör eventuella ojämnheter i materialet, speciellt på panytor. Förstyvade, embosserade, mönstrade eller profilerade plåtar med upplag på en stadig ram mildrar denna tendens.

### **Fästelement**

Fästelement enligt EN ISO 3506, brottgränsklass 70 är mest tillgängliga. Vissa begränsningar på dimensioner och längder gäller för fästelement i brottgränsklass 70 och 80, se Tabell 3.3. Det är möjligt att få specialtillverkade fästelement på beställning, och detta är ibland en ekonomisk lösning.

Fästelement kan tillverkas med ett antal metoder, t ex svarvning, kallformning och smidning. Skurna gängor bör inte användas i mycket aggressiva miljöer (t ex marina) beroende på potentiella problem med spaltkorrosion. Valsade gängor är också att föredra, eftersom de i allmänhet är starkare än skurna och ger bättre motståndsförmåga mot skärning i gängorna.

## **3.7 Beständighet**

### **3.7.1 Inledning**

Rostfria stål är allmänt mycket korrosionsbeständiga och kommer att fungera tillfredsställande i de flesta miljöer. Hur högt korrosionsmotståndet är för ett visst rostfritt stål beror på dess beståndsdelar, vilket betyder att varje stålsort har en något olika reaktion, när den exponeras för korrosiv miljö. Man måste därför vara noga i valet av rostfritt stål för ett givet användningsområde. Allmänt gäller att ju högre korrosionsresistens som krävs, desto högre materialkostnad. Exempelvis kostar material 1.4401 mer än material 1.4301 på grund av molybdentillsatsen.

Material i kallbearbetat tillstånd har ett korrosionsmotstånd liknande det i glödgat tillstånd.

De vanligaste orsakerna till att en metall inte motsvarar förväntningarna på korrosionsmotståndet är:

- (a) felaktig bedömning av miljön eller exponering för oförutsedda förhållanden, t.ex. oförutsedd förorening med kloridjoner
- (b) sättet på vilket det rostfria stålet har bearbetats eller behandlats kan medföra ett tillstånd som man inte räknade med vid den ursprungliga bedömningen.



Även om rostfritt stål kan missfärgas och få fläckar (ofta på grund av förorening med kolstål), är det extremt beständigt i byggnader. I aggressiva industriella och marina miljöer har provningar inte givit någon indikation på minskad bärförmåga hos komponenter även när man har noterat en mindre viktförlust. Fula rostfläckar på utvändiga ytor kan dock av brukaren betraktas som ett misslyckande. Såväl omsorgsfullt val av material som god detaljutformning och gott utförande kan påtagligt minska risken för fläckar och korrosion. Praktisk vägledning ges i kapitel 10. Erfarenheten visar att eventuella allvarliga korrosionsproblem troligast uppträder under de första två eller tre åren.

I vissa aggressiva miljöer kommer en del rostfria stålsorter att vara känsliga för lokala angrepp. Nedan beskrivs sex mekanismer, även om åtminstone tre av dem mycket sällan förekommer i byggnader på land.

Det bör understrykas att närvaro av fukt (t ex fukt av kondensation) är nödvändigt för korrosion.

### **3.7.2 Korrosionstyper och olika stålsorters egenskaper**

#### ***Gropfrätning***

Som namnet antyder sker gropfrätningen i form av avgränsade gropar. Den inträffar till följd av lokal nedbrytning av det passiva lagret, normalt genom kloridjoner, även om de övriga haliderna och andra anjoner kan ha en liknande effekt. I en frätgrop som utvecklas kan korrosionsprodukter bilda en mycket korrosiv lösning, vilket ofta medför höga korrosionshastigheter. I de flesta konstruktiva tillämpningar är det dock troligt att frätgroparna är ytliga, och reduktionen av komponentens tvärsnitt är försumbar. Korrosionsprodukter kan dock förstöra utseendet. När det gäller kanaler, rör, behållare och liknande bör man ha en mindre tolerant syn på gropfrätning.

Eftersom kloridjonen är den ojämförligt vanligaste orsaken till gropfrätning är kustatmosfär och marin atmosfär tämligen aggressiva. Risken för att en viss miljö ska orsaka frätgropar beror, förutom på kloridhalten, på faktorer som temperatur, aciditet eller alkalinitet samt på halten av oxidationsmedel. Ett rostfritt ståls resistens mot gropfrätning beror på dess kemiska sammansättning. Krom, molybden och kväve höjer alla resistensen.

Ett approximativt mått på resistensen mot gropfrätning är PRE-värdet (Pitting Resistance Equivalent) definierat som:

$$\text{PRE} = \text{vikt-\% Cr} + 3,3(\text{vikt-\% Mo}) + 30(\text{vikt-\%N}) \quad \text{för austenitiska stål}$$

$$\text{PRE} = \text{vikt-\% Cr} + 3,3(\text{vikt-\% Mo}) + 16(\text{vikt-\%N}) \quad \text{för duplexa stål}$$

PRE-värdet för ett rostfritt stål kan användas för att rangordna det i förhållande till andra rostfria stål, men det har inte någon absolut innebörd.

Material 1.4301 har det lägsta PRE-värdet av de stålsorter som behandlas i denna publikation och är inte den lämpligaste sorten för arkitektoniska tillämpningar i marina miljöer utom, eventuellt, för invändiga bärande komponenter, som effektivt avskärmas från stänk av havsvatten och dimma. Material 1.4301 kan också uppvisa gropfrätning av oacceptabel omfattning i svåra industrietmosfärer, och därför bör man hellre använda material 1.4401 eller ett duplex material.

### **Spaltkorrosion**

Spaltkorrosion inträffar i samma miljöer som gropfrätning. Korrosionen initieras lättare i en spalt än på en fri yta, eftersom diffusionen av oxidanter, som är nödvändiga för att upprätthålla det passiva skiktet, begränsas. Hur allvarlig en spalt är beror i hög grad på dess geometri: ju smalare och djupare spalt, desto allvarligare korrosionsförhållanden. Detta är sannolikt bara ett problem i stillastående lösningar, där man kan få en successiv ökning av klorider.

Spalter kan härröra från ett förband mellan metalldelar, en packning, biologiska föroreningar, avlagringar och ytskador såsom djupa repor. Man bör sträva efter att så mycket som möjligt eliminera spalter, men det går ofta inte att få bort dem helt.

Liksom vid gropfrätning förbättras resistensen av legeringsämnena krom, molybden och kväve, och således ökar resistensen mot spaltkorrosion från material 1.4301 via 1.4401 till 1.4462.

### **Bimetallkorrosion (galvanisk korrosion)**

När två olika metaller är i elektrisk kontakt och även förenas av en elektrolyt (dvs en elektriskt ledande vätska såsom havsvatten eller förorenat sött vatten), flyter en ström från den anodiska metallen till den katodiska, eller ädlare, metallen genom elektrolyten. Till följd av detta korroderar den oädlare metallen.

Denna korrosionsform är speciellt av betydelse när man avser att sammanfoga rostfritt stål och kolstål eller låglegerat stål. Det är viktigt att välja tillsatsmaterial vid svetsning som är åtminstone lika ädla som grundmaterialet. I korrosiva miljöer där det kan förekomma vatten, såsom tunga industrimiljöer, marin miljö, och där nedsänkning i bräckt vatten eller havsvatten kan förekomma, bör martensitiska och ferritiska skruvar (se 3.1.2) undvikas för sammanfogning av austenitiska rostfria stål.

Bimetallkorrosion behöver inte vara något problem vid rostfria stål, även om man ibland, för att förhindra det, kan behöva vidtaga åtgärder som vid första åsynen kan verka förvånande. Att förhindra bimetallkorrosion är i princip, att förhindra strömflöde genom att:

- isolera olika metaller, dvs. bryta den metalliska kontakten (se 6.1.1).
- förhindra flödet genom elektrolyten, dvs. bryta vägen genom elektrolyten med färg eller annan beläggning. Om man försöker åstadkomma skydd på detta sätt, och det inte är praktiskt att belägga båda metallerna, är det att föredra att belägga den ädlare av dem (dvs. det rostfria stålet i ett förband mellan rostfritt stål och kolstål).

Risken för djupt korrosionsangrepp är störst om arean på den ädlare metallen (dvs. det rostfria stålet) är stor jämfört med arean på den oädlare (dvs. kolstålet). Speciellt bör man vara uppmärksam vid användning av färger eller andra beläggningar på kolstålet. Om det finns små porer eller hål i beläggningen kommer det frilagda kolstålets lilla area att ge ett mycket högt areaförhållande mellan katod och anod, och det kan bli svåra frätgropar i kolstålet. Det är naturligtvis troligt att detta blir allvarligast för delar som är nedsänkta i vatten. Därför är det att föredra att måla det rostfria stålet. Eventuella porer kommer att ge små areaförhållanden.

Ogynnsamma areaförhållanden förekommer nog mest vid fästelement och i förband. Skruvar av kolstål bör undvikas i element av rostfritt stål, eftersom areaförhållandet mellan rostfritt stål och kolstål är stort och skruvarna kommer att utsättas för aggressiva angrepp. Omvänt sker angreppet på ett element av kolstål på grund av en rostfri skruv mycket långsammare. Det är ofta bra att stödja sig på tidigare

erfarenheter från liknande ställen, eftersom olika metaller ofta tryggt kan sammanfogas i fall där det blir tillfällig kondensation eller fukt utan att det får några ogynnsamma effekter, speciellt om elektrolytens ledningsförmåga är låg.

Det är svårt att förutsäga dessa effekter, eftersom korrosionshastigheten bestäms av ett antal komplexa förhållanden. Användningen av elektriska potentialtabeller tar inte hänsyn till närvaron av oxidfilmer på ytan, effekterna av areaförhållandet och olika lösningars (elektrolyters) kemi. Okunnig användning av dessa tabeller kan därför ge felaktiga resultat. De bör användas med försiktighet och bara för att göra en första bedömning.

Rostfria stål bildar normalt katoden i ett bimetallpar och drabbas därför inte av korrosion. Kontakt mellan austenitiska rostfria stål och zink eller aluminium kan resultera i viss förhöjd korrosion av de båda senare metallerna. Det är inte troligt att detta har någon betydelse för bärformågan, men det vita/gråa pulver som bildas kan upplevas som fult. Kontakt med koppar bör allmänt undvikas med undantag för gynnsamma förhållanden.

Det allmänna verkningssättet hos metaller i bimetallisk kontakt i lant-, stads-, industri- och kustmiljöer är utförligt dokumenterat i BS PD 6484 *Commentary on corrosion at bimetallic contacts and its alleviation*.

### **Spänningskorrosionssprickor**

För att det ska bli spänningskorrosionssprickor krävs att det samtidigt förekommer dragspänningar och speciella miljöförhållanden, som troligtvis inte inträffar i normala atmosfärer vid byggnader. Spänningarna behöver inte vara särskilt höga i förhållande till materialets hållfasthet, och kan bero på last och tvångsspänningar från tillverkningsprocesser som svetsning eller böckning.

Duplexa rostfria stål har normalt bättre motståndsförmåga mot spänningskorrosionssprickor än de austenitiska rostfria stål som behandlas i denna publikation. Austenitiska stål med högre legeringshalter som t.ex. 1.4539, 1.4529, 1.4547 and 1.4565 (som inte behandlas i denna publikation) har utvecklats för användning i sammanhang där det finns risk för spänningskorrosionssprickor.

Försiktighet bör tillämpas när rostfria stålprofiler med höga restspänningar (p.g.a. kallbearbetning) används i miljöer med hög kloridhalt (t.ex. simbassänger inomhus, marin- och havsmiljö). EN 1993-1-4 rekommenderar att för bärverksdelar i atmosfärer med höga kloridhalter som inte kan rengöras regelbundet (t.ex. undertak i simhallar), bör endast stålsorterna 1.4529, 1.4547, 1.4565 användas om inte basängvattnets kloridjonhalt  $\leq 250$  mg/l (vilket är ovanligt), då är även stålsort 1.4539 lämplig. Andra material som uppvisat likvärdigt motstånd för spänningskorrosionssprickor i dessa miljöer kan också användas.

### **Allmän korrosion**

Under normala förhållanden som är typiska för konstruktiva tillämpningar drabbas rostfria stål inte av någon allmän minskning av tvärsnittet, vilket är karakteristiskt för rostning i icke-legerade järn och stål.

Rostfria stål är beständiga mot många kemikalier. De används i praktiken ibland som behållare för dessa. Man bör dock studera tabeller i tillverkarnas dokumentation, eller rådfråga en kompetent korrosionsexpert, om det rostfria stålet kommer att komma i kontakt med kemikalier.

### **Korngränsfrätning (sensibilisering) och svetsfrätning**

När austenitiska rostfria stål utsätts för långvarig uppvärmning i området 450°C till 850°C, diffunderar kol i stålet till korngränserna och utskiljer kromkarbid. Detta avlägsnar krom från den fasta lösningen och medför en lägre kromhalt i närheten av korngränserna. Stål i detta tillstånd kallas *sensibiliserat*. Korngränserna blir speciellt känsliga för angrepp vid efterföljande exponering i en korrosiv miljö. Detta fenomen kallas svetsfrätning när det uppträder i den värmepåverkade zonen intill svetsar.

Det finns tre sätt att undvika korngränsfrätning:

- använd stål med låg kolhalt,
- använd stål stabiliserade med titan eller niob, eftersom dessa grundämnen är särskilt benägna att förenas med kol och formar stabila partiklar, varigenom risken för bildning av kromkarbid minskar,
- värmebehandla, vilket dock sällan används i praktiken.

Rostfria stålsorter med låg kolhalt (max 0,03%) med tjocklekar upp till 20mm torde inte drabbas av korngränsfrätning efter bågsvetsning.

### **3.7.3 Korrosion i vissa miljöer**

#### **Luft**

Atmosfäriska miljöer är olika, liksom deras inverkan på rostfria stål. Lantatmosfärer, utan förorening av rökgaser från industrier eller salt från kustområden, är mycket lindriga i korrosionshänseende, även i områden med hög fuktighet. Industriella och marina atmosfärer är avsevärt svårare. Se Tabell 3.7 för vägledning vid val av lämpliga typer av rostfritt stål.

De vanligaste orsakerna till atmosfärisk korrosion är metalliska järnpartiklar, som härrör från tillverkningsoperationer antingen i verkstaden eller på byggplatsen, och klorider från havet, industriella processer eller från kalciumklorid som används för att tillverka cement. Vissa avsatta partiklar kan, trots att de är inerta, absorbera svagt sura lösningar av svaveldioxid från atmosfären, vilket lokalt kan bryta ned den passiva filmen.

Det allmänna utseendet hos exponerat rostfritt stål påverkas av ytstrukturen (ju jämnare desto bättre) och av huruvida ytan regelbundet spolas av (antingen avsiktligt eller av regn).

#### **Havsvatten**

Havsvatten, inklusive bräckt vatten, har höga kloridhalter och är därför mycket korrosivt, speciellt vid långsamt vattenflöde (under ca 1,5 m/s). Vid låga strömflöden kan det bli svåra frätgropar i material 1.4301 och 1.4401. Dessa material kan också få svåra angrepp vid spalter, oavsett om dessa beror på konstruktionsdetaljer eller förorening av organismer såsom långhalsar.

Saltstänk kan förorsaka lika mycket angrepp som total nedsänkning i vatten, eftersom kloridkoncentrationen höjs på grund av avdunstningen eller på grund av avsatta saltkristaller.

Risken för allvarlig bimetallkorrosion måste beaktas om rostfritt stål används med andra metaller i närvaro av havsvatten.

## Övrigt vatten

Austenitiska rostfria stål uppträder normalt tillfredsställande i destillerat vatten, tappvatten och pannvatten. Vid hög surhetsgrad är material 1.4401 att föredra, annars är det i regel tillräckligt med 1.4301. Material 1.4401 rekommenderas också såsom lämpligare om det finns smärre mängder av klorid närvarande för att undvika eventuella problem med frätgropar och spaltkorrosion. Flodvatten fordrar speciell uppmärksamhet. Biologisk och mikrobiologisk aktivitet kan förorsaka frätgropar i austenitiska rostfria stål efter förhållandevis kort tid. Risken för erosionskorrosion bör beaktas vid vatten som innehåller slipande partiklar.

## Kemiska miljöer

Rostfritt stål har ett brett användningsområde i kemiska miljöer och det är inte möjligt att här behandla detta ämne i detalj. Det bör dock noteras att inom många användningsområden kan andra stål än de som behandlas i denna publikation vara lämpligast. Man bör rådfråga en korrosionsexpert.

Diagram som publiceras av tillverkare och som visar resultat från korrosionsprovningar i olika kemikalier måste tolkas med försiktighet. Även om de ger en viss vägledning om en stålsorts korrosionsmotstånd, så varierar driftförhållandena (temperaturer, tryck, koncentrationer, etc.), och avviker i allmänhet från förhållandena vid provningen. Effekten av föroreningar och ventilationsgraden kan också ha en påtaglig inverkan på resultaten.

## Jord

Ytkorrosion på nedgrävt rostfritt stål är beroende av markens kemi och resistivitet. Jordens korrosivitet varierar med fuktighetsgrad, pH, lufthalt, kemisk kontaminering, mikrobiologisk aktivitet och ytdränering. Rostfritt stål är generellt sätt väl lämpat i markförhållanden med hög resistivitet, även om punktfrätning har förekommit i fuktig jord med låg resistivitet. Närvaro av aggressiva kemiska substanser som kloridjoner, såväl som olika typer av bakterier och läckström kan orsaka lokal korrosion. Utvecklandet av läckström kan dämpas genom en bra elektrisk isolering (beläggning eller kapsel) och/eller katodiskt skydd.

Vid materialval rekommenderas att man relaterar korrosionsmotståndet för nedgrävt rostfritt stål främst till närvaron av kloridjoner, och i andra hand jordresistivitet och pH. Dåligt dränerad jord antas alltid. Tabell 3.8 rekommenderar lämpliga stålsorter för olika jordförhållanden.

**Tabell 3.8** Rostfria stålsorter för användande i olika markförhållanden

Typisk miljö	Markförhållande	Rostfri stålsort
Inland	Cl < 500 ppm	1.4301
	Resistivitet >1000 ohm.cm	1.4404
	pH > 4.5	
Marin	Cl < 1500 ppm	
	Resistivitet >1000 ohm.cm	1.4404
	pH > 4.5	
Marin – skvalpzon	Cl < 6000 ppm	1.4410
	Resistivitet >500 ohm.cm	1.4547
	pH > 4.5	

Anm:  
1.4410 är ett duplex stål och 1.4547 är ett supraustenitiskt stål. Dessa stålsorter används generellt sett inte för byggkonstruktioner och faller utanför denna skrifts innehåll.

## **Utformning med hänsyn till korrosion**

Det viktigaste steget för att förhindra korrosionsproblem är att välja en lämplig rostfri stålsort och lämpliga tillverkningsprocedurer för den givna miljön. Efter det att man har specificerat ett visst stål kan dock, genom omsorgsfull detaljutformning, mycket göras för att fullt utnyttja stålets potential. Det bästa är om åtgärder mot korrosion beaktas på planeringsstadiet och vid detaljutformningen.

Tabell 3.9 ger en checklista för punkter att ta hänsyn till. Alla punkter torde inte leda till den bästa detaljen ur bärformågesynpunkt, och inte heller är avsikten att alla ska tillämpas i alla miljöer. Speciellt i miljöer med låg korrosivitet, eller där man gör regelbundet underhåll, torde många inte behövas. Figur 3.3 illustrerar dålig och bra utformning med hänsyn till beständighet.

**Tabell 3.9** Utformning med hänsyn till korrosion

---

### **Undvik ansamling av smuts**

- Orientera vinkel- och U-profiler så att risken för smutsansamlingar minimeras
- Använd dräneringshål, och se till att de är tillräckligt stora för att förhindra igensättning
- Undvik horisontella ytor
- Specificera en liten lutning på avstyvningsplåtar som nominellt ligger i horisontalplanet
- Använd rör- och stångprofiler (slutna rör med torr gas eller luft där det finns risk för skadlig kondensation)
- Specificera blanka ytor.

---

### **Undvik spalter**

- Använd svetsförband hellre än skruvförband
- Använd tätsvets eller fogmassa
- Avjämna helst svetsar
- Förhindra biologiska föroreningar

---

### **Minska risken för spänningskorrosionssprickor i de speciella miljöer där de kan förekomma (se 37.2):**

- Minimera spänningar från tillverkningen genom omsorgsfullt val av svetsföljd
- Kulblästra (men undvik att använda järn- eller stålkulor).

---

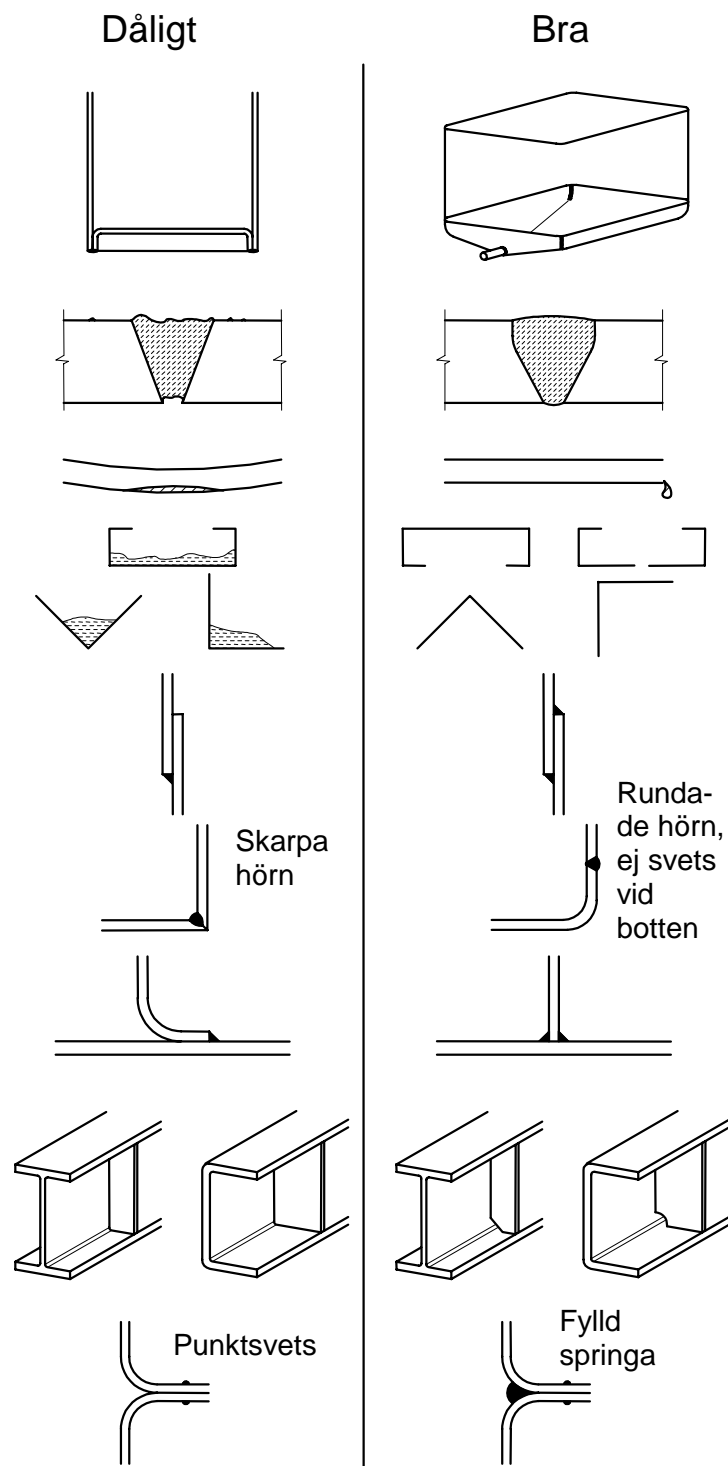
### **Minska risken för frätgropar (se kapitel 10):**

- Avlägsna svets-sprut
- Beta rostfritt stål för att avlägsna oönskade svetsprodukter. Starkt oxiderande kloridhaltiga reagensmedel såsom järnklorid bör undvikas. Hellre bör man använda ett betbad eller en betpasta, båda med en blandning av salpetersyra och fluorvätesyra. Svetsar bör alltid rengöras för att återställa korrosionsmotståndet.
- Undvik upptagning av partiklar av kolstål (använd t ex utrymmen i verkstaden och verktyg som speciellt reserverats för rostfritt stål)
- Följ ett lämpligt underhållsprogram

---

### **Minska risken för bimetallkorrosion (se 3.7.2):**

- Isolera elektriskt
  - Använd färger på ett lämpligt sätt
  - Minimera perioder med fuktighet
  - Använd metaller som ligger nära varandra i spänningsskedjan
-



**Figur 3.3** Dålig och god utformning med hänsyn till beständighet

## 4 EGENSKAPER HOS TVÄRSNITT

### 4.1 Allmänt

Rekommendationerna i avsnitt 4 och 5 gäller för tvärsnitt med delar som ligger inom dimensionsgränserna i 4.2.

Bredd-tjockleksförhållandet för tvärsnittsdelar som helt eller delvis är utsatta för tryckspänningar är avgörande för om de påverkas av buckling med åtföljande reduktion av tvärsnittets bärförmåga. Tvärsnittsdelar och tvärsnitt hänförs till klass 1, 2, 3 eller 4 beroende på bucklingsbenägenhet och rotationskapacitet (klass 1 och 2), se 4.3.

Den reducerade bärförmågan för tvärsnitt i klass 4 beaktas i dimensioneringen genom att man använder effektiva bredder på elementen, se 4.4.1.

För att beräkna tvärsnittsegenskaper för kallformade bärverksdelar och profilerad plåt kan tvärsnittets mittlinjer användas. För andra typer av tvärsnitt bör bruttodimensioner användas. I EN 1993-1-3 och EN 1993-1-5 tillåts att tvärsnittets mittlinjer används vid beräkning av bärförmåga. Även i EN 1993-1-1 tillåts användandet av mittlinjer för beräkning av bärförmåga i vissa fall (se 6.2.1(9) och 6.2.5(2) i EN 1993-1-1).

### 4.2 Största bredd-tjockleksförhållande

Tabell 4.1 ger största bredd-tjockleksförhållanden för element i rostfritt stål.

### 4.3 Klassificering av tvärsnitt

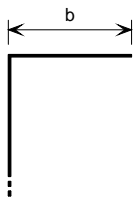
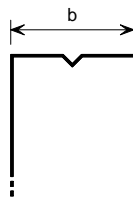
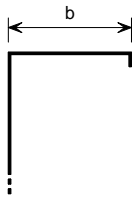
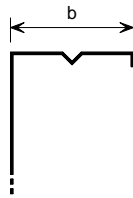
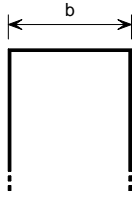
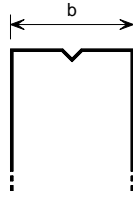
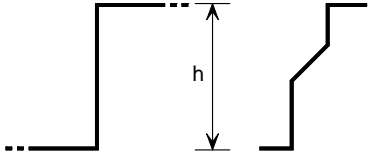
#### 4.3.1 Allmänt

I princip kan rostfria ståltvärsnitt klassificeras på samma sätt som tvärsnitt i kolstål. Fyra tvärsnittsklasser definieras enligt följande:

Klass 1	är tvärsnitt som kan bilda en plastisk led med den rotationskapacitet som krävs för plastisk analys.
Klass 2	är tvärsnitt som kan uppnå den plastiska momentkapaciteten, men har begränsad rotationskapacitet.
Klass 3	är tvärsnitt, i vilka den beräknade spänningen i stålelementets tryckta kant kan komma upp till sträckgränsen, men där buckling gör att den plastiska momentkapaciteten inte kan uppnås.
Klass 4	är tvärsnitt, i vilka buckling kommer att inträffa i en eller flera delar av tvärsnittet innan man uppnår sträckgränsen.



**Tabell 4.1** Största bredd-tjockleksförhållande

a) Plant element eller element med mellanliggande avstyvning anslutet till ett liv längs ena kanten och med den andra kanten fri:	$b/t \leq 50$		
b) Plant element eller element med mellanliggande avstyvning anslutet till ett liv längs ena kanten och försedd med enkelt kantveck längs andra kanten:	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$		
c) Plant element eller element med mellanliggande avstyvning anslutet till liv eller flänsar längs båda kanten:	$b/t \leq 400$		
d) Balkliv	$h/t \leq 400$		
<p>Anm: Plana element upplagda som i a) ovan med <math>b/t</math>-förhållanden större än ca 30 och plana element upplagda på annat sätt med <math>b/t</math>-förhållanden större än ca 75 kommer troligen att få synliga bucklor vid dimensionerande brukslast.</p>			

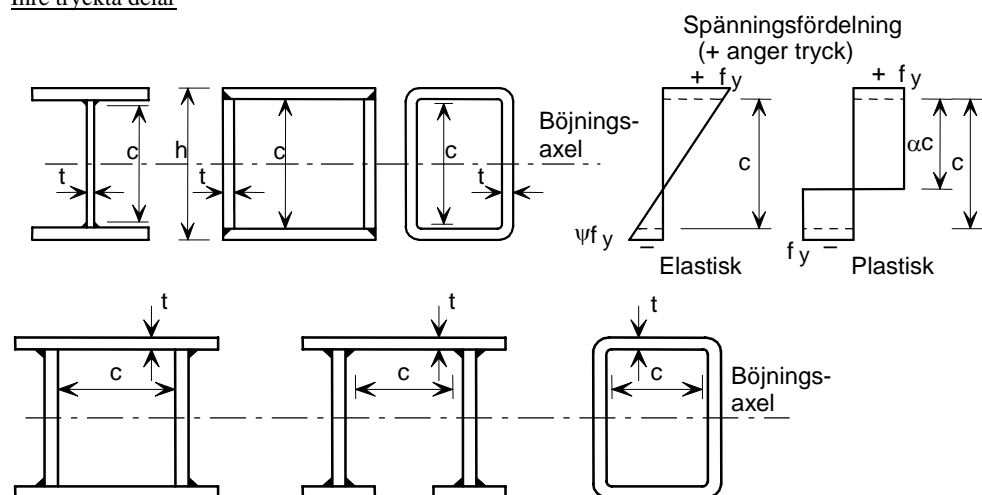
Tvärsnittsklassen är lika med den högsta (minst gynnsamma) klassen för de tvärsnittsdelar som helt eller delvis är utsatta för tryckspänningar. Man bör notera att tvärsnittsklassen kan variera beroende på förhållandet mellan verkande moment och normalkraft, och den kan således variera längs elementet.

#### 4.3.2 Klassgränser för tvärsnittsdelarnas slankhet

Tvärsnitt hänförs till klass 1, 2, eller 3 i enlighet med de gränser som anges i Tabell 4.2. De tvärsnitt som inte uppfyller kriterierna för klass 3 hänförs till klass 4.

**Tabell 4.2** Största bredd-tjockleksförhållande för tryckta delar

Inre tryckta delar



Klass	Del med spänningsfördelning enligt figuren högst upp till höger och med $\psi = -1$ resp $\alpha = 0,5$	Del med jämnt fördelad spänning	Del med spänningsfördelning enligt figuren högst upp till höger		
1	$c/t \leq 56,0\varepsilon$	$c/t \leq 25,7\varepsilon$	när $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq 308\varepsilon/(13\alpha - 1)$ när $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq 28\varepsilon/\alpha$		
2	$c/t \leq 58,2\varepsilon$	$c/t \leq 26,7\varepsilon$	när $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq 320\varepsilon/(13\alpha - 1)$ när $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq 29,1\varepsilon/\alpha$		
3	$c/t \leq 74,8\varepsilon$	$c/t \leq 30,7\varepsilon$	$c/t \leq 15,3\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Beträffande $k_\sigma$ se 4.4.1		
	$\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$	Stålsort	1.4301	1.4401	1.4462
		$f_y$ (MPa)	210	220	460
		$\varepsilon$	1,03	1,01	0,698

Anm:

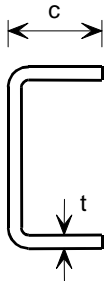
För rektangulära hålprofiler kan  $c$  på säkra sidan sättas lika med  $(h-2t)$  eller  $(b-2t)$

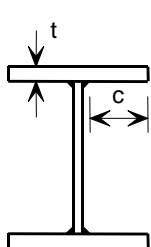
$E = 200\,000$  MPa

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{N_{Ed}}{f_y c \sum t_w} \right) \text{ för tvärsnitt symmetriska kring huvudaxeln}$$

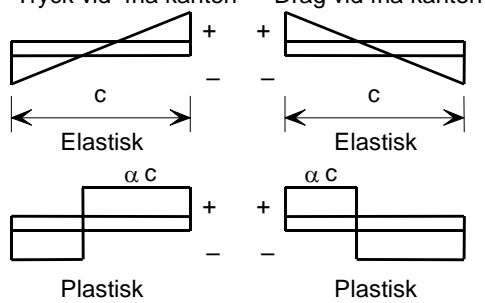
**Tabell 4.2 (forts) Största bredd-tjockleksförhållande för tryckta delar**

Utstickande flänsar





Spänningsfördelningar (+ anger tryck)  
Tryck vid fria kanten      Drag vid fria kanten

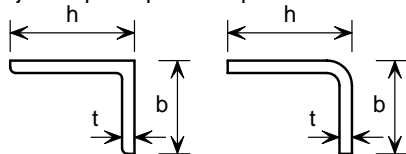


Klass	Profiltyp	Del med jämnt fördelad spänning	Del med spänningsfördelning enligt ovanstående figurer	
			Tryck vid fria kanten	Drag vid fria kanten
1	Kallformad	$c/t \leq 10,0\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Svetsad	$c/t \leq 9,0\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Kallformad	$c/t \leq 10,4\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Svetsad	$c/t \leq 9,4\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
3	Kallformad	$c/t \leq 11,9\varepsilon$	$c/t \leq 18,1\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	Beträffande $k_\sigma$ se 4.4.1.
	Svetsad	$c/t \leq 11,0\varepsilon$	$c/t \leq 16,7\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	Beträffande $k_\sigma$ se 4.4.1.

Vinkelprofiler

Se även Utstickande flänsar

Ej tillämpligt på vinkelprofiler i kontinuerlig kontakt med andra komponenter



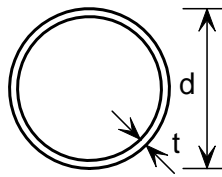
Klass	Tvärsnitt som påverkas av tryckkraft			
3	$h/t \leq 11,9\varepsilon$ ; $(b+h)/2t \leq 9,1\varepsilon$			
$\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$	Stålsort	1.4301	1.4401	1.4462
	$f_y$ (MPa)	210	220	460
	$\varepsilon$	1,03	1,01	0,698

Anm:  $E = 200\,000$  Mpa

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{N_{Ed}}{f_y c \sum t_w} \right) \text{ för vinkelprofiler som är symmetriska runt huvudaxeln}$$

**Tabell 4.2** (forts) Största bredd-tjockleksförhållande för tryckta delar

Rörprofiler



Klass	Tvårsnitt som påverkas av böjmoment	Tvårsnitt som påverkas av tryckkraft
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	$d/t \leq 280\varepsilon^2$	$d/t \leq 90\varepsilon^2$

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

Anm:  $E = 200\,000$  MPa

## 4.4 Effektiva bredder

### 4.4.1 Effektiva bredder för tvärsnittsdelar i klass 4

Storheter för tvärsnitt i Klass 4 kan beräknas genom att man använder effektiva bredder på de delar av tvärsnittet som helt eller delvis är utsatta för tryckspänningar. Alternativt kan man använda sig av provning, se kapitel 9.

Den effektiva arean för ett tvärsnitt i klass 4, som helt eller delvis är utsatt för tryckspänningar,  $A_{\text{eff}}$ , är tvärsnittets bruttoarea minus summan av de delar av varje slank tvärsnittsdel som inte antas medverka. Den effektiva arean av varje tvärsnittsdel i klass 4 är den effektiva bredden  $b_{\text{eff}}$  beräknad enligt nedan multiplicerad med tvärsnittsdelens tjocklek. När tvärsnittet påverkas av böjmoment måste man också beräkna ett effektivt tröghetsmoment  $I_{\text{eff}}$  och effektivt böjmotstånd  $W_{\text{eff}}$ .

De effektiva bredderna för tvärsnittsdelar som helt eller delvis är utsatta för tryckspänningar kan fås från Tabell 4.3 för inre element och från Tabell 4.4 för utstickande element.

De effektiva bredderna för tryckta flänsar får baseras på spänningsförhållandet  $\psi$  beräknat på bruttotvärsnittet ( $\psi$  definieras i Tabell 4.3 och 4.4). Den effektiva bredden på ett liv bör baseras på spänningsförhållandet  $\psi$  beräknat för ett tvärsnitt som består av den tryckta flänsens effektiva area men livets och den dragna flänsens bruttoarea.

Reduktionsfaktorn  $\rho$  kan beräknas enligt följande:

Kallformade eller svetsade inre tvärsnittsdelar:

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ dock } \leq 1 \quad (4.1a)$$

Kallformade utstickande tvärsnittsdelar:

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

Svetsade utstickande tvärsnittsdelar:

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

där  $\bar{\lambda}_p$  är tvärsnittsdelens slankhet definierad som:

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

i vilket:

$t$  är den aktuella tjockleken

$k_\sigma$  är bucklingsfaktorn för spänningsförhållandet  $\psi$  enligt Tabell 4.3 resp Tabell 4.4

$\bar{b}$  är den aktuella bredden enligt följande:

$\bar{b} = d$  för liv (med undantag av RHS)

$\bar{b} =$  den plana delen av liv i RHS-profiler, som på säkra sidan kan sättas lika med  $h-2t$

$\bar{b} = b$  för inre flänsdelar (med undantag av RHS)

$\bar{b} =$  den plana delen av flänsar i RHS-profiler, som på säkra sidan kan sättas lika med  $b-2t$

$\bar{b} = c$  för utstickande flänsar

$\bar{b} = h$  för liksidiga vinkelprofiler och oliksidiga vinkelprofiler

$\varepsilon$  är materialfaktorn definierad i Tabell 4.2.

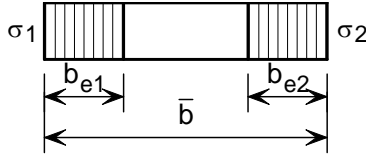
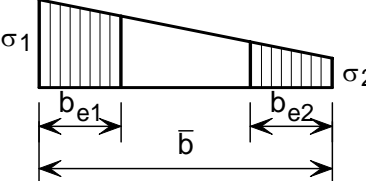
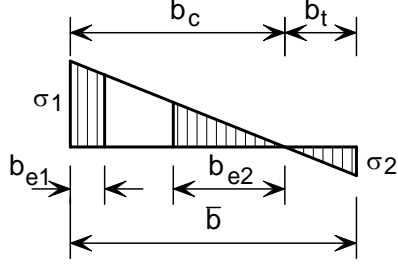
I allmänhet kommer neutrallagret för det effektiva tvärsnittet att vara förskjutet en sträcka  $e$  i förhållande till bruttotvärsnittets neutrallager, se Figur 4.1 och 4.2. Detta bör beaktas när man beräknar tvärsnittsvärdena för det effektiva tvärsnittet.

När tvärsnittet utsätts för axiellt tryck beaktar rekommendationerna i 5.5.2 tillskottsmomentet  $\Delta M_{Ed}$  som ges av:

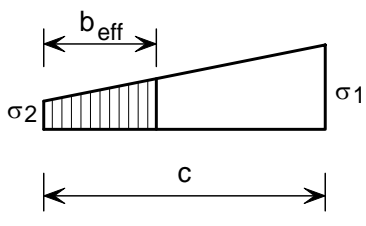
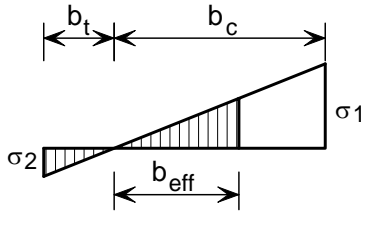
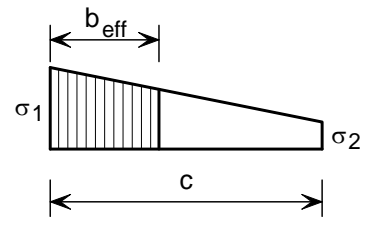
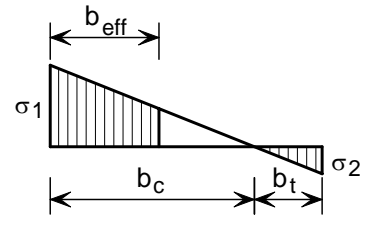
$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N$$

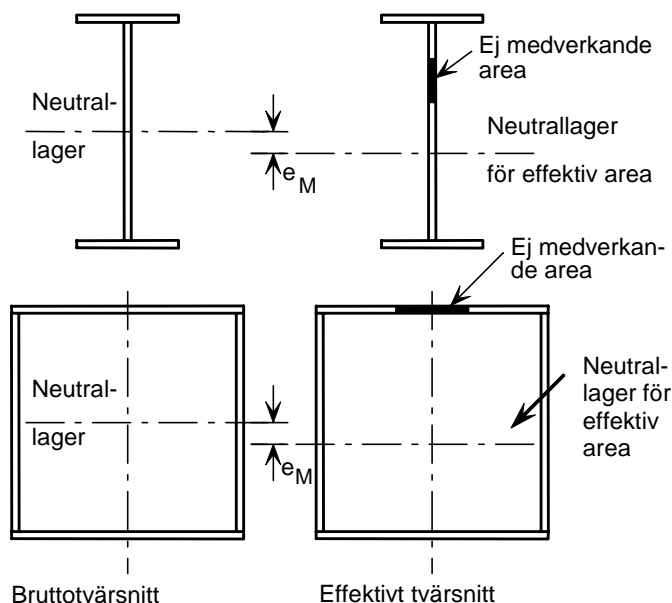
där  $e_N$  är förskjutningen av neutrallagret när tvärsnittet är utsatt för jämnt fördelat tryck, se Figur 4.2.

**Tabell 4.3** Inre tryckta tvärsnittsdelar

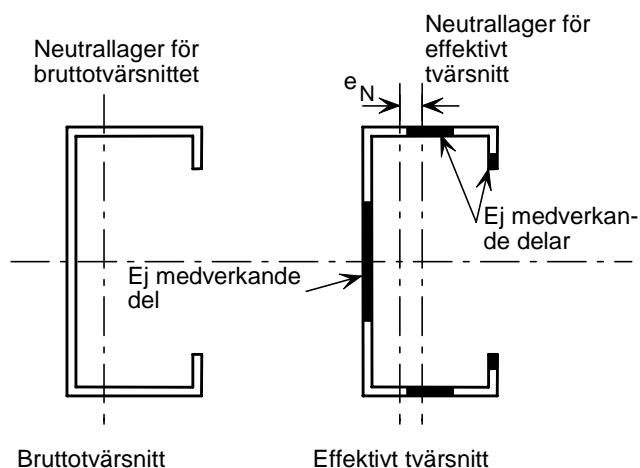
Spänningsfördelning ( tryck positivt)				Effektiv bredd $b_{\text{eff}}$		
				$\psi = 1:$  $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$  $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$		
				$1 > \psi \geq 0:$  $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$  $b_{e1} = \frac{2 b_{\text{eff}}}{5 - \psi}$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$  $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$  $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Bucklingsfaktor $k_\sigma$	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

**Tabell 4.4** Utstickande tryckta tvärsnittsdelar

Spänningsfördelning ( tryck positivt)			Effektiv bredd $b_{eff}$		
			$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$		
			$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -3$	
Bucklingsfaktor $k_\sigma$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$	
			$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$		
			$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Bucklingsfaktor $k_\sigma$	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$	23,8



**Figur 4.1** Tvårsnitt i klass 4 påverkat av böjmoment



**Figur 4.2** Tvårsnitt i klass 4 påverkat av tryckkraft

#### 4.4.2 Inverkan av shear lag

Man kan bortse från shear lag i flänsarna om  $b_0 < L_e/50$ , där  $b_0$  tas som utstående fläns eller halva bredden av ett inre element och  $L_e$  är längden mellan momentnollpunkterna. När gränsen för  $b_0$  överskrids bör effekterna av shear lag i flänsarna beaktas. Vägledningen för kolstål i EN 1993-1-5 är tillämplig. Notera att EN 1993-1-5 fordrar att hänsyn tas till shear lag både i brottgränstillstånd- och bruksgränstillstånd.



### 4.4.3 Skålning av fläns

För en bred fläns i en profil utsatt för böjning, eller för en fläns i en välvd profil utsatt för böjning där den konkava sidan är utsatt för tryck, bör skålning (d.v.s. krökning av flänsen mot det neutrala planet) av flänsen beaktas i bestämningen av bärförmågan. Om skålningen är mindre än 5 % av tvärsnittshöjden behöver effekten av skålning inte beaktas. För det fall att skålningen överstiger 5 % bör detta beaktas t ex genom att hävarmen för delar av flänsen minskas och att möjlig böjning av tvärsnittets liv beaktas.

Bredd-tjockleksförhållandet för flänsar i typiska rostfria balkar är sannolikt sådant att skålning av fläns inte behöver beaktas. Vid behov är riktlinjerna för kolstål i EN 1993-1-3 tillämpliga.

## 4.5 Avstyvade tvärsnittsdelar

### 4.5.1 Kantavstyvningar

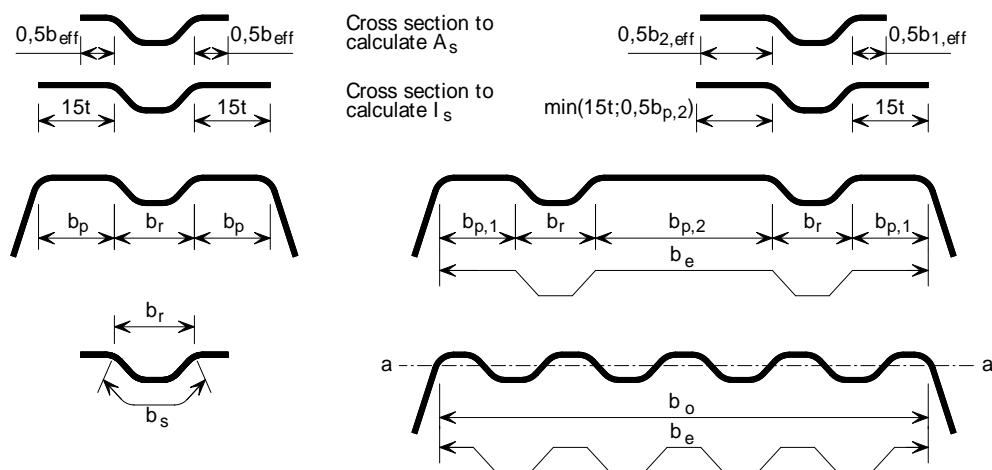
Anvisningarna för kolstål i EN 1993-1-3 kan tillämpas.

### 4.5.2 Mellanliggande avstyvningar

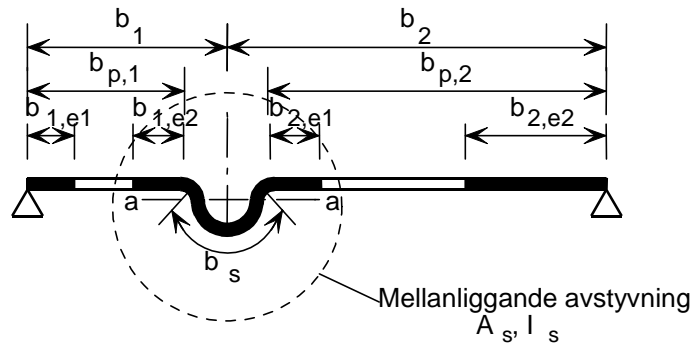
Anvisningarna för kolstål i EN 1993-1-3 kan tillämpas.

### 4.5.3 Trapetsprofilerad plåt med mellanliggande flänsavstyvningar

Vid jämnt fördelad tryckspänning kan det effektiva tvärsnittet för en fläns med mellanliggande avstyvningar antas bestå av de reducerade effektiva areorna  $A_{s,red}$  inklusive två remsor med bredden  $0,5b_{eff}$  eller  $15t$  vinkelrätt mot avstyvningarna, se Figur 4.3 och 4.4



Figur 4.3 Tryckt fläns med en, två eller flera avstyvningar



**Figur 4.4** Mellanliggande avstyvning

För en centrisk avstyvning i flänsen bör den elastiska kritiska bucklingsspänningen  $\sigma_{cr,s}$  (som används för att bestämma  $\bar{\lambda}_d$ ) sättas till:

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

där:

- $b_p$  är den teoretiska bredden på det plana elementet enligt Figur 4.2, 4.4 och 4.5
- $b_s$  är avstyvningens bredd, mätt runt dess omkrets, se Figur 4.2, 4.4 och 4.5
- $A_s$  är tvärsnittsarean av avstyvningens tvärsnitt enligt Figur 4.2, 4.4 och 4.5
- $I_s$  är yttroghetsmomentet för avstyvningens tvärsnitt enligt Figur 4.2, 4.4 and 4.5
- $k_w$  är en koefficient som beaktar den avstyvade flänsens inspänning mot rotation på grund av liven eller andra anslutande element, se nedan. Vid beräkning av effektivt tvärsnitt vid axiell tryckkraft är  $k_w=1,0$ .

För två symmetriskt placerade flänsavstyvningar bör den elastiska kritiska bucklingsspänningen  $\sigma_{cr,s}$  sättas till:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2(3b_e - 4b_1)}} \quad (4.8)$$

i vilket:

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s \quad (4.9)$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r \quad (4.10)$$

där

- $b_{p,1}$  är den teoretiska bredden för ett plant ytterelement enligt Figur 4.4,
- $b_{p,2}$  är den teoretiska bredden för det plana elementet i mitten enligt Figur 4.4
- $b_r$  är avstyvningens totalbredd, se Figur 4.3

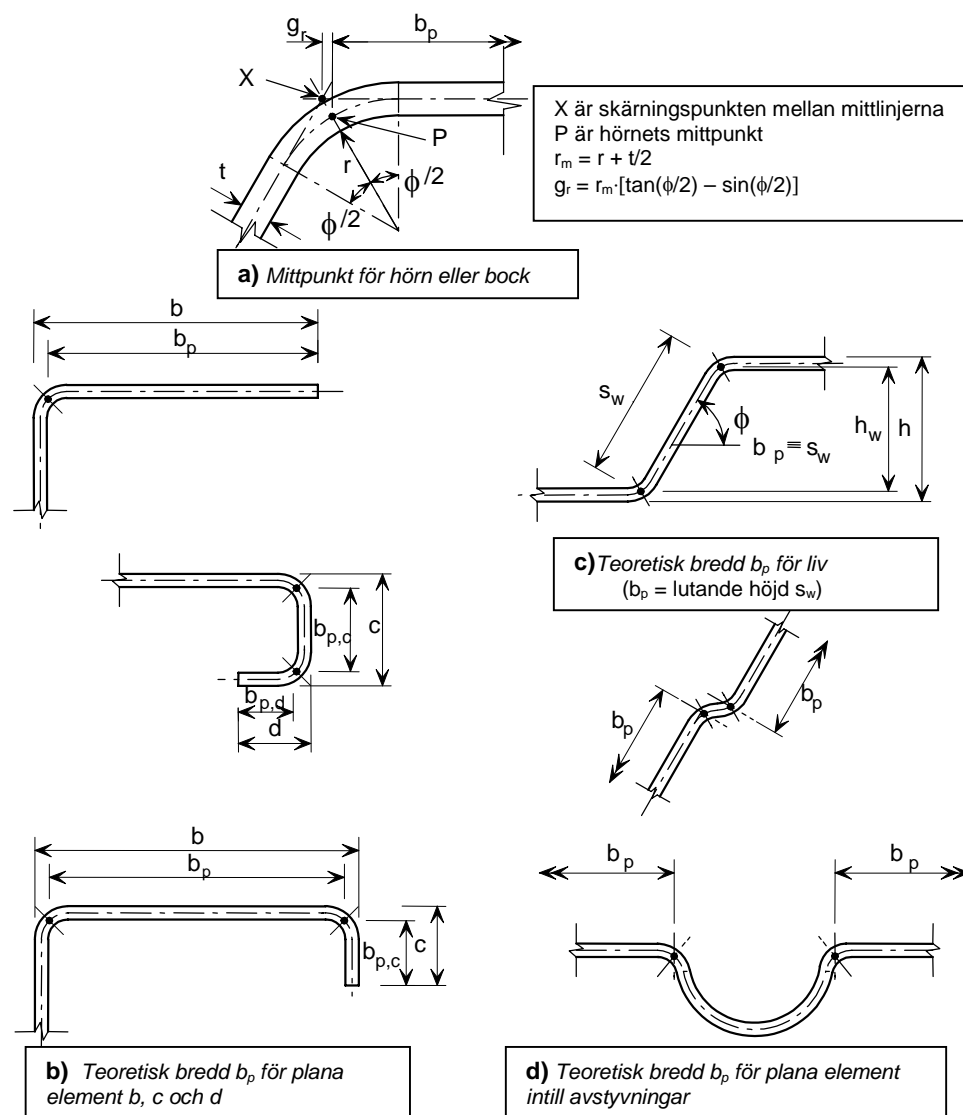
Värdet på  $k_w$  kan beräknas med utgångspunkt från den tryckta flänsens bucklingsvåglängd  $l_b$  enligt följande:

$$\text{om } \frac{l_b}{s_w} \geq 2, \quad k_w = k_{w0} \quad (4.7)$$

$$\text{om } \frac{l_b}{s_w} < 2, \quad k_w = k_{w0} - (k_{w0} - 1) \left[ \frac{2l_b}{s_w} - \left( \frac{l_b}{s_w} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

där:

$s_w$  är livets lutande höjd, se Figur 4.4.



**Figur 4.5** Teoretiska bredder på plana element  $b_p$  med hänsyn till hörnradier

Alternativt kan koefficienten för inspänning mot rotation  $k_w$  på säkra sidan sättas lika med 1,0 motsvarande ledad anslutning.

Värdena på  $l_b$  och  $k_{w0}$  kan bestämmas som:

a) för tryckt fläns med en mellanliggande avstyvning:

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}} \quad (4.13)$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} \quad (4.14)$$

$$\text{med } b_d = 2b_p + b_s \quad (4.15)$$

b) för tryckt fläns med två eller tre mellanliggande avstyvningar:

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{\frac{I_s b_1^2 (3b_e - 4b_1)}{t^3}} \quad (4.12)$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}} \quad (4.13)$$

Avstyvningens reducerade effektiva area  $A_{s,red}$  med hänsyn till buckling av kantavstyvningen bör sättas till:

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

där:

$\sigma_{com,ser}$  är den största tryckspänningen i avstyvningen (beräknad på det effektiva tvärsnittet) av last i bruksgränstillståndet

Om livet inte har några avstyvningar bör  $\chi_d$  bestämmas enligt följande:

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

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

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

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

Om även livet har avstyvningar hänvisas till EN 1993-1-3.

Vid bestämning av effektiva tvärsnittsstorheter, bestäms den reducerade effektiva arean  $A_{s,red}$  genom att man använder en reducerad tjocklek  $t_{red} = t A_{red} / A_s$  för alla element som ingår i  $A_s$ .

## 4.6 Beräkning av tvärsnittsstorheter

### 4.6.1 Allmänt

Beräkning av tvärsnittsstorheter bör göras med beaktande av eventuell reduktion av bruttoarean på grund av buckling eller eventuella hål. Tjockleksreduktionen i kallformade hörn kan försummas beroende på den hållfasthetshöjning som kallbearbetningen ger.

## 4.6.2 Inverkan av hörnrundning

Man kan bortse från avrundade hörns inverkan på tvärsnittets bärförmåga om den inre radien är  $r \leq 5t$  och  $r \leq 0.10b_p$  och tvärsnittet kan antas bestå av plana element med skarpa hörn. Hänsyn bör alltid tas till avrundade hörn inverkan på tvärsnittets styvhet.

När inverkan av avrundade hörn på tvärsnittsegenskaperna bör beaktas kan man med tillräcklig noggrannhet göra det genom att reducera värden beräknade för ett i övrigt likadant tvärsnitt med skarpa hörn, se Figur 4.6, med hjälp av följande approximativa uttryck:

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

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

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

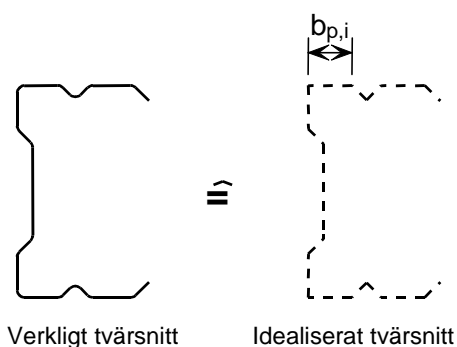
i vilket

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

där:

- $A_g$  är bruttotvärsnittets area
- $A_{g,sh}$  är värdet på  $A_g$  för ett tvärsnitt men skarpa hörn
- $b_{p,i}$  är den teoretiska bredden på det plana elementet  $i$  för ett tvärsnitt med skarpa hörn
- $I_g$  är tröghetsmomentet för bruttotvärsnittet
- $I_{g,sh}$  är värdet på  $I_g$  för ett tvärsnitt men skarpa hörn
- $I_w$  är välvstyvhets tvärsnittsfaktor för bruttotvärsnittet
- $I_{w,sh}$  är värdet på  $I_w$  för ett tvärsnitt men skarpa hörn
- $\phi_j$  är vinkeln mellan två plana element
- $m$  är antalet plana element
- $n$  är antalet krökta element
- $r_j$  är innerradien för det krökta elementet  $j$

Reduktionerna enligt ovan kan även tillämpas vid beräkning av de effektiva tvärsnittsstorheterna  $A_{eff}$ ,  $I_{y,eff}$ ,  $I_{z,eff}$  och  $I_{w,eff}$ , under förutsättning att de teoretiska bredderna på de plana elementen mäts till skärningspunkten mellan deras mittlinjer.



**Figur 4.6** Verkligt och idealiserat tvärsnitt

### 4.6.3 Bruttotvårsnitt

Vid beräkning av storheter för bruttotvårsnittet behöver man inte göra avdrag för hål för fästelement, men man bör ta hänsyn till större hål.

### 4.6.4 Nettotvårsnitt

Nettoarean för ett tvärsnitt eller en tvärsnittsdel bör sättas lika med dess bruttoarea med avdrag för alla hål, inklusive hål för fästelement. Vid hålavdrag för fästelement bör den nominella håldiametern användas.

För ej förskjutna hål för fästelement, bör den area som dras av från bruttotvårsnittets area vara den största summan av hålareorna i något tvärsnitt vinkelrätt mot balkens axel (se snitt (2) i Figur 4.7).

Om hålen inte är symmetriskt placerade bör den totala avdragna arean vara det största värdet av:

- Avdraget värde för icke-förskjutna hål

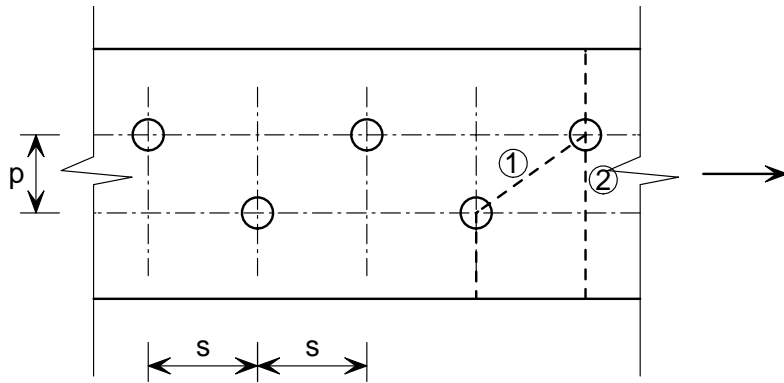
- $t \left( nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$

där:

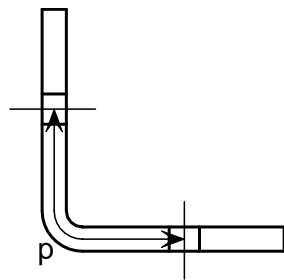
- $s$  är avståndet mellan centrum två på varandra följande hål uppmätt parallellt med balkens axel.
- $p$  är avståndet mellan centrum för samma hål uppmätt vinkelrätt mot balkens axel
- $t$  är tjockleken
- $n$  är antalet hål i något snitt, diagonalt eller sick-sack över bärverksdelen eller del av bärverksdelen, se Figur 4.7
- $d_0$  är hålets diameter.

För vinkelprofiler med hål i båda skänklarna, bör längden mätas längs tjocklekscentrum på materialet, se Figur 4.8.

För vinkelprofiler infästa i en skänkel, se avsnitt 6.2.



**Figur 4.7** Förskjutna hål och kritiska brottlinjer 1 och 2



**Figur 4.8** Hålavstånd för vinkelprofil med hål i båda skänklarna

## 4.7 Tvärsnitts bärförmåga

### 4.7.1 Allmänt

Detta avsnitt avser enbart bärförmågan hos tvärsnitt. För att få fram ett elements bärförmåga krävs även en kontroll av tänkbara instabilitetsfall. Global instabilitet behandlas i kapitel 5. och lokal instabilitet beaktas med effektivt tvärsnitt. De  $\gamma_M$ -faktorer som används i detta avsnitt ges i Tabell 2.1.

Deformationshårdnandet vid kallformningsoperationer under tillverkning (se avsnitt 3.2.2) kommer normalt att höja tvärsnittets bärförmåga, men det finns ännu inte tillräckliga data tillgängliga för rostfritt stål för att man ska kunna ge rekommendationer för dimensioneringen. Om man vill utnyttja den gynnsamma effekten av deformationshårdnande föreslås att tvärsnittets bärförmåga bestäms genom provning (se kapitel 9).

I speciella fall kan det vara tillåtet att vid dimensioneringen utnyttja deformationshårdnandeseffekten i rostfritt stål, se avsnitt 4.7.7.

### 4.7.2 Tvärsnitt påverkade av dragkraft

Bärförmågan hos tvärsnitt som enbart påverkas av jämnt fördelade dragspänningar,  $N_{t,Rd}$ , kan sättas till det minsta av:

a) bruttotvärsnittets dimensionerande plastiska kapacitet

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

b) nettotvärsnittets dimensionerande brotthållfasthet vid hål för fästelement

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

där:

$A_g$  är bruttoarean

$A_{net}$  är tvärsnittets nettoarea (se 4.6.4)

$f_y$  är sträckgränsens karakteristiska värde (vanligen satt lika med den specificerade minimivärdet på 0,2-gränsen, se Tabell 3.1)

$f_u$  är dragbrottgränsens karakteristiska värde (vanligen satt lika med det specificerade minimivärdet, se Tabell 3.1)

$$k_r = [1 + 3r(d_0 / u - 0,3)] \text{ dock } k_r \leq 1,0 \quad (4.24)$$

$r$  = [antalet skruvar i tvärsnittet]/[totala antalet skruvar i infästningen]

$d_0$  är skruvhålets nominella diameter

$u$  =  $2e_2$  dock  $u \leq p_2$

### 4.7.3 Tvärsnitt påverkade av tryckkraft

Bärförmågan för ett tvärsnitt påverkat av tryckkraft,  $N_{c,Rd}$ , med verkningslinje genom bruttotvärsnittets tyngdpunkt (för tvärsnittsklass 1, 2 och 3) eller det effektiva tvärsnittets tyngdpunkt (för tvärsnittsklass 4) kan sättas till:

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

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

Anm: Tvärsnitt i klass 4 som inte är dubbelsymmetriska bör beräknas enligt 4.7.6 för att ta hänsyn till tillskottsmomentet  $\Delta M_{Ed}$  på grund av neutrallagrets förflyttning., se avsnitt 4.4.1.

### 4.7.4 Tvärsnitt påverkade av böjmoment

Om det inte finns någon samtidigt verkande tvärkraft eller axialkraft, bör den dimensionerande momentkapaciteten för ett tvärsnitt påverkat av enaxligt moment,  $M_{c,Rd}$ , sättas till:

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

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

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

där:

$W_{pl}$  är det plastiska böjmotståndet

$W_{el, \min}$  är det elastiska böjmotståndet svarande mot med fibern med den största elastiska spänningen (se även avsnitt 4.1 för kallformade tvärsnitt)

$W_{eff, \min}$  är det elastiska böjmotståndet för den fiber i det effektiva tvärsnittet som svarar mot den största elastiska spänningen (se avsnitt 4.1 för kallformade tvärsnitt)

För tvärsnitt med böjmoment kring båda axlarna, se 4.7.6.



#### 4.7.5 Tvärsnitt påverkade av tvärkraft

Den plastiska tvärkraftskapaciteten  $V_{pl,Rd}$  kan allmänt sättas till:

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

där  $A_v$  är skjuvarean, som kan sättas till följande:

a) för valsade I- och H profiler, last parallellt med livet:  $A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$

men inte mindre än  $\eta h_w t_w$

b) för valsade U-profiler, last parallellt med livet :  $A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$

c) för valsade T-profiler last parallellt med livet  $0,9(A - bt_f)$

d) för svetsade I-, H-, och lådprofiler, last parallellt med livet:

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

e) för svetsade I-, H-, U- och lådprofiler, last parallellt med flänsen

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

f) för rektangulära rör med konstant godstjocklek

i. last i styva riktningen:  $Ah/(b + h)$

ii. last i veka riktningen:  $Ab/(b + h)$

g) för cirkulära rör med konstant godstjocklek:  $2A / \pi$  där:

$A$  är tvärsnittsarean

$b$  är totalbredden

$h$  är totalhöjden

$h_w$  är livhöjden

$r$  är rotradien

$t_f$  är flänstjockleken

$t_w$  är livtjockleken (om livtjockleken inte är konstant, bör  $t_w$  tas som den minsta tjockleken).

$\eta$  se EN 1993-1-5. (EN 1993-1-4 rekommenderar  $\eta = 1,20$ .)

Anm: Samma värde på  $\eta$  bör användas för att beräkna skjuvbucklingsbärförmågan som den som används för att beräkna den plastiska skjuvningsbärförmågan.

Bärförmågan med hänsyn till skjuvbuckling bör också kontrolleras, se 5.4.3.

#### 4.7.6 Tvärsnitt utsatta för kombinerad påverkan

När det finns en axiellkraft, bör effekten beaktas av denna beaktas vid bestämningen av den plastiska momentkapaciteten. För tvärsnittsklass 1 och 2 gäller:

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

där:

$M_{N,Rd}$  är den dimensionerande plastiska momentkapaciteten reducerad på grund av axialkraften  $N_{Ed}$ .

För dubbelsymmetriska I- och H-profiler eller andra profiler med fläns, behöver inte hänsyn tas till påverkan av axialkraften på den plastiska momentkapaciteten kring y-y axeln om båda villkoren nedan uppfyllts:

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

$$N_{Ed} \leq 0,5h_w t_w f_y / \gamma_{M0} \quad (4.32b)$$

I frånvaro av tvärkraft för tvärsnitt i klass 3 och 4, bör den största longitudinella spänningen uppfylla följande villkor:

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

där

$\sigma_{x,Ed}$  är dimensioneringsvärdet för den lokala longitudinella spänningen p.g.a. moment och axialkrafter med hänsyn taget till hål för fästelement när det är relevant.

För tvärsnitt i klass 4 bör även följande villkor uppfyllas:

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

där:

$A_{eff}$  är tvärsnittets effektiva area när det utsätts för centriskt tryck.

$W_{eff,min}$  är tvärsnittets effektiva böjmotstånd när det endast utsätts för moment kring relevant axel.

$e_N$  Är förflyttningen av neutrallagret när tvärsnittet endast utsätts för tryck.

Observera att för vinkelprofiler tas u- och v-axeln som y- resp z-axel i ovanstående.

När  $V_{Ed}$  överstiger 50% av  $V_{pl,Rd}$ , beräknas tvärsnittets dimensionerande bärförmåga med hänsyn till kombinationer av moment och axialkraft med en reducerad sträckgräns  $(1 - \rho) f_y$  för skjuvarean, där  $\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$ .

#### 4.7.7 Utnyttjande av deformationshårdnande

I speciella fall, såsom balkar utsatta för kortvariga olyckslaster, är det tillåtet att tillgodoräkna sig den gynnsamma effekten av deformationshårdnande hos rostfritt stål mera direkt i dimensioneringen.

Detta kan man göra genom att använda en förhöjd hållfasthet,  $\sigma_0$ , istället för 0,2-gränsen  $f_y$  i alla beräkningar. Om man inte gör någon mer ingående uppskattning, t ex med icke-linjär finit elementberäkning, rekommenderas att man beaktar följande restriktioner:

- Tvärsnittet bör tillhöra klass 1 eller 2 bestämt med  $\sigma_0$  istället för  $f_y$  vid beräkningen av  $\varepsilon$  i Tabell 4.2.
- Tvärsnittet utsätts enbart för böjning i styva riktningen.
- Elementet ifråga påverkas inte av instabilitet i någon form (böjknäckning, vridknäckning, vippning med eller utan tvärsnittsdeformation - se kapitel 5), även nu med  $\sigma_0$  i alla beräkningar.
- Anslutningar mot intilliggande element och elementen själva är tillräckligt starka för att man ska kunna uppnå den förhöjda bärförmågan hos elementet.

Speciell uppmärksamhet bör ägnas åt att fastställa kraven på anslutningarnas bärförmåga.

För tvärsnitt i klass 3 och 4 kan förhöjd hållfasthet utnyttjas förutsatt att dessa värden verifieras genom provning enligt avsnitt 9.

## 5 DIMENSIONERING AV KONSTRUKTIONSELEMENT

### 5.1 Inledning

De kontroller som behöver göras vid dimensionering av konstruktionselement i rostfritt stål är desamma som vid kolstål. Det rekommenderas att krafter och moment i konstruktionselementen bestäms med elastisk analys.

Utöver tvärsnittskapaciteten, se avsnitt 4, beaktas konstruktionselementens stabilitet enligt detta avsnitt.

Ett möjligt angreppssätt för att dimensionera rostfria stålelement med hänsyn till instabilitet är att använda tangentmodulen motsvarande den spänning då instabiliteten inträffar istället för initialmodulen som används i regler för kolstål. Om man antar likartade nivåer på geometriska imperfektioner och egenspanningar i konstruktionselement i kolstål och rostfritt stål, leder detta normalt till tillfredsställande resultat om beräkningen baseras på fastställda regler för kolstål. Det angreppssättet är därför tillgängligt för konstruktören. Det kräver dock iterativa beräkningar, och har därför undvikits i denna publikation med undantag för några fall, där det har använts för att ta fram användbara dimensioneringskurvor som kan användas med initialmodulen. Istället har tonvikten lagts på att kalibrera mot tillgängliga experimentella data.

Följande avsnitt är avsedda att användas för dubbel-, enkel- eller punktsymmetriska konstanta tvärsnitt. Bärförmågan hos konstruktionselement som inte har någon symmetriaxel bör verifieras genom provning.

### 5.2 Dragna konstruktionselement

Konstruktionselement som enbart utsätts för dragkraft påverkas inte av någon instabilitet. Dimensioneringen av dem kan därför baseras enbart på bärförmågan hos tvärsnitten, se 4.7.2, och anslutningarnas bärförmåga, se avsnitt 6.

För en vinkelprofil som ansluts genom ena skänkeln och för andra osymmetriskt anslutna konstruktionselement gäller:

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

där termerna definieras i avsnitt 4.7.2 och  $N_{u,Rd}$  bestäms enligt avsnitt 6.2.3, uttrycken 6.6, 6.7 eller 6.8

### 5.3 Tryckta konstruktionselement

#### 5.3.1 Allmänt

Konstruktionselement med tryckkraft kan påverkas av ett antal instabilitetsfall:

- Buckling (endast tvärsnittsklass 4)
- Böjknäckning
- Vridknäckning
- Böjvridknäckning

### **Dubbelsymmetriska tvärsnitt (CHS, RHS, I-profiler etc)**

Dubbelsymmetriska tvärsnitt behöver inte kontrolleras för böjvridknäckning, eftersom skjuvningsmedelpunkten sammanfaller med tvärsnittets tyngdpunkt.

Cirkulära och kvadratiska rör behöver inte kontrolleras för vridknäckning.

### **Enkelsymmetriska tvärsnitt (liksidiga vinkelprofiler, U-profiler etc)**

Profiler som enkla U-profiler och liksidiga vinkelprofiler måste kontrolleras för böjvridknäckning, eftersom skjuvningsmedelpunkten inte sammanfaller med tvärsnittets tyngdpunkt.

### **Punktsymmetriska tvärsnitt (Z-profiler, korsformade profiler etc)**

Vridknäckning kan vara dimensionerande knäckningsfall för dessa tvärsnitt.

## **5.3.2 Buckling**

För tvärsnitt i klass 4 beaktas buckling genom användandet av tvärsnittets effektiva area.. Observera att tillskottsmomentet på grund av förskjutningen av det effektiva tvärsnittets neutrallager i förhållande till bruttotvärsnittets i osymmetriska tvärsnitt i klass 4 bör beaktas i enlighet med 5.5.

## **5.3.3 Böjknäckning**

Bärförmågan med hänsyn till böjknäckning bör bestämmas som:

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}$$

$$\text{för tvärsnittsklass 1, 2 och 3} \quad (5.2a)$$

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

där:

$A_{eff}$  är den effektiva arean för tvärsnitt i klass 4

$A$  är bruttoarean

$\chi$  är reduktionsfaktorn för knäckning, som ges av:

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

i vilket:

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

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

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

där:

$\alpha$  är imperfektionsfaktorn som definieras i Tabell 5.1

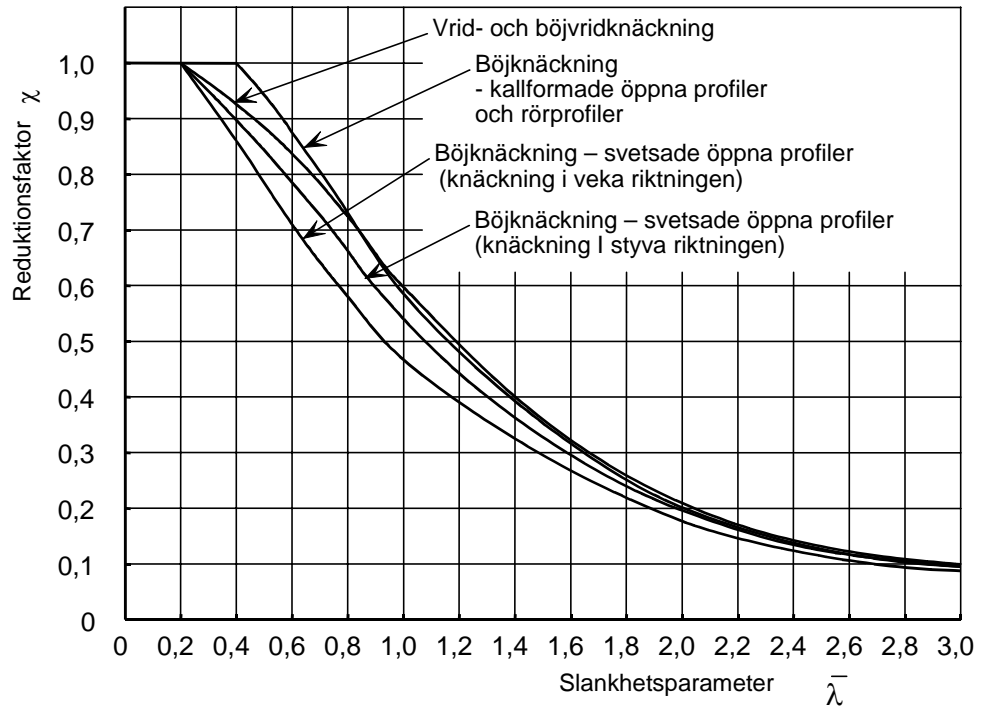
$N_{cr}$  är den kritiska elastiska lasten för det relevanta bucklingsfallet beräknad med bruttotvärsnittets egenskaper.

$\bar{\lambda}_0$  är den dimensionslösa slankhetsgränsen som definieras i Tabell 5.1

$L_{cr}$  är knäckningslängden i knäckningsplanet, bestämd med beaktandet av randvillkor.

$i$  är tröghetsradien kring den aktuella axeln, bestämd med egenskaperna för bruttotvårsnittet

Knäckningskurvorna visas i Figur 5.1. Värdena för  $\alpha$  och  $\bar{\lambda}_0$  i Tabell 5.1 är inte tillämplig för ihåliga tvärsnitt som glödgats efter tillverkning. För den dimensionslösa slankheten  $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$  eller för  $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq \bar{\lambda}_0^2$  kan man bortse från knäckningens inverkan och endast kontrollera bruttotvårsnittet.



**Figur 5.1** Kurvor för böj-, vrid- och böjvridknäckning

Knäckningslängden baseras på strukturmekanik med aktuella randvillkor.

**Tabell 5.1** Värden på  $\alpha$  och  $\bar{\lambda}_0$  för böj-, vrid- och böjvridknäckning

Knäckningsform	Typ av element	$\alpha$	$\bar{\lambda}_0$
Böjknäckning	Kallformade öppna profiler	0,49	0,40
	Hålprofiler (svetsade och sömlösa)	0,49	0,40
	Svetsade öppna profiler (styva riktningen)	0,49	0,20
	Svetsade öppna profiler (veka riktningen)	0,76	0,20
Vrid- och böjvridknäckning	Alla	0,34	0,20

### 5.3.4 Vridknäckning och böjvridknäckning

Bärförmågan med hänsyn till dessa knäckningsformer bestäms enligt 5.3.2, men där man ersätter  $\bar{\lambda}$  med  $\bar{\lambda}_T$ , enligt ekvation 5.6 och 5.7 samt sätter  $\alpha = 0,34$  och  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$ .

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr}}}} \text{ för tvärsnittsklass 1, 2 och 3} \quad (5.6a)$$

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

i vilka:

$$N_{\text{cr}} = N_{\text{cr,TF}} \text{ och } N_{\text{cr}} < N_{\text{cr,T}}$$

där:

$N_{\text{cr,T}}$  är den kritiska elastiska vridknäckningskraften

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

$N_{\text{cr,TF}}$  är den kritiska elastiska böjvridknäckningskraften

För tvärsnitt som är symmetriska kring y-y axeln (t.ex.  $z_o = 0$ )

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

i vilket:

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

$i_y$  och  $i_z$  är bruttotvärsnittets tröghetsradie med avseende på y- och z-axeln

$y_o$  och  $z_o$  är skjuvningsmedelpunkten med avseende på bruttotvärsnittets tyngdpunkt

$G$  är skjuvmodulen

$l_t$  är elementets knäckningslängd för vridknäckning

$I_t$  är vridstyvhetens tvärsnittsfaktor, beräknad på bruttotvärsnittet

$I_w$  är välvstyvhetens tvärsnittsfaktor, beräknad på bruttotvärsnittet

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

$N_{\text{cr,y}}$  och  $N_{\text{cr,z}}$  är den kritiska axialkraften för elastisk böjknäckning kring -y-y respektive z-z-axeln.

För dubbelsymmetriska tvärsnitt, sammanfaller skjuvcentrum med tyngdpunkten, således är  $y_o = 0$  och  $z_o = 0$  och

$$N_{\text{cr,TF}} = N_{\text{cr,T}} \text{ förutsatt att } N_{\text{cr,T}} < N_{\text{cr,y}} \text{ och } N_{\text{cr,T}} < N_{\text{cr,z}} .$$

Observera att för vinkelprofiler tas u- och v-axeln som y- resp z-axel i ovanstående.

## 5.4 Böjbelastade element

### 5.4.1 Allmänt

Ett element utsätts för ren böjning under laster som verkar vinkelrätt mot längdaxeln om det är anslutet på sådant sätt att det inte blir vridning eller drag- eller tryckkraft vid ändarna.

Följande kriterier beaktas vid bestämning av en balks momentkapacitet:

- Flytning i tvärsnittet (se 4.7)
- Buckling (endast tvärsnittsklass 4 - se 4.7)
- Vippning (se 5.4.2)
- Skjuvbuckling (se 5.4.3)
- Lokal bärförmåga vid koncentrerade laster eller upplagsreaktioner.

Observera att för böjbelastade element kan effekterna av shear lag och skålning av fläns behöva beaktas i dimensioneringen, se 4.4.2 och 4.4.3.

Tvåaxlig böjning bör behandlas enligt 5.5.3.

### 5.4.2 Vippning

Risken för vippning behöver inte beaktas i följande fall:

- balkar med böjning enbart kring veka axeln
- balkar som är tillräckligt stagade i sidled efter hela längden
- balkar med dimensionslös slankhetsparametern för vippning  $\bar{\lambda}_{LT}$  (se nedan)  $\leq 0,4$  eller med  $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,16$ .

För alla övriga fall bör bärförmågan med hänsyn till vippning beräknas som

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

där:

$$W_y = W_{pl,y} \text{ för tvärsnittsklass 1 och 2}$$

$$W_y = W_{el,y} \text{ för tvärsnittsklass 3}$$

$$W_y = W_{eff,y} \text{ för tvärsnittsklass 4}$$

$\chi_{LT}$  är reduktionsfaktorn för vippning, som ges av:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + [\varphi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{0.5}} \leq 1 \quad (5.12)$$

i vilket:

$$\varphi_{LT} = 0,5 \left( 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \quad (5.13)$$



$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (5.14)$$

$\alpha_{LT}$  är imperfektionsfaktorn

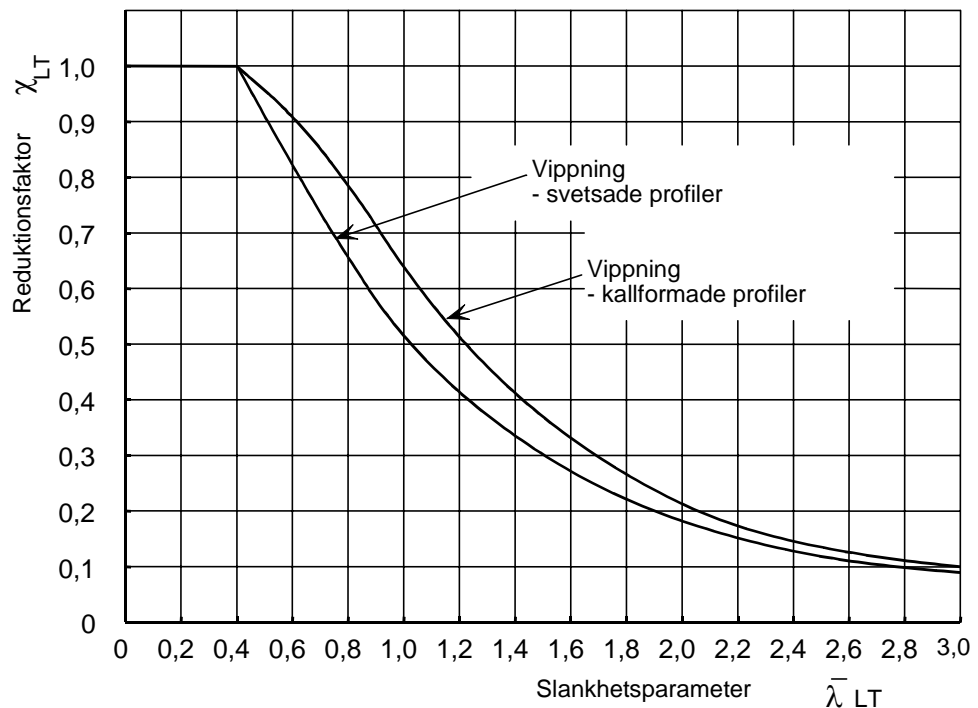
= 0,34 för kallformade profiler och rör (svetsade och sömlösa)

= 0,76 för svetsade öppna profiler och andra profiler utan tillgängliga testdata..

$M_{cr}$  är det kritiska elastiska momentet för vippning (se Bilaga B).

Observera att för vinkelprofiler tas u-respektive v-axeln som y- och z-axel i ovanstående.

Vippningskurvorna visas i Figur 5.2.



**Figur 5.2** Vippningskurvor

### 5.4.3 Tvärkraftskapacitet

Tvärkraftskapaciteten begränsas av antingen den plastiska tvärkraftskapaciteten (se 4.7.5) eller bärförmågan med hänsyn till skjuvbuckling.

Bärförmågan med hänsyn till skjuvbuckling behöver endast kontrolleras om  $h_w / t \geq 23\varepsilon\sqrt{k_\tau}/\eta$  för liv med vertikala avstyvningar, eller  $h_w / t \geq 52\varepsilon/\eta$  för liv utan avstyvningar.

En balks bärförmåga med hänsyn till skjuvbuckling bör sättas till:

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

i vilket bidraget från livet ges av:

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

där

$h_w$  är livhöjden mellan flänsarnas innerkanter (Figur 5.3)

$\varepsilon$  är definierad i tabell 4.2

$k_\tau$  är skjuvbucklingskoefficienten.

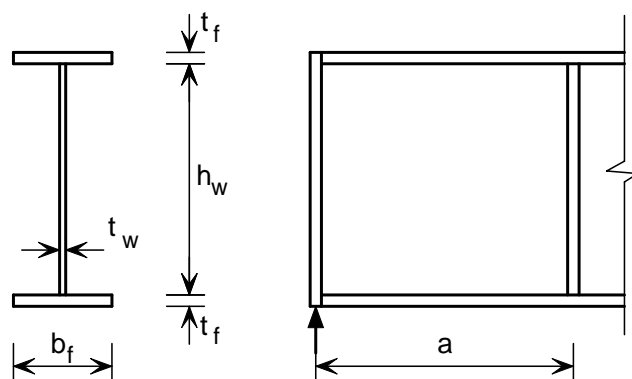
$V_{bw,Rd}$  är livets bidrag till skjuvbucklingskapaciteten.

$V_{bf,Rd}$  är flänsarnas bidrag till skjuvbucklingskapaciteten.

$f_{yw}$  är det karakteristiska värdet på livets sträckgräns

$\eta$  se EN 1993-1-5 (EN 1993-1-4 rekommenderar  $\eta = 1.20$ .)

Anm: Samma värde på  $\eta$  bör användas för att beräkna den plastiska tvärkraftskapaciteten som skjuvbucklingskapaciteten.



**Figur 5.3** Beteckningar för mått

För liv med tvärvaststyvningar enbart vid upplagen, och för liv med antingen mellanliggande tvär- och längsavstyvningar, ges livets bidrag  $\chi_w$  av:

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

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

För liv med tvärvaststyvningar enbart vid upplagen sätts den dimensionslösa slankhetsparametern  $\bar{\lambda}_w$  till:

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

För liv med tvärvaststyvningar vid upplagen och mellanliggande tvär- och längsavstyvningar sätts slankhetsparametern  $\bar{\lambda}_w$  till:

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

I vilket  $k_\tau$  är den minsta skjuvbucklingskoefficienten för livfältet. Liv med styva tvärvaststyvningar utan längsavstyvningar eller med fler än två längsavstyvningar kan  $k_\tau$  fås enligt:

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

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

där:

$$k_{\tau st} = 9(h_w/a)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}\right)^3} \text{ men inte mindre än } \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

där

$a$  är avståndet mellan centrumlinjen och tvärsavstyvningen se Figur 5.3

$I_{sl}$  är yttröghetsmomentet för längsavstyvningen runt z-axeln.

Ekvation 5.16 är även tillämplig på plåtar med en eller två längsavstyvningar, om förhållandet  $a/h_w \geq 3$ . För plåtar med en eller två längsavstyvningar och med förhållandet  $a/h_w < 3$ , se EN 1993-1-5, bilaga A3.

För att underlätta kan bidraget  $\chi_f$  från flänsarna försummas. Om flänsens bärförmåga inte är fullt utnyttjad av böjmomentet ( $M_{Ed} < M_{f,Rd}$ ) då kan flänsens bidrag beräknas enligt följande:

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

där:

$b_f$  och  $t_f$  gäller den fläns som ger minst bidrag till axiell bärförmåga  $b_f$  bör inte sättas större än  $15\epsilon t_f$  på var sida om livet.

$M_{f,Rd}$  är böjmotståndet för tvärsnittet enbart innefattande flänsens effektiva area

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

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

$f_{yf}$  är den karakteristiska sträckgränsen.

Om även en kraft  $N_{Ed}$  förekommer, bör värdet på  $M_{f,Rd}$  reduceras med en faktor:

$$\left[ 1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) f_{yf}} \right] \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M1}} \quad (5.18)$$

där  $A_{f1}$  och  $A_{f2}$  över- respektive underflänsens area.

Verifiering bör genomföras enligt följande:

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

där:

$V_{Ed}$  är den dimensionerande tvärkraften inklusive tvärkraft från vridmoment.

Verifiering för element vid tvåaxlig böjning och axiellt tryck, bör utföras enligt:

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

där:

$A_{eff}$  är den effektiva tvärsnittsarean (avsnitt 4.4.1)

$e_{y,N}$  är neutrallagrets förskjutning av neutralaxeln i förhållande till y-axeln (avsnitt 4.4.1)

$e_{z,N}$  är neutrallagrets förskjutning av neutralaxeln i förhållande till z-axeln (avsnitt 4.4.1)

$M_{y,Ed}$  är det dimensionerande momentet i förhållande till y-axeln

$M_{z,Ed}$  är det dimensionerande momentet i förhållande till z-axeln

$N_{Ed}$  är den dimensionerande axialkraften

$W_{y,eff}$  är det effektiva böjmotståndet i förhållande till y-axeln (avsnitt 4.4.1)

$W_{z,eff}$  är det effektiva böjmotståndet i förhållande till z-axeln (avsnitt 4.4.1)

Lasteffektens  $M_{Ed}$  och  $N_{Ed}$  bör inkludera globala andra ordningens effekter när de är av betydelse. Kontroll av buckling av panelen bör utföras för spänningsresultanten på det minsta avståndet utav 0,4a eller 0,5b, från panelkant där spänningen är störst.

Förutsatt att  $\bar{\eta}_3$  (se nedan) inte överskrider 0,5, behöver inte den dimensionerande bärförmågan avseende böjning och axialkraft reduceras för beaktande av tvärkraft. Om  $\bar{\eta}_3$  är större än 0,5 bör den kombinerade effekten av böjning och skjuvning i livet hos en I- eller lådbalk uppfylla:

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

där:

$M_{f,Rd}$  är dimensionerande plastisk momentkapacitet för ett tvärsnitt bestående av flänsarnas effektiva area

$M_{pl,Rd}$  är dimensionerande plastisk momentkapacitet för ett tvärsnitt bestående av liv och effektiv flänsarea, oberoende av tvärsnittsklass.

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

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

Spänningar tas som positiva.  $M_{Ed}$  och  $V_{Ed}$  bör inkludera andra ordningens effekter där de är av betydelse.

Villkoret som ges i 5.21 bör kontrolleras för alla tvärsnitt på ett avstånd större än  $h_w/2$  från ett upplag med vertikala avstyvningar.

För det fall att bärverksdelen belastas med en axialkraft  $N_{Ed}$ , så bör  $M_{pl,Rd}$  ersättas med den reducerande plastiska momentkapaciteten  $M_{N,Rd}$  enligt 6.2.9 i EN 1993-1-1 och  $M_{f,Rd}$  bör reduceras enligt ekvation 5.18. Se EN 1993-1-5 för det fall att axialkraften är så stor att hela livet är i tryck.

#### 5.4.4 Intryckning

Under förutsättning att flänsarna är stagade i sidled bestäms bärförmågan med hänsyn till intryckning för ett liv utan avstyvningar belastat av koncentrerade laster eller upplagsreaktioner enligt nedan:

För kallformade konstruktionselement kan man använda anvisningarna för kolstål i EN 1993-1-3.

För valsade och svetsade balkar används följande metod, baserad på anvisningarna i EN 1993-1-5.

För oavstyvade eller avstyvade liv bör bärförmågan tas som:

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

där:

$t_w$  är tjockleken på livet

$f_{yw}$  är livets sträckgräns

$L_{eff}$  är den effektiva längden för upptagning av transversalkrafter, som bör bestämmas ur:

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

där:

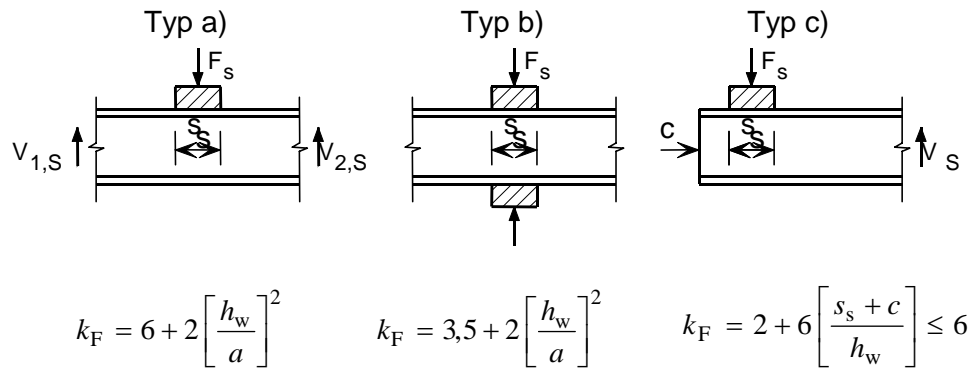
$l_y$  är effektiv belastningslängd hörande till belastad längd  $s_s$

$\chi_F$  är reduktionsfaktorn för buckling

Dessutom bör transversalkraftens inverkan på elementets momentkapacitet beaktas.

För att bestämma  $L_{eff}$  bör man skilja mellan följande tre typer av lastangrepp:

- Krafter som angriper via en fläns och tas upp genom tvärkrafter i livet (Figur 5.4a)
- Krafter som angriper via en fläns och överförs genom livet direkt till den andra flänsen (Figur 5.4b)
- Krafter som angriper via en fläns nära en oavstyvad ände (Figur 5.4c)

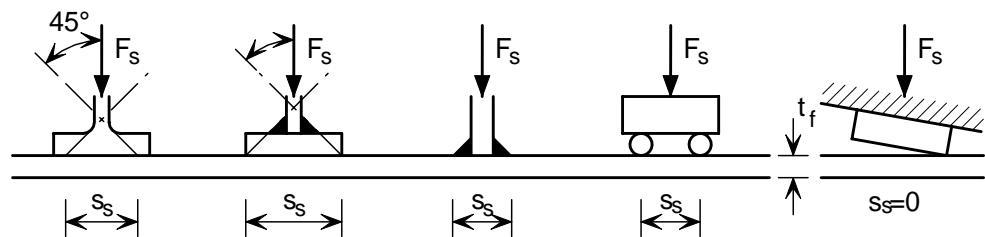


**Figur 5.4** Bucklingskoefficienter för olika typer av lastangrepp

### Belastad längd

Den belastade längden,  $s_s$ , på flänsen är den längd, över vilken den angräpnande lasten effektivt fördelas, och den kan bestämmas genom att man sprider lasten genom solitt stål i lutningen 1:1, se Figur 5.5. Längden  $s_s$  bör dock inte sättas större än livhöjden  $h_w$ .

Vid flera tätt placerade koncentrerade laster kontrolleras bärförmågan såväl för varje enskild last som för den totala lasten, med  $s_s$  lika med centrumavståndet mellan de yttre lasterna.



**Figur 5.5** Belastad längd

### Effektiv belastningslängd

Den effektiva belastningslängden  $l_y$  bör beräknas med användning av två dimensionslösa parametrar  $m_1$  och  $m_2$  som fås från:

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

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

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

För fall a) och b) i Figur 5.4 bör  $l_y$  bestämmas som

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

dock bör  $l_y$  inte överstiga avståndet mellan intilliggande tvärvastvningar.

För fall c) bör  $l_y$  bestämmas som det minsta av värdena enligt ekvation 5.28 och 5.29. I ekvation 5.30 bör  $s_s$  sättas lika med noll om den konstruktion som för in lasten inte följer balkens lutning, se Figur 5.5.

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

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

där  $l_e$  ges av:

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

### **Effektiv längd för lastupptagning**

Den effektiva längden för lastupptagning bör beräknas som:

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

med

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

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

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

där

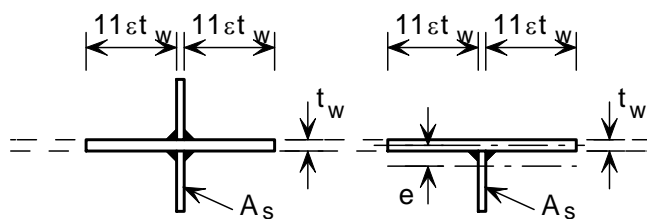
$k_F$  är bucklingskoefficienten för olika typer av lastangrepp (Figur 5.4)

Det bör noteras att för att beräkna  $m_2$  måste ett värde på  $\bar{\lambda}_F$  antas. När värdet på  $\bar{\lambda}_F$  har beräknats kan värdet på  $m_2$  behöva räknas om.

### **5.4.5 Tvärvaststyrningar**

Tvärvaststyrningar vid upplag, och i andra lägen där betydande yttre krafter angriper, bör företrädesvis vara dubbelsidiga och symmetriska kring livets centrumlinje. Dessa avstyrningar kontrolleras med hänsyn till tvärsnittets bärförmåga samt knäckning. Mellanliggande avstyrningar som inte angrips av yttre laster behöver endast kontrolleras för knäckning.

Det effektiva tvärsnitt som används vid knäckningskontrollen bör innefatta en bredd av livet enligt Figur 5.6. Vid änden på ett element (eller vid livöppningar) bör den bredd av livet som inkluderas i tvärsnittet inte överstiga den bredd som finns tillgänglig.



**Figur 5.6** Effektivt tvärsnitt för avstyvningar vid kontroll av knäckning

Bärförmågan ut ur planet med hänsyn till knäckning  $N_{b,Rd}$  för avstyvningarna bör bestämmas enligt 5.3.3 med  $\alpha = 0,49$ ,  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$ . Avstyvningens knäckningslängd  $l$  bör bestämmas av inspänningsvillkoren, men inte vara mindre än  $0,75h_w$  om båda ändarna är fästa i sidled. Ett större värde på  $l$  bör användas där förhållandena ger mindre inspänningsgrad.

För enkelsidiga eller andra osymmetriska avstyvningar beaktas den resulterande excentriciteten enligt 5.5.2.

Vid upplag eller vid mellanliggande lägen, där betydande laster angriper ska bärförmågan med hänsyn till knäckning överstiga upplagsreaktionen eller lasten. I övriga mellanliggande lägen kan tryckkraften  $N_{Ed}$  i avstyvningen fås från:

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

där

$V_{Ed}$  är den dimensionerande tvärkraften i elementet

Vid beräkning av ovanstående uttryck antas att avstyvningen ifråga är avlägsnad.

Tröghetsmomentet för en mellanliggande avstyvning,  $I_s$ , bör uppfylla följande villkor:

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

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

#### 5.4.6 Bestämning av nedböjningar

Nedböjningar bör bestämmas för tillämplig lastkombination i bruksgränstillståndet.

Nedböjningen hos balkar som inte innehåller någon flytled kan bestämmas enligt vanlig konstruktionsteori, med undantag för att sekantmodulen bör användas istället för elasticitetsmodulen. Sekantmodulen varierar med spänningsnivån i balken, och värden återfinns i Bilaga C. Detta är en förenklad metod som är riktig för att beräkna nedböjningar när sekantmodulen baseras på den högsta spänningen i elementet och denna högsta spänning inte överstiger 65% av 0,2-gränsen. Vid högre spänningar ligger metoden mycket på säkra sidan, och en noggrannare metod (t ex en som innefattar integrering längs elementets längd) bör användas.

Vid tvärsnitt i klass 4 och/eller element påverkade av shear lag, bör ett effektivt tvärsnitt användas i beräkningarna. Som en första uppskattning är det rimligt att använda ett effektivt tvärsnitt baserat på effektiva bredder enligt 4.4.1 och/eller 4.4.2. Som en förfinad beräkning är det möjligt att använda ett effektivt tvärsnitt baserat på effektiva bredder beräknade för de verkliga spänningarna i elementen genom att bestämma  $\varepsilon$  i 4.4.1 (men inte i 4.4.2) som:



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

där:

- $\sigma$  är den verkliga spänningen i elementet i tillhörande effektiva tvärsnitt
- $E$  är elasticitetsmodulen

## 5.5 Konstruktionselement påverkade av axiellast och böjmoment

### 5.5.1 Axiell dragkraft och böjmoment

Bärförmågan hos konstruktionselement med dragkraft och moment bör kontrolleras med hänsyn till vippning av enbart moment enligt avsnitt 5.4.2. De bör också kontrolleras för bärförmåga med hänsyn till den kombinerade effekten av axiellast och moment i snitt med största moment och axiellast. Följande samband bör uppfyllas:

$$\frac{N_{Sd}}{A_{net} f_y} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd}} \leq 1 \quad (5.39)$$

där:

- $N_{Ed}$  är den dimensionerande axiella dragkraften i det dimensionerande snittet
- $N_{Rd}$  är den dimensionerande bärförmågan för ett element utsatt för tryck
- $M_{y,Ed}$  är momentkapaciteten i styva riktningen i det dimensionerande snittet
- $M_{z,Ed}$  är momentkapaciteten i veka riktningen i det dimensionerande snittet
- $M_{y,Rd}$  är momentkapaciteten i den styva riktningen i frånvaro av axiellast, inklusive den reduktion som kan orsakas av tvärkraft (se avsnitt 4.7.4)
- $M_{cz,Rd}$  är momentkapaciteten i veka riktningen i frånvaro av axiellast inklusive den reduktion som kan orsakas av tvärkraft (se avsnitt 4.7.4)

### 5.5.2 Axiell tryckkraft och böjmoment

Utöver kravet att tvärsnittets bärförmåga (se 4.7.6) ska vara tillräcklig i varje snitt längs konstruktionselementet samt de allmänna kraven på balkar (se 5.4) bör man beakta interaktionseffekter mellan tryckkrafter och böjmoment.

#### **Axiell tryckkraft och enaxligt moment i styva riktningen:**

För att förhindra knäckning i styva riktningen:

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

För att förhindra knäckning i veka riktningen (för konstruktionselement påverkade av vippning):

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

#### **Axiell tryckkraft och enaxligt moment i veka riktningen:**

För att förhindra knäckning i veka riktningen:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}} + k_{LT} \left( \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{b,Rd}} \right) \leq 1 \quad (5.42)$$

### **Axiell tryckkraft och moment i båda riktningarna:**

Alla element bör uppfylla:

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

Konstruktionselement med potentiell risk för vippning bör även uppfylla:

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

I ovanstående uttryck är:

$e_{Ny}$  och  $e_{Nz}$  är förskjutningen av neutrallagret när tvärsnittet utsätts för likformigt tryck.

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  och  $M_{z,Ed}$  är det dimensionerande värdet på axiellkraft och momentet kring y-y respektive z-z axeln längs konstruktionselementet

$(N_{b,Rd})_{\min}$  är det minsta värdet på  $N_{b,Rd}$  för följande fyra knäckningsmoder: böjknäckning kring y-axeln, böjknäckning kring z-axeln, vridknäckning och böjvridknäckning (se avsnitt 5.3.3 och 5.3.4)

$(N_{b,Rd})_{\min 1}$  det minsta värdet på  $N_{b,Rd}$  för följande tre knäckningsmoder: böjknäckning kring z-axeln, vridknäckning och böjvridknäckning (se avsnitt 5.3.3 och 5.3.4)

$\beta_{W,y}$  and  $\beta_{W,z}$  värdet på  $\beta_W$  bestämt för y- resp z-axeln, i vilket

$$\begin{aligned} \beta_W &= 1 && \text{för tvärsnittsklass 1 och 2} \\ &= W_{el}/W_{pl} && \text{för tvärsnittsklass 3} \\ &= W_{eff}/W_{pl} && \text{för tvärsnittsklass 4} \end{aligned}$$

$W_{pl,y}$  och  $W_{pl,z}$  det plastiska böjmotståndet med avseende på y- resp z-axeln

$M_{b,Rd}$  bärförmågan med hänsyn till vippning (se 5.4.2).

$k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{LT}$  är interaktionsfaktorer

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

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

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

Observera att den nationella bilagan kan ge alternativa interaktionssamband än ovanstående ekvationer.

Observera att för vinkelprofiler tas u- och v-axeln som y- resp z-axel i ovanstående.

## 6 UTFORMNING OCH DIMENSIONERING AV FÖRBAND

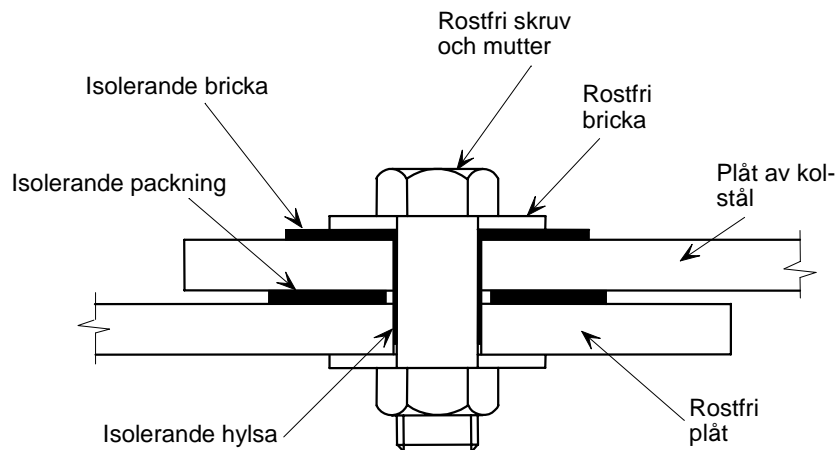
### 6.1 Allmänna rekommendationer

#### 6.1.1 Beständighet

Utformningen av förband måste göras speciellt omsorgsfullt för att upprätthålla optimalt korrosionsmotstånd.

Detta gäller särskilt för förband som kan bli fuktiga av väder, stänk, nedsänkning eller kondensation etc. Möjligheten att undvika eller minska tillhörande korrosionsproblem genom att inte placera förbandet i närheten av fuktkällan bör undersökas. Alternativt kan det vara möjligt att avlägsna fuktkällan, vid kondensation t ex genom tillräcklig ventilation eller genom att säkerställa att temperaturen vid konstruktionen ligger över daggpunkten.

Där det inte är möjligt att förhindra att ett förband med kolstål och rostfritt stål blir fuktigt, måste man se till att förhindra bimetallkorrosion, se 3.7.2. Skruvar av kolstål i konstruktionselement av rostfritt stål bör alltid undvikas. I skruvförband som skulle vara oacceptabelt korrosionsbenägna bör man vidta åtgärder för att elektriskt isolera elementen av kolstål från de rostfria stålelementen. Detta innebär isolerande brickor och eventuellt hylsor. Typiska lämpliga detaljer visas i Figur 6.1. För offshorekonstruktioner visar det sig att certifierande myndigheter kan kräva sådana åtgärder, och konstruktören uppmanas att kontakta den anvisade myndigheten på ett tidigt stadium för att få exakta krav fastställda.



**Figur 6.1** Typisk detalj för anslutning mellan olika material (för att undvika bimetallkorrosion)

För svetsförband som innehåller kolstål och rostfritt stål rekommenderas allmänt att färgsystem som appliceras på kolstålet bör dras ut över svetsen och täcka viss del av det rostfria stålet.

Man måste vara noga med att välja material som är lämpliga i miljön för att undvika spaltkorrosion i skruvförband (se 3.6.2).

Uppvärmnings- och avsvalningsförloppet vid svetsning påverkar mikrostrukturen i alla rostfria stål, även om vissa påverkas mer än andra, och detta gäller speciellt för

duplexa material. Det är viktigt att lämpliga svetsprocedurer och tillsatsmaterial används och att arbetet görs av kvalificerade svetsare. Vägledning för detta ges i 10.4.

### **6.1.2 Dimensioneringsantaganden**

Förband kan dimensioneras genom att man fördelar inre krafter och moment på ett realistiskt sätt, med hänsyn till den relativa styvheten hos de delar som förbandet består av. De inre krafterna och momenten måste vara i jämvikt med yttre krafter och moment. Varje element som medverkar i det förutsatta kraftflödet ska kunna ta upp de krafter som antas i analysen och vid förutsatta deformationer som ligger under elementets deformationskapacitet.

### **6.1.3 Knutpunkter och skarvar**

Elementen i en knutpunkt bör normalt anordnas så att deras tyngdpunktsaxlar möts i en punkt. Vid excentriciteter i knutpunkterna dimensioneras elementen och förbanden för att ta upp resulterande moment. Vid förband med vinkel- eller T-profiler som ansluts med åtminstone två skruvar i varje infästning kan centrumlinjen för skruvarna i vinkel- eller T-profilerna användas istället för tyngdpunktsaxlarna vid bestämning av skärningspunkten mellan de anslutande delarna.

Balkskarvar bör företrädesvis placeras så nära inflexionspunkter (momentnollpunkter) som möjligt. I pelarskarvar beaktas moment av andra ordningens effekter.

### **6.1.4 Andra allmänna överväganden**

När ett förband utsätts för stöt, vibration, eller många och stora spänningsväxlingar är sammanfogning med svetsning att föredra. Dessa förband bör också kontrolleras för utmattning (se avsnitt 8).

Enkelhet i tillverkning och montering är faktorer som ska beaktas vid utformning av alla anslutningar och skarvar. Man bör tänka på:

- användning av standarddetaljer
- de fria utrymmen som krävs för säker montering
- de fria utrymmen som krävs för åtdragning av skruvar
- behovet av att komma åt att svetsa
- de krav som svetsningsprocedurerna ställer
- inverkan av vinkel- och längdtoleranser på passningen.

Det bör noteras att det blir större svetsdeformationer vid de austenitiska rostfria stålen än vid kolstål (se 10.4.4). Man bör även beakta kraven på efterföljande kontroll och underhåll.

## **6.2 Skruvförband**

### **6.2.1 Allmänt**

Rekommendationerna i detta avsnitt gäller för skruvförband i frigående hål där skjuvkraft, dragkraft eller en kombination av skjuvkraft och dragkraft ska överföras. Det är god praxis att använda brickor under både skruvhuvudet och muttern. Vägledning för lämpligt material för skruvar och muttrar ges i 3.1.2 och 10.5.

Skjuvkrafter överförs genom anliggning mellan skruvarna och de sammanfogade delarna. Inga rekommendationer ges för förband i vilka skjuvkraften överförs genom friktion, se dock 6.2.2.

Ett skruvförbands bärförmåga bör sättas till den mindre av bärförmågan för de anslutna delarna (se 6.2.3) och fästelementens bärförmåga (se 6.2.4).

För att begränsa irreversibla deformationer i skruvförband bör spänningarna i skruvar och nettotvärsnitt vid skruvhål av karakteristiska lastkombinationer begränsas till sträckgränsen.

### 6.2.2 Förspända skruvar

Skruvar i rostfritt stål kan förspännas förutsatt att man använder lämplig åtdragningsteknik. När skruvar i rostfritt stål dras åt hårt kan skärning i gängorna vara ett problem. När man använder sig av förspänning bör relaxation beaktas. Förband bör inte dimensioneras som friktionsförband, varken i bruks- eller brottgränstillstånd, såvida man inte kan påvisa genom provning att detta kan accepteras i det enskilda fallet.

### 6.2.3 Sammanfogade delar

#### **Hål**

Hål kan borraras eller stansas. Kallbearbetningen vid stansning kan dock öka korrosionsbenägenheten och därför är stansade hål mindre lämpliga i aggressiva miljöer (t ex tunga industrimiljöer och marina miljöer).

Största hålspele i standardhål är:

- 1 mm för skruvar M12 och M14 (M14 är ingen standarddimension)
- 2 mm för skruvar M16 till M24
- 3 mm för skruvar M27 och grövre

#### **Hålplacering**

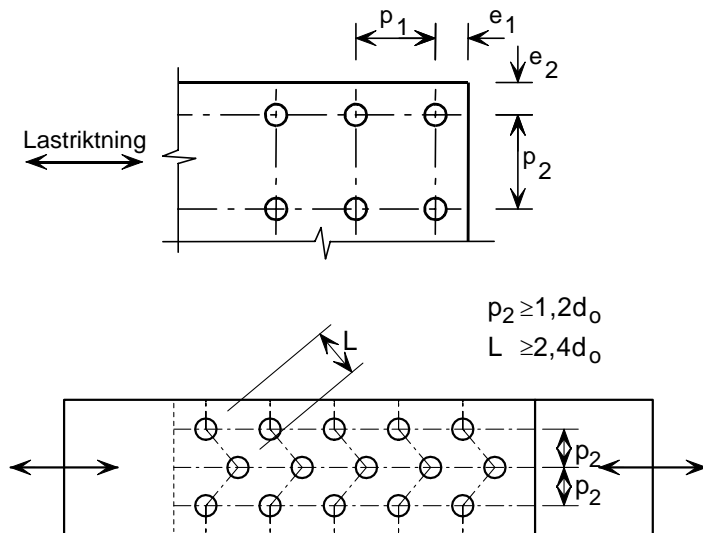
Kantavstånd definieras som avståndet från hålcentrum till intilliggande kant på den sammanfogade delen vinkelrätt mot spänningsriktningen. Ändavstånd definieras på motsvarande sätt, men i den riktning som fästelementet överför kraft.

Ändavståndet,  $e_1$ , eller kantavståndet,  $e_2$ , (se Figur 6.2) bör väljas minst lika med  $1,2d_0$ , där  $d_0$  är skruvhålets diameter. Observera att ändavståndet kan behöva vara större än detta värde för att man ska få tillräcklig bärförmåga med hänsyn till hålkanttrycket, se nedan.

Det största värdet på änd- eller kantavstånd bör högst vara lika med det största av  $4t + 40$  mm, där  $t$  är tjockleken (i mm) på den tunnaste yttre plåten.

Minsta avstånd mellan skruvcentra,  $p_1$ , i spänningsriktningen är  $2,2d_0$ , (se Figur 6.2). Motsvarande minsta avstånd,  $p_2$ , vinkelrätt mot spänningsriktningen, är  $2,4d_0$ .

Största avståndet mellan skruvar i någon riktning ska vara sådant att buckling av plåtarna beaktas, se EN 1993-1-8



**Figur 6.2** Beteckningar för att definiera hållplacering

Vid förskjutna skruvrader kan ett minsta radavstånd  $p_2=1,2d_0$  användas om minsta avståndet,  $L$ , mellan två godtyckliga skruvar i en rad större eller lika med  $2,4d_0$ , se Figur 6.2.

### **Bärförmåga med hänsyn till hållkantryck**

Bärförmågan för ett skruvförband i rostfritt stål kommer vanligtvis att bestämmas av bruksgränstillståndet för vilket hållförlängningen är begränsande. En separat kontroll i bruksgränstillståndet kan undvikas genom att en gräns för hållförlängningen vid brottlast införs genom ett reducerat värde på dragbrottngränsen  $f_{u,red}$  där:

$$f_{u,red} = 0.5f_y + 0.6f_u \text{ men } \leq f_u \quad (6.1)$$

Värdet på  $F_{b,Rd}$  ges av:

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

där  $\alpha_b$  är det minsta av:

- $\alpha_d$
- $f_{ub} / f_{u,red}$
- 1.0

där:

$d$  är skruvdiametern

$t$  är godstjockleken

$f_{ub}$  är den karakteristiska draghållfastheten i de sammanfogade plåtarna (tagen som den minsta specificerade draghållfastheten, se Tabell 3.1).

$$\alpha_d = e_1 / 3d_0$$

för ändskruvar i lastöverföringsriktningen

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$$

för invändiga skruvar i lastöverföringsriktning

$k_1$  är det minsta av  $2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7$  eller 2,5 för kantskruvar vinkelrätt lastöverföringsriktningen

I fallet med överlappsfogar för plåtar med endast en skruvrad, bör bricka användas både vid skruvskalle och mutter. Bärförmågan för varje skruv bör begränsas till:

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

Bärförmågan för en grupp fästelement kan bestämmas som summan av bärförmågan med hänsyn till hållkantryck  $F_{b,Rd}$  för de enskilda fästelementen förutsatt att den dimensionerande skjuvkraftskapaciteten  $F_{v,Rd}$  för varje enskilt fästelement är större än eller lika med dimensionerande bärförmåga med hänsyn till hållkantryck  $F_{b,Rd}$ . I annat fall bör bärförmågan för en grupp fästelement bestämmas genom att multiplicera den minsta bärförmågan för de enskilda fästelementen med antalet fästelement

### **Dragkraftskapacitet**

Dragkraftskapaciteten för den anslutna delen är den minsta av:

a) bruttotvärsnittets dimensionerande plastiska kapacitet

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

b) nettotvärsnittets dimensionerande brottlaster vid hål för fästelement

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

Om det krävs ett duktilt verknings sätt måste bruttotvärsnittets plastiska bärförmåga vara mindre än nettotvärsnittets brottlaster. Krav på duktilitet och rotationskapacitet ges i ENV 1993-1-8. Krav för dimensionering med hänsyn till jordbävning ges i EN 1998.

### **Kombinerat skjuv- och dragbrott i försvagad snitt**

Anvisningarna i ENV 1993-1-1 (som kommer att ersättas av EN 1993-1-8 under år 2003) kan tillämpas.

### **Vinkelprofiler infästa genom en skänkel och andra osymmetriskt infästa element utsatta för dragkraft**

Fästelementens excentricitet i ändförband och effekterna av skruvdelning och kantavstånd bör beaktas när man bestämmer dimensionerande bärförmåga för såväl osymmetriska som symmetriska element som ansluts osymmetriskt, såsom vinkelprofiler anslutna via en skänkel.

Vinkelprofiler anslutna genom en enkel skruvrad i en skänkel kan behandlas som centriskt belastade, och nettotvärnsnittets dimensionerande bärförmåga kan bestämmas enligt följande:

$$\text{Med 1 skruv: } N_{u,Rd} = \frac{2,0 (e_2 - 0,5d_0) t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.6)$$

$$\text{Med 2 skruvar: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.7)$$

$$\text{Med 3 eller flera skruvar: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.8)$$

där:

$\beta_2$  och  $\beta_3$  är reduktionsfaktorer som beror på skruvdelningen  $p_1$  enligt Tabell 6.1. För mellanliggande värden på  $p_1$  kan värdet på  $\beta$  bestämmas genom linjär interpolation.

$A_{\text{net}}$  är vinkelprofilens nettoarea. För en oliksidig vinkelprofil som är ansluten genom den mindre skänkeln sätts  $A_{\text{net}}$  lika med nettotvärnsnittet för en ekvivalent liksidig vinkelprofil med den mindre skänkellängden.

**Tabell 6.1** Reduktionsfaktorer  $\beta_2$  och  $\beta_3$

Anslutning	Faktor	Avstånd, $p_1$	
		$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
2 skruvar	$\beta_2$	0,4	0,7
3 eller flera skruvar	$\beta_3$	0,5	0,7

## 6.2.4 Fästelement

### Nettoareor

Den skruvarea som ska användas vid beräkning av dragkraftsbelastade skruvar bör vara spänningsarean så som den definieras i tillämplig produktstandard.

För skjuvkraftsbelastade skruvar kan skruvstammens nominella area användas om skjuvplanet inte kommer att gå genom den gängade delen. Man bör beakta möjligheten att skruvar kan monteras från endera hållet. Om man inte kan avgöra var skjuvplanet skär skruven bör spänningsarean användas.

### Skjuvkraftskapacitet

En skruvs eller ett skruvförbands skjuvkraftskapacitet beror på antalet skjuvplan och deras läge längs skruven. Om skruven inte samtidigt påverkas av dragkraft kan skjuvkraftskapaciteten för varje skjuvplan bestämmas enligt följande:

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

där:



A är skruvtvårsnittets bruttoarea (om skjuvplanet går genom skruvens ogängade del); eller arean av den del av skruven som utsätts för dragspänning (om skjuvplanet går genom skruvens gängade del)

$f_{ub}$  är skruvens brotthållfasthet i drag.

Värdet på  $\alpha$  kan definieras i den nationella bilagan. Rekommenderade värden är:

$\alpha = 0,6$  om skjuvplanet går genom ogängad del av skruven

$\alpha = 0,5$  om skjuvplanet går genom gängad del av skruven

### **Dragkraftskapacitet**

En skruvs dragkraftskapacitet ges av  $F_{t,Rd}$ :

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

där:

$k_2 = 0,63$  för försänkta skruvar, annars  $k_2 = 0,9$ .

När skruvar ska överföra dragkraft bör de dimensioneras för att även klara tillskottskrafterna på grund av bändning, där sådana kan förekomma. Vägledning för hur man tar hänsyn till bändkrafter ges i EN 1993-1-8.

### **Kombinerad skjuvkraft och dragkraft**

Om en skruv samtidigt påverkas av en skjuvkraft,  $F_{vEd}$ , och en dragkraft (inklusive tillskottskrafter av bändning),  $F_{tEd}$ , bör interaktionseffekter beaktas. Detta kan ske genom att följande interaktionsvillkor uppfylls:

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

där  $F_{v,Rd}$  och  $F_{t,Rd}$  ges ovan. Observera att den dimensionerande dragkraften (inklusive eventuell bändkraft) även måste vara mindre än dragkraftskapaciteten.

### **Långa förband och stora greplängder**

För ovanligt långa förband (säg 500 mm eller 15 gånger skruvdiametern och uppåt) eller om greplängden (dvs den totala tjockleken på de sammanfogade plåtarna) överstiger 5 gånger skruvdiametern reduceras skjuvkraftskapaciteten. I avsaknad av data för rostfritt stål rekommenderas att för dessa fall använda reglerna för kolstål i ENV 1993-1-8.

## **6.3 Fästelement för tunnplåt**

Förband med gängande skruv i rostfri plåt kan beräknas enligt EN 1993-1-3, med undantag för utragshållfastheten vilken bör bestämmas genom provning. För att undvika att gängan skär eller strippar, bör skruvens förmåga att borra och forma gängor i rostfritt stål påvisas genom provning om inte tillräcklig erfarenhet finns. Det tillgängliga värdet för draghållfasthet  $f_{u,red}$ , som ges i Ekvation 6.1 bör användas istället för  $f_u$ .

## 6.4 Svetsförband

### 6.4.1 Allmänt

Det är viktigt att svetsar görs med rätta procedurer, inklusive lämpligt tillsatsmaterial, och med kvalificerade svetsare (se avsnitt 10.4). Detta är viktigt, inte bara för att säkerställa svetsens bärförmåga och för att få en bestämd svetsprofil, utan även för att upprätthålla korrosionsmotståndet hos svetsen och omgivande material.

Följande rekommendationer gäller för stumsvetsar i genomsvetsade eller delvis genomsvetsade förband och för kälsvetsar utförda med någon bågsvetsmetod enligt följande uppställning.

<u>Process-</u> <u>nummer</u>	<u>Process-</u> <u>namn</u>
111	Metallbågsvetsning med belagd elektrod (manuell metallbågsvetsning)
121	Pulverbågsvetsning med trådelektrod
122	Pulverbågsvetsning med bandelektrod
131	Metallbågsvetsning med inert gas (MIG-svetsning)
135	Metallbågsvetsning med aktiv gas (MAG-svetsning)
137	Metallbågsvetsning med rörtråd och inert skyddsgas
141	TIG-svetsning (Tungsten inert gas)
15	Plasmabågsvetsning

(Processnumren är enligt definitionen i EN ISO 4063.)

Man bör använda passande tillsatsmaterial så att sträckgräns och brottgräns är högre än för grundmaterialet. (För tillsatsmaterial med lägre hållfasthet än grundmaterialet, se avsnitt 6.4.4). Tabell 6.2 ger lämpliga tillsatsmaterial för olika stålsorter och Tabell 6.3 ger de mekaniska egenskaperna för tillsatsmaterialen.

**Tabell 6.2** Passande tillsatsmaterial för olika stålsorter

Grundmaterial	Tillsatsmaterial		
	Belagda elektroder EN 1600	MIG och TIG tråd EN 12072	Rörtråd EN 12073
Beteckning			
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

**Tabell 6.3** Mekaniska egenskaper för tillsatsmaterial enligt EN 1600, EN 12072 and EN 12073

Svetsmaterial	Sträckgräns N/mm <sup>2</sup>	Brottgräns N/mm <sup>2</sup>
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

Speciellt bör man tänka på detta i de fall då man lägger 0,2-gränsen bestämd genom provning till grund för dimensioneringen (dvs dimensionering enligt 3.2.4(ii)). Tillverkare av rostfritt stål och tillsatsmaterial kan hjälpa till med val av lämpliga tillsatsmaterial. Svetsgodset bör vara åtminstone lika ädelt som grundmaterialet.

Intermittenta kälsvetsar och intermittenta delvis genomsvetsade stumsvetsar bör helst undvikas i alla miljöer utom de lindrigaste för att minska korrosionsrisken. Dessutom bör man vara försiktig med att använda intermittenta stumsvetsar i marina eller starkt förorenade miljöer på land, speciellt där flytning orsakad av ytspänningar kan förekomma.

## 6.4.2 Kälsvetsar

### *Tillämpning*

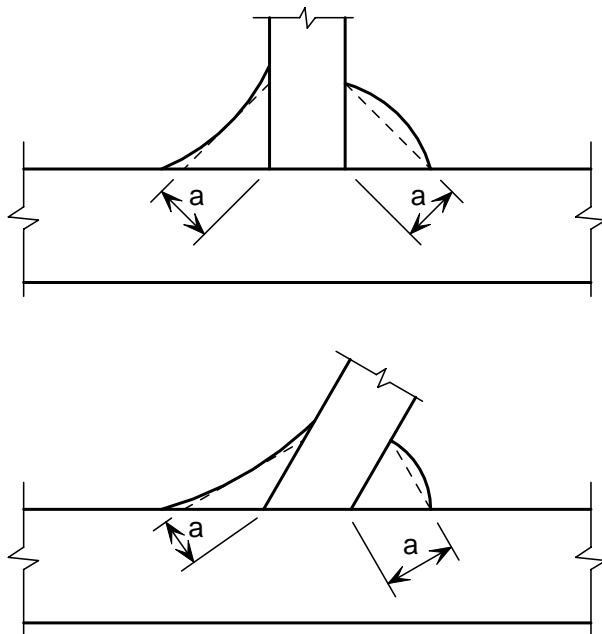
Kälsvetsar kan användas för att sammanfoga delar, där fogytorna bildar en vinkel mellan 60° och 120°. För mindre vinklar än 60° kan kälsvetsar användas, men betraktas då som delvis genomsvetsade stumsvetsar i dimensioneringen. Vid vinklar över 120° bör kälsvetsar inte användas för kraftöverföring.

Kälsvetsar bör inte användas i fall som ger böjmoment kring svetsens längsgående axel om momentet ger dragspänningar på svetsens rotsida.

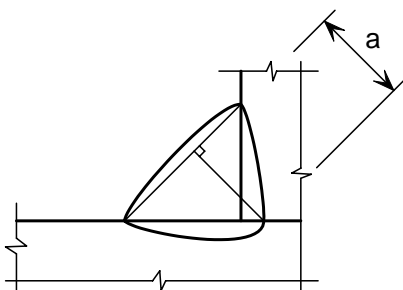
### *Effektiv längd och svetsmått (a-mått)*

Den effektiva längden på en kälsvets kan sättas lika med den totala längden av de delar av svetsen som har fullt a-mått. Svetsar med effektiv längd mindre än 40mm eller 6 gånger a-måttet, bör dock inte användas för kraftöverföring.

Det effektiva svetsmättet,  $a$ , för en kälsvets bör sättas lika med höjden av den största triangeln ( likbent eller olikbent), som kan inskrivas innanför svetsgräns och svetsyta, där höjden mäts vinkelrätt mot den yttre sidan i triangeln, se Figur 6.3. Man kan tillgodoräkna sig det större  $a$ -mättet vid kälsvetsar med inträngning förutsatt att svetsprov visar att den fordrade inträngningen konsekvent uppnås, se Figur 6.4., .



**Figur 6.3**  $a$ -mått för kälsvets



**Figur 6.4**  $a$ -mått för kälsvets med inträngning

### **Dimensionerande spänning och dimensionerande skjuvhållfasthet**

Dimensionerande spänning ges av alla krafter och moment som överförs av svetsen och beräknas på ytan som bildas av den effektiva längden och  $a$ -mättet (se ovan). Den dimensionerande spänningen bör inte överstiga den dimensionerande skjuvhållfastheten

Kälsvetsens dimensionerande hållfasthet är tillräcklig om båda av följande villkor är uppfyllda:

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

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

där:

- $\sigma_{\perp}$  är normalspänningen vinkelrätt svetsroten
- $\tau_{\perp}$  är skjuvspänningen vinkelrätt mot svetsriktningen
- $\tau_{\parallel}$  är skjuvspänningen parallellt med svetsriktningen
- $f_u$  är den nominella dragbrottnivån för den svagaste sammanfogade delen
- $\beta_w$  tas som 1,0 för samtliga rostfria stål oavsett nominell hållfasthetsklass, om inte ett lägre värde kan motiveras genom provning.

Alternativt kan den förenklade metoden i 4.5.3.3 i EN 1993-1-8 användas för att beräkna kälsvetsens bärförmåga.

### 6.4.3 Stumsvetsar

#### ***Stumsvetsar i genomsvetsade förband***

Den dimensionerande bärförmågan för en stumsvets i genomsvetsat förband sätts lika med den dimensionerande bärförmågan för den svagaste av de sammanfogade delarna, förutsatt att svetsen uppfyller rekommendationerna i 6.3.1.

#### ***Stumsvetsar i delvis genomsvetsade förband***

Stumsvetsar i delvis genomsvetsade förband kan användas för att överföra skjuvkrafter. De rekommenderas inte för fall där de skulle bli utsatta för dragspänningar.

Bärförmågan hos en stumsvets i delvis genomsvetsat förband kan bestämmas på samma sätt som vid en kälsvets med inträngning. Måttet för en stumsvets i delvis genomsvetsat förband kan sättas lika med djupet på den inträngning som konsekvent kan uppnås, enligt resultat från procedurprovningar. I avsaknad av procedurprovningar kan måttet antas vara lika med fogens djup minskat med 3 mm.

### 6.4.4 Svetsning av kallbearbetat rostfritt stål

Samma principer för svetsning av kallbearbetat rostfritt stål är tillämpliga som för glödgat, förutsatt att:

- Svetsfogen är utsatt för axiallast.
- Den kallbearbetade hållfasthetsnivån för det rostfria stålet inte överstiger CP500 eller C850.
- Tillsatsmaterialet har valts enligt Tabell 6.2.
- Grundmaterialets bärförmåga i den värmepåverkade zonen baseras på draghållfastheten för det glödgade basmaterialet.

Fyllnadsmaterialet kan ha lägre hållfasthet än grundmaterialet. För tillsatsmaterial med lägre hållfasthet än grundmaterialet bör stumsvetsen och kälsvetsens bärförmåga baseras på brotthållfastheten hos svetsgodset (se Tabell 6.3) med  $\beta_w$  tagen som 1.0

# 7 BRANDTEKNISK DIMENSIONERING

## 7.1 Allmänt

Detta avsnitt behandlar dimensionering av konstruktioner i rostfritt stål som, med hänsyn till allmän säkerhet vid brand, behöver uppfylla vissa funktioner för att undvika att konstruktionen kollapsar efter för kort tid (lastbärande funktion), när den exponeras för brand. Rekommendationerna behandlar endast passiva metoder för brandskydd och är tillämpliga på rostfria stålmaterial och konstruktioner som allmänt dimensioneras enligt reglerna i kapitel 1 till 6 i detta dokument.

Austenitiska rostfria stål har, jämfört med kolstål, i allmänhet kvar en större andel av sin hållfasthet vid temperaturer över ca 550 °C, och en större andel av styvheten vid alla temperaturer.

EN 1991-1-2 ger den termiska och mekaniska inverkan på konstruktioner som exponeras för brand. Brand betecknas i Eurokoderna som en dimensioneringssituation till följd av olycka. SS-EN 1990 ger kombinationer av påverkningar för sådana dimensioneringssituationer och rekommenderar att partialkoefficienter för laster sätts lika med 1,0. I EN 1993-1-2 rekommenderas att partialkoefficienten för material  $\gamma_{M,fi}$  för brandsituationen sätts lika med 1,0.

Kraven på en konstruktion i rostfritt stål som kan bli utsatt för olyckslastfallet brand skiljer sig inte från de krav som gäller för kolstål, nämligen:

- Där det krävs mekanisk motståndsförmåga vid brand, bör konstruktionen dimensioneras och utföras på sådant sätt att den bibehåller sin lastbärande funktion under den brandexponering som är aktuell.
- Deformationskriterier bör användas när brandskyddsmetoderna, eller kriterierna för dimensionering av avskiljande element, fordrar att den bärande konstruktionen deformation beaktas. Man behöver dock inte beakta den bärande konstruktionens deformation om de avskiljande elementens brandmotstånd baseras på standardbrandkurvan.

## 7.2 Mekaniska egenskaper vid förhöjd temperatur

Tabell 7.1 ger reduktionsfaktorer för hållfasthet och styvhet, i förhållande till tillämpliga värden vid 20°C, för spännings-töjningssambandet samt parametern  $g_{2,\theta}$  vid förhöjd temperatur för rostfria stålmaterial. Faktorerna är

$k_{0,2proof,\theta}$  förhållandet mellan 0,2-gränsen vid temperaturen  $\theta$  och hållfastheten vid 20°C, dvs  $f_{0,2proof,\theta}/f_y$

$g_{2,\theta}$  en parameter för att beräkna  $f_{2,\theta}$ , spänningen motsvarande 2% total töjning vid temperaturen  $\theta$ , med användning av följande uttryck:

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

$k_{u,\theta}$  förhållandet mellan brottgränsen vid temperaturen  $\theta$  och brottgränsen vid 20°C, dvs  $f_{u,\theta}/f_u$

$k_{E,\theta}$  förhållandet mellan lutningen inom det linjärt elastiska området vid temperaturen  $\theta$  och lutningen vid 20°C, dvs  $E_\theta/E$

där:

- $E$  är elasticitetsmodulen vid 20°C (= 200 000 MPa)
- $f_y$  är den karakteristiska sträckgränsen vid 20°C, definierad i avsnitt 3.2.4
- $f_u$  är den karakteristiska brottgränsen vid dragning vid 20°C, definierad i avsnitt 3.2.4.

När man bestämmer bärförmågan vid brand för rostfria stålelement bör följande karakteristiska materialhållfasthet användas:

Pelare	$f_{0,2\text{proof},\theta}$	(alla tvärsnittsklasser)
Sidostagade balkar	$f_{2,\theta}$	(tvärsnittsklass 1-3)
	$f_{0,2\text{proof},\theta}$	(tvärsnittsklass 4)
Icke sidostagade balkar	$f_{0,2\text{proof},\theta}$	(alla tvärsnittsklasser)
Dragna bärverksdelar	$f_{2,\theta}$	(alla tvärsnittsklasser).

I situationer som kräver att man beaktar deformationskriterier rekommenderas dock att i beräkningarna använda hållfastheten vid 1,0 % total töjning,  $f_{1,\theta}$  istället för  $f_{2,\theta}$  för sidostagade balkar och dragna bärverksdelar i tvärsnittsklass 1-3 . Värdet på  $f_{1,\theta}$  beräknas med följande samband:

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

Värden på  $f_{0,2\text{proof},\theta}$  i förhållande till den karakteristiska sträckgränsen vid 20 °C ges av faktorn  $k_{0,2\text{proof},\theta}$  i Tabell 7.1.

**Tabell 7.1** Reduktionsfaktorer för hållfasthet och styvhet samt parametern  $g_{2,\theta}$  vid förhöjd temperatur

Temperatur $\theta$ (°C)	Reduktionsfaktor $k_{0,2\text{proof},2}$	Parameter $g_{2,\theta}$	Reduktionsfaktor $k_{u,\theta}$	Reduktionsfaktor $k_{E,\theta}$
<b>Material 1.4301</b>				
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
<b>Material 1.4401</b>				
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
<b>Material 1.4571</b>				
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
<b>Material 1.4462</b>				
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



**Table 7.1** (forts.) Reduktionsfaktorer för hållfasthet och styvhet samt parametern  $g_{2,\theta}$  vid förhöjd temperatur

Temperatur $\theta$ (°C)	Reduktionsfaktor $k_{0,2\text{proof},2}$	Parameter $g_{2,\theta}$	Reduktionsfaktor $k_{u,\theta}$	Reduktionsfaktor $k_{E,\theta}$
<b>Material 1.4318</b>				
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
<b>Material 1.4318 C850</b>				
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
<b>Material 1.4571 C850</b>				
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 Termiska egenskaper vid förhöjd temperatur

### 7.3.1 Termisk förlängning

Den relativa termiska förlängningen för austenitiska rostfria stål,  $\Delta l/l$  kan bestämmas med följande uttryck:

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

där:

$l$  är längden vid 20°C

$\Delta l$  är förlängningen på grund av temperaturhöjningen

$\theta_a$  är ståltemperaturen [°C]

### 7.3.2 Specifik värme

Rostfritt ståls specifika värme  $c_a$  kan bestämmas med följande uttryck:

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

där:

$\theta_a$  definieras i avsnitt 7.3.1

### 7.3.3 Termisk konduktivitet

Den termiska konduktiviteten för rostfritt stål  $\lambda_a$  kan bestämmas med följande uttryck:

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

där:

$\theta_a$  definieras i avsnitt 7.3.1

## 7.4 Bestämning av bärförmåga vid brand

Brandmotstånd kan bestämmas med en eller flera av följande metoder:

- enkel beräkningsmetod tillämpad på enskilda element;
- avancerad beräkningsmetod;
- provning.

Den enkla beräkningsmetoden utgår från antaganden på säkra sidan. Avancerade beräkningsmetoder är dimensioneringsmetoder, i vilka ingenjörsmässiga principer används på ett realistiskt sätt i specifika tillämpningar. Om ingen enkel beräkningsmetod finns angiven, måste man använda antingen en dimensioneringsmetod baserad på en avancerad beräkningsmodell eller en metod baserad på provningsresultat.

Avancerade beräkningsmetoder behandlas i kommentardelen till dessa rekommendationer (se Förord).

### 7.4.1 Klassificering av tvärsnitt

Vid brandteknisk dimensionering bör man tillämpa den metod för klassificering som beskrivs i avsnitt 4 i detta dokument, med de värden som gäller vid rumstemperatur.

### 7.4.2 Dragna konstruktionselement

Den dimensionerande bärförmågan  $N_{fi,0,Rd}$  för ett dragbelastat element med jämn temperatur  $\theta_a$  bör bestämmas som:

$$N_{fi,0,Rd} = k_{2,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.6)$$

där:

$k_{2,\theta} = f_{2,\theta} / f_y$  dvs reduktionsfaktorn för hållfasthet vid 2% total töjning vid temperaturen  $\theta_a$

$N_{Rd}$  är tvärsnittets dimensionerande bärförmåga  $N_{pl,Rd}$  vid normal temperatur, enligt avsnitt 4.7.2.

$\gamma_{M0}$  och  $\gamma_{M,fi}$  är partialkoefficienter, se Tabell 2.1

Vid ojämn temperatur i elementet ges den dimensionerande bärförmågan av:

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

där:

$A_i$  är arean på en del av tvärsnittet

$\theta_i$  är temperaturen i en del av tvärsnittet med arean  $A_i$

$k_{2,\theta,i}$  är reduktionsfaktorn för hållfastheten vid 2% total töjning vid temperaturen  $\theta_i$  (se avsnitt 7.2)

Alternativt kan dimensionerande bärförmåga  $N_{fi,t,Rd}$  vid tiden  $t$  för ett dragbelastat element med ojämnt fördelad temperatur på säkra sidan sättas lika med den dimensionerande bärförmågan  $N_{fi,\theta,Rd}$  för ett dragkraftsbelastat element med en temperatur  $\theta_a$  lika med den maximala temperatur  $\theta_{a,max}$  som uppnåtts vid tiden  $t$ .

### 7.4.3 Tryckta konstruktionselement

Följande rekommendationer gäller för pelare i tvärsnittsklass 1, 2, 3 eller 4, som är:

- kallformade öppna tvärsnitt (ej svetsade), *t ex.* U- eller vinkelprofiler
- kallformade hålprofiler (både sömsvetsade och sömlösa), *t ex.* cirkulära eller rektangulära hålprofiler.

Dimensionerande bärförmåga med hänsyn till knäckning  $N_{b,fi,t,Rd}$  vid tiden  $t$  för ett tryckbelastat konstruktionselement med jämn temperatur  $\theta_a$  ges av:

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

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

där:

$k_{0,2proof,\theta}$  är reduktionsfaktorn för 0,2-gränsen vid temperaturen  $\theta_a$  (se avsn. 7.2).

$\chi_{fi}$  är reduktionsfaktorn för knäckning vid brand, som ges av:

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

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

i vilket  $\alpha$  and  $\bar{\lambda}_0$  är bucklingskoefficienten vid rumstemperatur som ges i Tabell 5.1. Den modifierade slankhetsparametern  $\bar{\lambda}_{\theta}$  vid temperaturen  $\theta$  ges av:

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

där

$k_{0,2proof,\theta}$  är reduktionsfaktorn för 0,2-gränsen vid temperaturen  $\theta_a$  (se avsnitt 7.2)

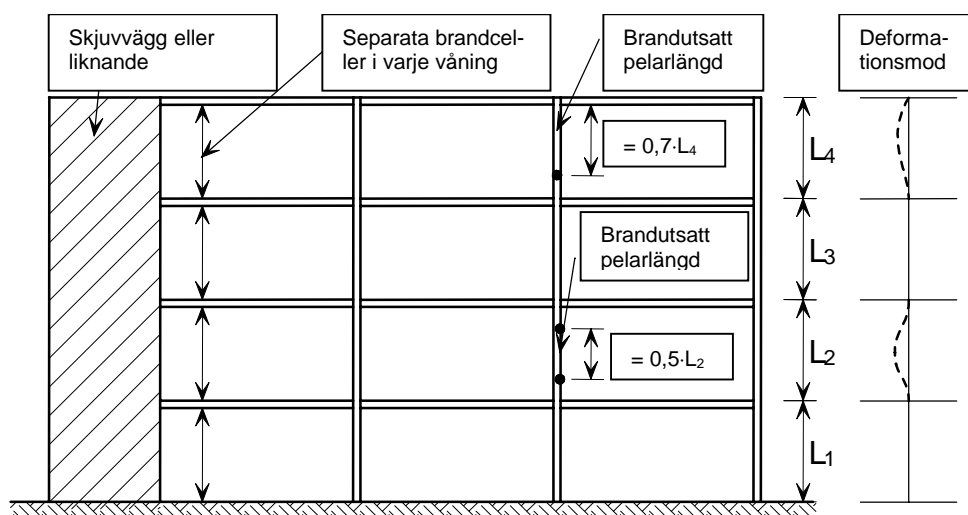
$k_{E,\theta}$  är reduktionsfaktorn för spännings-töjningskurvans lutning inom det elastiska området vid temperaturen  $\theta_a$  (se avsnitt 7.2)

Vid ojämn temperatur i konstruktionselementet kan bärförmågan vid tryckkraft på säkra sidan beräknas genom att anta en jämn temperatur som är lika med den högsta temperaturen i elementet.

Knäckningslängden  $l_{fi}$  för en pelare som dimensioneras för brand bestäms normalt på samma sätt som för dimensionering vid normal temperatur. I en stagad ram kan dock knäckningslängden  $l_{fi}$  bestämmas genom att man betraktar den som fast in-

spänd vid kontinuerliga eller halvstyva anslutningar mot pelarna i över- och underliggande våningar. Detta antagande kan endast göras om brandmotståndet hos de delar som avskiljer dessa våningar inte är mindre än pelarens brandmotstånd.

Vid stagade ramar, i vilka varje våning utgör en separat brandcell med erforderligt brandmotstånd, är pelarens knäckningslängd i en mellanvåning  $l_{fi} = 0,5L$  och i övervåningen  $l_{fi} = 0,7L$ , där  $L$  är systemlängden i den aktuella våningen, se Figur 7.1.



Figur 7.1 Knäckningslängder  $l_{fi}$  för pelare i stagade ramar

#### 7.4.4 Sidostagade balkar

Den dimensionerande momentkapaciteten  $M_{fi,0,Rd}$  för ett tvärsnitt med jämn temperatur  $\theta_a$  bör bestämmas som:

$$M_{fi,0,Rd} = k_{0,2proof,\theta} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} \quad \text{för tvärsnittsklass 1,2 eller 3} \quad (7.13)$$

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

där:

$M_{Rd}$  är tvärsnittets plastiska momentkapacitet  $M_{pl,Rd}$  (tvärsnittsklass 1 eller 2), bruttotvärsnittets elastiska momentkapacitet  $M_{el,Rd}$  (tvärsnittsklass 3) eller det effektiva tvärsnittets momentkapacitet  $M_{eff,Rd}$  (tvärsnittsklass 4) vid dimensionering vid normal temperatur

$k_{0,2proof,\theta}$  definieras i avsnitt 7.4.3

När man måste ta hänsyn till inverkan av tvärkraft används den reducerade momentkapaciteten vid dimensionering för normal temperatur enligt avsnitt 4.7.6.

Dimensionerande momentkapacitet  $M_{fi,t,Rd}$  vid tiden  $t$  för ett tvärsnitt i ett element med ojämn temperaturfördelning kan på säkra sidan bestämmas som:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,0,Rd} / \kappa_1 \kappa_2 \quad (7.15)$$

där:

$M_{fi,0,Rd}$  är den dimensionerande momentkapaciteten för tvärsnittet (eller det effektiva tvärsnittet i tvärsnittsklass 4) för en jämnt fördelad temperatur  $\theta_a$  lika med den högsta temperaturen i tvärsnittet

- $\kappa_1$  is en korrektionsfaktor för olikformig temperatur över tvärsnittet, se Tabell 7.2
- $\kappa_2$  är en korrektionsfaktor för olikformig temperatur längs balken, se Tabell 7.2

**Tabell 7.2** Korrektionsfaktorer

Exponeringsförhållanden	$\kappa_1$
För en balk med alla fyra sidorna exponerade för brand	1,0
För en balk utan brandisolering exponerad för brand på tre sidor, med en samverkansplatta eller betongplatta på den fjärde	0,70
För en balk med brandisolering exponerad för brand på tre sidor, med en samverkansplatta eller betongplatta på den fjärde	0,85
	$\kappa_2$
Vid upplagen på en statiskt obestämd balk	0,85
I alla övriga fall	1,0

Dimensionerande tvärkraftskapacitet  $V_{fi,t,Rd}$  vid tiden  $t$  för ett tvärsnitt med ojämn temperaturfördelning bestäms som:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{0,2proof,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] \quad \text{för tvärsnittsklass 1, 2 eller 3} \quad (7.16)$$

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

där:

$V_{Rd}$  bruttotvärsnittets tvärkraftskapacitet vid normal temperatur, enligt avsnitt 4.7.5. ( $\eta$  bör tas som 1,0 för temperaturer över 400°C,).

$\theta_{web}$  är temperaturen i livet

#### 7.4.5 Icke sidostagade balkar

Den dimensionerande momentkapaciteten med hänsyn till vippning  $M_{b,fi,t,Rd}$  vid tiden  $t$  för en icke sidostagad balk bör bestämmas som:

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

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

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

där:

$\chi_{LT,fi}$  är reduktionsfaktorn för vippning vid brand, som ges av:

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

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

där  $\alpha_{LT}$  är imperfektionsfaktorn vid rumstemperatur som ges i avsnitt 5.4.2.

$k_{0,2proof,\theta}$  är reduktionsfaktorn som definieras i avsnitt 7.4.3 vid den högsta temperaturen  $\theta$  som uppnås någonstans i tvärsnittet.

Slankhetsparametern  $\bar{\lambda}_{LT,\theta}$  vid temperaturen  $\theta$  ges av:

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

där

$k_{E,\theta}$  är reduktionsfaktorn enligt avsnitt 7.2 vid temperaturen  $\theta$

#### 7.4.6 Konstruktionselement påverkade av axiell tryckkraft och böjmoment

Inverkan av kombinationen tryckkraft och böjmoment kontrolleras med följande uttryck för att förhindra knäckning i styva och veka riktningen samt vippning:

a) För tvärsnittsklass 1, 2 eller 3

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

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

där:

$N_{fi,Ed}$ ,  $M_{y,fi,Ed}$  och  $M_{z,fi,Ed}$  är dimensionerandeaxiellast och böjmoment i brandsituationen  $M_{y,fi,\theta,Rd}$  och  $M_{z,fi,\theta,Rd}$  definieras i 7.4.4

$k_{0,2\text{proof},\theta}$  är reduktionsfaktorn vid temperaturen  $\theta$ , enligt definitionen i 7.2

$\chi_{\min,fi}$  är den minsta reduktionsfaktorn för böj-, vrid- och böjvridknäckning vid temperaturen  $\theta$ , enligt definitionen i 7.4.3

$\chi_{\min 1,fi}$  är den minsta reduktionsfaktorn för böjknäckning kring z-axeln, vrid- och böjvridknäckning vid temperaturen  $\theta$ , enligt definitionen i 7.4.3

$\chi_{LT,fi}$  är reduktionsfaktorn för vippning vid temperaturen  $\theta$ , enligt definitionen i 7.4.5

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

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

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

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

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

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

$\beta_M$  är en faktor för momentfördelningen enligt Tabell 7.3.

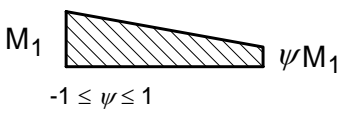
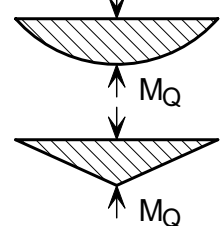
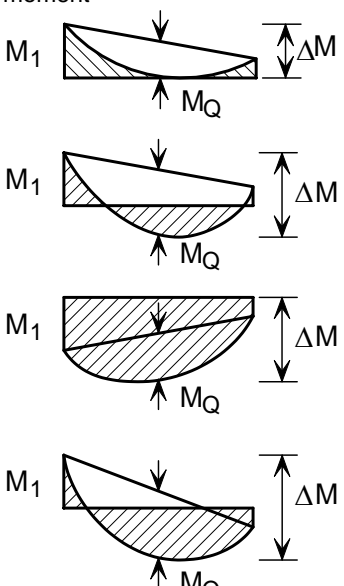
b) För tvärsnittsklass 4:

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

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

där termerna är definierade i (a) ovan, med undantag av att vid beräkningen av  $k_y$ ,  $k_z$  och  $k_{LT}$ , ska  $A_g$  ersättas av  $A_{eff}$ .

**Tabell 7.3** Faktor för momentfördelningen,  $\beta_M$

Momentdiagram	Faktor för momentfördelningen, $\beta_M$
<p>Ändmoment</p>  <p><math>M_1</math> <math>\psi M_1</math>  <math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$
<p>Moment av transversallast</p> 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
<p>Moment av transversallast plus ändmoment</p> 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q =  \max M $ av enbart transversallasten För momentdiagram som inte växlar tecken: $\Delta M =  \max M $ För momentdiagram som växlar tecken: $\Delta M =  \max M  +  \min M $

### 7.4.7 Beräkning av temperaturstegringen i rostfritt stål

Metoden för att beräkna temperaturstegringen i kolstål kan även tillämpas på rostfritt stål.

Temperaturstegringen i en likformigt uppvärmd oisolerad profil i rostfritt stål under tidsintervallet  $\Delta t$  ges av:

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

där:

$c_a$  är det rostfria stålets specifika värme (J/kgK), enligt avsnitt 7.3.2

$\rho_a$  är det rostfria stålets densitet (kg/m<sup>3</sup>), enligt Tabell 3.5 (normalt betraktad som temperaturoberoende)

$A_m/V$  är profilmotståndsfaktorn för oisolerade stålprofiler

$A_m$  är konstruktionselementets omslutningsyta per längdenhet

$V$  är konstruktionselementets volym per längdenhet

$\dot{h}_{net,d}$  är dimensioneringsvärdet för nettovärmeffluet per areaenhet

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

i vilket:

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

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

$\alpha_c$  är koefficienten för värmeöverföring genom konvektion (normalt satt till 25W/m<sup>2</sup>K)

$\theta_g$  är gastemperaturen i konstruktionselementets omgivning vid exponering för brand (°C), som ges av standardbrandkurvan

$\theta_a$  är stålprofilens temperatur, vilken antas vara likformig vid tiden  $t$  (°C)

$\phi$  är konfigurationsfaktorn

$\varepsilon_{res}$  är det resulterande strålningstalet

Parametern  $\varepsilon_{res}$  representerar strålningen mellan branden och det rostfria stålets yta, och dess storlek beror på i vilken grad elementet är direkt exponerat för branden. Konstruktionselement som delvis är avskärmade från strålningseffekterna från branden torde ha ett lägre värde på  $\varepsilon_{res}$ . För rostfritt stål kan  $\varepsilon_{res}$  sättas lika med 0,2.

Ovanstående ekvation för temperaturökningen under ett tidssteg kan användas för att bestämma ståltemperaturen med numerisk integration om man känner brandrummets temperatur som funktion av tiden. Standardbrandkurvan för brand i trämaterial ges i EN 1991-1-2 som:

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

där

$t$  är den tid som branden pågått (minuter)



## 8 UTMATTNING

Utmattning ska beaktas i konstruktioner eller delar av konstruktioner som utsätts för spänningsvariationer av betydelse. För konstruktioner i byggnader krävs normalt ingen utmattningskontroll, med undantag för element som bär upp lyftanordningar, rörliga laster eller vibrerande maskiner, och för element som utsätts för vindinducerade svängningar.

I likhet med konstruktioner i kolstål leder kombinationen av spänningskoncentrationer och defekter vid svetsförband till att dessa ställen nästan utan undantag är mer utmattningsbenägna än övriga delar av konstruktionen. Anvisningar för att beräkna utmattningshållfastheten för konstruktioner i kolstål är även tillämpliga på rostfria stål, se EN 1993-1-9

Genom att tillämpa god konstruktionspraxis kan mycket göras för att minska konstruktionens känslighet för utmattning. Detta innefattar förstådig val av konstruktionens utformning i stort, och att noggrant välja konstruktionsdetaljer som har god utmattningshållfasthet. Nyckeln till utmattningstålig utformning är att rationellt beakta utmattning tidigt i dimensioneringsprocessen. En utmattningsberäkning som görs först efter det att övriga dimensioneringskriterier har uppfyllts kan resultera i en olämplig eller kostsam konstruktion. Det är också viktigt att beakta tillverkarens och montörens behov. Därför rekommenderas att man på ett tidigt stadium rådfrågar dessa för att peka ut delar av konstruktionen som är mest känsliga för utmattningssprickor, för att diskutera speciella försiktighetsåtgärder och för att bli medveten om tillverknings- och monteringsproblem. Speciellt bör hål eller lyftanordningar för att underlätta tillverkning eller montering beaktas vid utmattningsdimensioneringen.

Det kan vara möjligt att eliminera potentiella utmattningsproblem genom att ägna vederbörlig uppmärksamhet åt konstruktionsdetaljer och undvika:

- skarpa tvärsnittsändringar och spänningskoncentrationer i allmänhet.
- vinkelfel och excentriciteter.
- små diskontinuiteter som repor och slipmärken.
- onödigt svetsning av sekundära anordningar, t ex fästen för lyft.
- delvis genomsvetsade förband, kälsvetsar, intermitterande svetsning och rotstrimlor.
- elektrodöverslag.

Även om metoder för att förbättra svetsen, såsom styrning av svetsens geometri, slipning av fattningskanten samt kulblästring och purring kan höja ett förbands utmattningshållfasthet, finns det inte tillräckliga data för att kvantifiera den eventuella gynnsamma effekten för rostfria stål. Det bör även noteras att alla metoderna är arbetskrävande, och att det fordras skicklighet och erfarenhet hos operatören för att uppnå maximal nytta. De bör inte, annat än i speciella fall, ses som ett dimensioneringsalternativ.

## 9 PROVNING

### 9.1 Allmänt

Provning av material och element i rostfritt stål kan krävas av ett antal skäl:

- om dimensioneringen baseras på verkliga materialdata (se avsnitt 3.2.4).
- om man vill tillgodoräkna sig hållfasthetshöjningen i kallformade hörn i element (se avsnitt 3.2.2 och 4.7.1).
- om ett elements geometri är sådan att den ligger utanför tillämpningsområdet (såsom de gränser som ges i avsnitt 4.2).
- om ett antal konstruktioner eller komponenter ska baseras på prototypprovning.
- om det krävs bestyrkande att tillverkningen håller jämn kvalitet.

De vanliga försiktighetsåtgärderna och kraven på provningsprocedurer och utvärdering av resultat som gäller för provning av kolstål gäller också vid provning av rostfritt stål. Allmänt rekommenderas därför att man studerar sådana krav, se avsnitt 5.2 och Bilaga D i SS-EN 1990). Det finns dock speciella aspekter på rostfria stål, som man måste tänka mer på när man lägger upp provningarna än som kanske skulle vara fallet vid kolstål. Följande orienterande vägledning ges.

### 9.2 Bestämning av spännings-töjningskurvan

Tillämplig standard för materialprovning är SS-EN 10002-1 *Metalliska material – Dragprovning – Del 1: Provningsmetod (vid rumstemperatur)*. Denna standard ger inte detaljuppgifter om provkropparnas utformning vid ändarna, även om diagram antyder att de bör fästas i klämbackar. Det rekommenderas dock att lasten införs i provkroppens ändpartier via sprintar, som har tillräcklig area för att klara skjuvningen. Detta är till för att säkerställa att provkroppen blir axiellt belastad och därmed möjliggöra att spännings-töjningskurvans verkliga form ska kunna urskiljas utan några felaktiga effekter förorsakade av för tidig flytning på grund av excentrisk last. Lastens axialitet kan kontrolleras genom elastiska mätningar med en extensometer placerad med olika orientering runt provkroppen.

Man bör vara medveten om inverkan av töjningshastigheten, se avsnitt 3.2.2.

### 9.3 Provning av element

Det rekommenderas att provning av element görs som fullskaleförsök eller så nära fullskaleförsök som möjligt med hänsyn till provningsanordningarna, och att provkropparna bör tillverkas med samma tillverkningsprocesser som ska användas i den slutliga konstruktionen. Om komponenterna är svetsade bör prototypen svetsas på samma sätt.

Eftersom rostfritt stål kan uppvisa anisotropi rekommenderas att provkropparna tas ut ur plåten med samma orientering (dvs tvärs eller parallellt med valsningsriktningen) som avses för den slutliga konstruktionen. Om den slutliga orienteringen inte är känd, eller inte kan säkerställas, kan det vara nödvändigt att göra provningar för båda riktningarna och använda de ogynnsammaste resultaten.

Rostfria stål uppvisar högre duktilitet och större deformationshårdnande än kolstål, och därför kan provningsutrustningens kapacitet behöva vara större än vad som krävs för provning av element i kolstål med motsvarande hållfasthet. Detta gäller

inte bara utrustningens lastkapacitet utan också dess förmåga att klara större deformation i provkroppen.

Det bör noteras, att vid högre laster på provkropparna blir effekterna av krypning mer påtagliga, och detta kan betyda att avläsningen av töjning eller förskjutning inte stabiliseras inom rimlig tid.

För töjhärdande material bör både drag- och tryckhållfastheten bestämmas för riktningen i fråga. Utvärderingen av provningsresultaten bör göras med motsvarande hållfasthet.

# 10 TILLVERKNINGSASPEKTER

## 10.1 Inledning

Syftet med detta avsnitt är att belysa relevanta aspekter på tillverkning i rostfritt stål för konstruktören, inklusive rekommendationer om god praxis. Det gör det också möjligt att preliminärt bedöma en tillverkares lämplighet för arbetet.

Rostfritt stål är inte ett svårt material att arbeta med. I vissa avseenden skiljer det sig dock från kolstål, och bör behandlas i enlighet med detta. Många tillverknings- och sammanfogningsmetoder liknar dem som används för kolstål, men de speciella egenskaperna hos rostfritt stål fordrar att man särskilt uppmärksammar ett antal områden. Det är viktigt att effektiv kommunikation mellan konstruktören och tillverkaren upprättas tidigt i projektet för att säkerställa att lämplig tillverkningspraxis kan och kommer att väljas.

Ett överskuggande mål är att bibehålla stålets korrosionsmotstånd. Det är viktigt att vidta försiktighetsåtgärder, i alla skeden av lagring, hantering och formning, för att minimera inverknings- och äventyrar bildandet av det självläkande passiva lagret. Speciellt måste man vara noga med att återställa full korrosionsresistens i svetszoner. Även om försiktighetsåtgärderna är viktiga, så är de enkla och i allmänhet en fråga om god ingenjörsexpraxis.

Det är viktigt att bevara den rostfria stålytans goda utseende genom hela tillverkningen. Skavanker på ytan är inte bara fula utan de är också normalt oacceptabla och visar sig vara tidsödande och dyra att rätta till. Medan skavanker på ytan normalt kommer att döljas av färg vid konstruktioner i kolstål kommer det endast sällan att vara så vid rostfria stålkonstruktioner.

Konstruktionsformen kan dikteras av vilka material som finns tillgängliga. Man bör inse att det tillgängliga sortimentet av varmvalsade rostfria stålprofiler är mer begränsat än vid kolstål. Detta leder till en större användning av kallformade och svetsade profiler än normalt. Dessutom kan, på grund av längden på kantpressar, endast relativt korta längder formas, vilket leder till större användning av skarvar. Vid detaljutformning av förband ska man ta hänsyn till fria utrymmen för skruvar nära bockade kanter och till potentiella problem med passningen på grund av svetsdeformationer.

Vägledningen för tillverkning och montering i denna handbok är i enlighet med ENV 1090-6 *Execution of steel, Del 6 Supplementary rules for stainless steel*. Denna standard har nyligen blivit konverterad till EN 1090 *Execution of steel structures and aluminium structures*. EN 1090-1 kommer att ge regler för användning av CE-märkning av stålkonstruktioner. En 1090-2 kommer att inkludera utförandeklasser hörande till olika typer av stålkonstruktioner; specifika krav på tillverkning och montering kommer att ställas för de olika utförandeklasserna. EN 1090-2 förväntas läggas fram för slutröstning i början av 2007.

Tillämplig standard för svetsning av rostfria stål är EN 1011-3 *Welding. Recommendations for welding of metallic materials. Arc welding of stainless steels*.

## 10.2 Lagring och hantering

Allmänt krävs större försiktighet vid lagring och hantering av rostfritt stål än vid kolstål för att undvika skador på ytan (speciellt för blanka glödgade eller polerade ytor) och för att undvika föroreningar av kolstål och järn. Procedurer för lagring

och hantering bör överenskommas mellan vederbörande kontraktsparter innan någon tillverkning sätts igång och göras tillräckligt detaljerat för att tillgodose eventuella specialkrav.

Procedurerna bör t ex omfattande följande punkter:

- Stålet bör kontrolleras omedelbart efter leverans för eventuella skador på ytan.
- Stålet kan ha en skyddsplast eller annan skyddande beläggning. Denna bör få sitta kvar så länge som möjligt, och tas bort just före den slutliga tillverkningen. Om det behövs skydd bör detta begäras i upphandlingsdokumenten (t ex för blanka glödgade ytor).
- Lagring i fuktiga miljöer med hög salthalt bör undvikas. Lagerhyllor bör inte ha kontaktytor av kolstål och bör därför skyddas med ribbor eller överdrag av trä, gummi eller plast. Tunnsplåt och plåt bör helst lagras vertikalt. Vid horisontellt lagrade plåtar är det möjligt att gå på dem, med risk för förorening av järn eller ytskador.
- Lyftdon av kolstål, t ex kedjor, krokar och klossar bör undvikas. Även här förhindrar skyddande material, eller användning av sugkoppar, att järn tas upp. Gafflarna på gaffeltruckar bör också skyddas.
- Kontakt med kemikalier inklusive onödiga mängder av oljor och fetter (vilket kan missfärga vissa ytor) bör undvikas.
- Det bästa är om olika utrymmen i verkstaden används för rostfritt stål och för kolstål. Endast verktyg speciellt avsedda för rostfritt stål bör användas, vilket särskilt gäller slipskivor och stålborstar. Observera att stålborstar och stålull ska vara av rostfritt stål och normalt i ett material med likvärdigt korrosionsmotstånd (använd t ex inte ferritiska rostfria stålborstar på austenitiska rostfria stål).
- Som en försiktighetsåtgärd under tillverkning och montering är det klokt att se till att eventuella vassa grader från klippningsoperationer avlägsnas.
- Man bör tänka igenom eventuella åtgärder som behövs för att skydda den färdiga produkten under transport.

## 10.3 Formningsoperationer

Austenitiskt rostfritt stål uppvisar betydande deformationshårdnande under kallbearbetning. Deformationshårdnande kan vara en användbar egenskap eftersom den tillåter omfattande formning under dragformning utan risk för förtida brott. Deformationshårdnande kan även vara ofördelaktigt, framförallt vid skärande bearbetning där särskild hänsyn måste tas till varvtal och matningshastighet. Graden av deformationshårdnande varierar med olika stålsorter. Stålsorten 1.4318 deformationshårdnar t.ex. i högre grad än andra stålsorter som används för byggkonstruktioner.

### 10.3.1 Kapning

Rostfritt stål är ett relativt dyrt material jämfört med vissa andra metaller och man måste vara noga vid utmärkningen på plåtar för att undvika spill vid tillkapning. Observera att det kan bli mer spill om materialet har en struktur efter poleringen (eller ett mönster i viss riktning) som måste bibehållas vid tillverkningen. Vissa märkpenor/kritor kommer att visa sig svåra att avlägsna, eller ge fläckar, om de används direkt på ytan (istället för på en skyddsfilm). Man bör kontrollera att märkpenor fungerar tillfredsställande.

Rostfritt stål kan kapas med vanliga metoder, t ex klippning och sågning, men effektbehovet kommer att vara större än vid motsvarande tjocklekar i kolstål på grund av deformationshårdnande. Om möjligt bör tillkapning (och bearbetning i allmänhet) göras när metallen är i glödgat (mjukt) tillstånd för att begränsa deformationshårdnande och slitage på verktygen.

För att skära raka snitt används ofta excenterplåtsax. Genom att använda en sax med öppen ände kan man få ett kontinuerligt snitt som är längre än saxbettet, dock med risk att man får små hack i den skurna kanten.

Plasmaskärning används också, och är speciellt användbart för att kapa tjocka plåtar och profiler och när den kapade kanten ska bearbetas, t ex för beredning av svetsfogar. Acetylsyrgasskärning är inte lämpligt för att kapa rostfritt stål såvida man inte använder fluxmedel.

### 10.3.2 Kallformning

Rostfritt stål formas lätt med vanlig kallformningsteknik såsom bockning, trycksvärning, pressning och djupdragning. För bärande konstruktioner är bockning i kantpress den mest använda tekniken, även om det kan vara mer ekonomiskt med rullformning för tunnplåtprodukter i stora volymer.

Återigen kommer effektbehovet för att bocka rostfritt stål att vara högre än för kolstål på grund av kallhårdning (med omkring 50% vid austenitiska rostfria stål eller mer vid duplexa stål). Rostfritt stål måste också bockas till något mer än kolstål för att motverka effekterna av återfjädring. För komplicerade tvärsnitt är det klokt att involvera tillverkaren så tidigt som möjligt i utformningen.

Rostfria ståls höga duktilitet medger små bockningsradier, kanske så små som halva tjockleken vid glödgat material. Allmänt rekommenderas dock att välja minst följande innerradier:

$2t$  för austenitiska stål

$2,5t$  för duplexa stål

där  $t$  är godstjockleken.

För böjning av rör kan följande vägledning ges:

- förhållandet mellan rörets ytterdiameter och godstjockleken bör inte överstiga 15 (för att undvika dyrbar verktygsuppsättning).
- böjningsradien (till rörets centrumlinje) bör inte vara mindre än  $2,5d$  där  $d$  är ytterdiametern
- eventuella svetsar bör förläggas nära neutrallagret för att minska böjspänningarna i svetsen.

### 10.3.3 Hål

Hål kan borras eller stansas. Vid borring måste man använda positiva skärvinklar på borreggen för att undvika kallhårdning och detta kräver vassa borrspetsar med korrekt vinkel och skärhastighet. Användning av körnare med rundad spets rekommenderas inte, eftersom detta kallhårdar ytan. Antingen ska man använda en centrumborr eller en körnare med konspets. Hål kan stansas i austenitiska rostfria stål upp till ca 20 mm tjocklek. Den högre hållfastheten hos duplexa material ger en lägre tjockleksgräns. Den minsta håldiameter som kan stansas är 2 mm större än

plåttjockleken. Stansade hål bör undvikas i korrosiva miljöer på grund av den kallhårdade kanten.

## 10.4 Svetsning

### 10.4.1 Inledning

Svetsning av austenitiska och duplexa rostfria stål används i stor omfattning och leder till goda resultat med användning av normala processer förutsatt att man väljer lämpliga tillsatsmaterial. Allmänt är det viktigt med renhet och att materialet är fritt från föroreningar för att man ska uppnå god svetskvalitet. Oljor eller andra kolväten och märken av vaxkriter bör avlägsnas för att undvika att de sönderdelas, med risk för upptagning av kol. Svetsen bör vara fri från zink, inklusive zink från förzinkade produkter, samt från koppar och dess legeringar. (Man måste vara försiktig vid användning av rotstöd av koppar. Rotstödet bör förses med en skåra omedelbart intill det smälta området.)

Det är viktigare vid rostfritt stål än vid kolstål att minska ned antalet ställen där spaltkorrosion (se Avsnitt 3.7.2) kan uppstå. Svetsfel såsom smältdiken, dålig in-trängning, svetsstrut, slagg och tändmärken är alla potentiella startpunkter och bör således minskas ned så mycket som möjligt. Tändmärken eller ljusbågsbildning vid lösa jordanslutningar skadar också det passiva lagret. Det ger eventuellt upphov till korrosion och fördärvar därmed produktens utseende.

Där svetsens utseende är viktigt ska konstruktören specificera den svetsprofil och den ytbeskaffenhet som krävs. Detta kan påverka vilken svetsmetod som används eller efterbehandlingen av svetsen. Man bör även tänka på svetsläget. Är det möjligt att göra den lämpliga efterbehandlingen av svetsen?

Värmetillförseln och temperaturen mellan strängarna behöver kontrolleras för att minimera svetsdeformationer (se avsnitt 10.4.4) och för att undvika potentiella metallurgiska problem (se avsnitt 10.4.5).

Svetsning bör utföras i enlighet med en godkänd svetsprocedur enligt en standard som SS-EN ISO 15609-1 *Specifikation för och kvalificering av svetsprocedurer för svetsning av metalliska material – Svetsdatablad (WPS) – Del 1: Bågsvetsning (ISO 15609-1:2004)*. Svetsare bör godkännas i enlighet med SS-EN 287-1 Svetsarprovning – Smältsvetsning – Del 1: Stål Svetsprocedurer innefattar följande moment:

- verifiering av svetsmetoden genom att specificera metod och krav på provning av svetsprocedurer
- svetsares kvalifikationer
- kontrollen av svetsningsoperationer under beredning, svetsning och efterbehandling
- omfattningen av den kontroll och de icke-förstörande provningsmetoder som ska användas
- acceptanskriterier för tillåten nivå på svetsfel.

Under förutsättning att man använder lämpliga procedurer bör svetsning inte innebära några problem. Konstruktören bör dock vara medveten om att svetsdeformationerna i allmänhet är större vid rostfritt stål än vid kolstål, se 10.4.4.

Svetslåsning av muttrar bör aldrig tillåtas, eftersom materialen är komponerade för hållfasthet och inte för smältsvetsning.

## 10.4.2 Processer

Som nämnts ovan kan de vanliga smältsvetsmetoderna användas vid rostfritt stål. Tabell 10.1 visar olika metoders lämplighet inom olika tjockleksområden etc. Vid MIG- eller TIG-svetsning bör skyddsgasen inte innehålla koldioxid på grund av risken för sönderdelning, som leder till upptagning av kol och, vid duplexa material, bör även kväve undvikas.

**Tabell 10.1** Svetsmetoder och deras lämplighet

Svetsmetod (EN ISO 4063)	Lämpliga produktformer	Typ av svetsförband	Tjockleksområde	Svetslägen	Lämpliga förhållanden i verkstad och på byggplats
111 Metallbågsvetsning med belagd elektrod (Manuell metallbågs-svetsning)	Alla utom tunnplåt	Alla	3 mm <sup>(1)</sup> eller grövre	Alla	Alla
131MIG-svetsning	Alla	Alla	2 mm <sup>(1)</sup> eller grövre	Alla	Alla <sup>(2)</sup>
141 TIG-svetsning	Alla	Alla	Upp till max 10 mm	Alla	Alla <sup>(2)</sup>
121/122 Pulverbågs-svetsning	Alla utom tunnplåt	Alla	3 mm <sup>(1)</sup> eller grövre	Endast uppifrån	Alla
2 Motståndssvetsning	Endast tunnplåt	Alla	Högst ca 3 mm	Alla	Alla

Anm:

1) Beror på typen av svetsförband.

2) Känsligare för väderleksförhållanden än andra metoder och bättre skydd krävs.

## 10.4.3 Tillsatsmaterial

Kommersiellt tillgängliga tillsatsmaterial utformas för att ge svetsgods med samma hållfasthet och korrosionsmotstånd som grundmaterialet och för att minimera risken för stelningssprickor. För speciella tillämpningsområden, såsom ovanligt aggressiva miljöer eller där det fordras omagnetiskt material, bör man rådfråga stål-tillverkaren och tillverkaren av tillsatsmaterial.

Allt tillsatsmaterial bör överensstämja med de krav som anges i ENV 1090 (kommer att ersättas av EN 1090-2). Det är viktigt att tillsatsmaterialet skyddas från föroreningar och lagras enligt tillverkarens anvisningar.

## 10.4.4 Svetsdeformationer

I likhet med andra metaller får man svetsdeformationer i rostfritt stål. Typerna av deformation (vinkelavvikelse, böjning, krympning etc.) är av samma slag som vid konstruktioner i kolstål. Deformationerna vid rostfritt stål är dock, speciellt vid austenitiska material, större än vid kolstål på grund av större värmeutvidgning och lägre värmeledningsförmåga (vilket ger större temperaturgradienter), se avsnitt 3.3.

Svetsdeformationer kan endast styras, inte elimineras. Följande åtgärder kan vidtas av konstruktören och tillverkaren:

### **Konstruktörens åtgärder**

- Undanröj behovet att svetsa.
- Minska svetsningens omfattning.



- Reducera svetsarnas volym. Vid stor godstjocklek används t ex dubbla V- eller U-fogar hellre än enkla V-fogar.
- Använd symmetriska förband.
- Utforma för att kunna ta upp större avvikelser.

#### ***Tillverkarens åtgärder***

- Använd effektiva jigggar. Om möjligt bör jiggen ha koppar- eller aluminiumstänger som bidrar till att leda bort värme från svetsområdet.
- Om effektiv fastsättning inte är möjlig, använd tätt placerade häftsvetsar som läggs i balanserad ordningsföljd.
- Se till att det är god passning och att delarna ligger i linje innan svetsningen påbörjas.
- Använd minsta möjliga värmeförsel för den valda svetsmetoden.
- Använd balanserad svetsning och lämplig svetsföljd (t ex bakstegssvets).

### **10.4.5 Metallurgiska överväganden**

Det är inte möjligt att här behandla rostfria ståls metallurgi med undantag av de viktigaste faktorerna.

#### ***Utskiljningar i de austenitiska stålsorterna***

I de austenitiska stålen är den värmepåverkade zonen (HAZ) relativt motståndskraftig mot korntillväxt och utskiljning av spröda och intermetalliska faser. Svetsprocedurer utformas vanligen för att reglera tiden i det temperaturområde som är kritiskt för effekter av utskiljningar (450 - 900°C). Omfattande reparationssvetsning ökar naturligtvis denna tid och begränsas därför vanligtvis till tre större reparationer.

Utskiljning av kromkarbider och den åtföljande minskningen av korrosionsmotståndet diskuteras i 3.7.2 *Korngränsfrätning*, där det noteras att detta normalt inte är något problem vid de lågkolhaltiga varianterna av austenitiska rostfria stål (dvs 1.4307 och 1.4404). Effekter av svetsfrätning kan dock göra sig gällande i stålsorter med normal kolhalt i svetsade konstruktioner med plåttjocklekar över ca 10mm.

#### ***Stelningssprickor i austenitiska material***

Stelningssprickor i svetsar undviks om svetsgodset innehåller ca 5% ferrit. Ståltillverkare balanserar sammansättningen och värmebehandlingen av de vanliga austenitiska stålen för att säkerställa att de praktiskt taget inte innehåller någon ferrit vid leveransen, men bildar tillräckligt med ferrit i en svets av nedsmält grundmaterial (dvs en svets utan tillsatsmaterial). Ändå är det, för att minska risken för sprickor, klokt att minimera värmeförsel, temperaturen mellan strängarna och inspänning när man använder svetsar utan tillsatsmaterial. Vid tjockare gods används tillsatsmaterial, och tillsatsmaterial av god kvalitet kommer även här att säkerställa att det bildas lämplig mängd ferrit. Det är normalt inte nödvändigt att mäta den exakta halten av bildad ferrit. Lämpliga svetsmetoder och tillsatsmaterial säkerställer att det inte uppstår stelningssprickor.

#### ***Försprödning av duplexa material***

Duplexa stål är känsliga för 475°C- och  $\sigma$ -fasförsprödning. Det förra inträffar om stålet hålls inom eller långsamt svalnar genom temperaturområdet ca 550°C till 400°C, och ger en höjning av draghållfastheten och hårdheten med en minskning av duktiliteten vid dragning och slagsegheten. Det senare kan inträffa efter lång exponering för temperaturer i intervallet 565°C till 900°C, men kan under lämpliga

förhållanden inträffa efter så kort tid som en halvtimme (beroende på stålets sammansättning och termomekaniska tillstånd). Effekterna av  $\sigma$ -fasförsprödning är störst vid rumstemperatur. Båda formerna av försprödning påverkar korrosionsmotstånd och seghet negativt.

Både 475°C- och  $\sigma$ -fasförsprödning kan behärskas genom att välja rätta svetsprocedurer. Temperaturen mellan strängarna bör gå ned till 200°C eller lägre. Man måste vara speciellt noggrann vid svetsning av grova profiler.

För att slippa försprödning bör man undvika att exponera stålet under lång tid för temperaturer över 300°C.

#### **10.4.6 Efterbehandling av svetsar**

Det är bäst, både tekniskt och kommersiellt, att tillverka konstruktionen genom svetsning. I allmänhet krävs efterbehandling såsom diskuteras i följande avsnitt, speciellt om man använder bågsvetsmetoder. Det är viktigt att definiera vilken efterbehandling som behövs för att undvika kostnadsöverskridanden och eventuellt dåliga egenskaper hos produkten. Slutbehandlingar som är gemensamma för all tillverkning behandlas i avsnitt 10.6

De metoder som normalt används för bearbetning av svetsar är stålborstning och slipning. Tillverkaren bör minimera behandlingen och om möjligt begränsa den till stålborstning. Detta beror på att värme som utvecklas vid slipning kan påverka korrosionsmotståndet. Observera att stålborstar ska vara av rostfritt stål (se avsnitt 10.2).

Det är god praxis att avlägsna alla spår av missfärgning av värme. Gul värmefärg behöver dock inte vara någon fara om det rostfria stålet har god beständighet i förhållande till miljön ifråga. Där så inte är fallet, eller där värmefärg inte kan accepteras av estetiska skäl, kan den avlägsnas med betning eller blästring med glaskulor. Betning kan göras genom nedsänkning i ett bad (se avsnitt 10.6) eller med pasta enligt tillverkarens anvisningar.

Kallhamring av svetsytor är en nyttig efterbehandling. Den ger tryckspänningar i ytan, vilket förbättrar utmattningshållfastheten, motståndsförmågan mot spänningskorrosionssprickor och utseendet. Kallhamring kan dock inte användas som motiv för att ändra klassificeringen med hänsyn till utmattning.

Avlägsnandet av metall vid omfattande bearbetning medför spänningsutlösning och därmed deformation i den svetsade produkten. I de fall där deformationen är sådan att dimensionstoleranserna inte kan innehållas fordras en värmebehandling. Detta är i allmänhet bara ett alternativ för komponenter med små dimensioner och endast för stålsorter som inte är benägna för sensibilisering (se avsnitt 3.6.2) såsom de lågkolhaltiga materialen 1.4307 och 1.4404 eller de stabiliserade materialen 1.4541 och 1.4571.

#### **10.4.7 Kontroll av svetsar**

Tabell 10.2 visar de kontrollmetoder som vanligtvis används vid svetsar i rostfritt stål och kolstål.

Metoderna används vid behov beroende på vad som krävs med hänsyn till miljön ifråga. Visuellt kontroll bör dock ske vid alla skeden under svetsningen, eftersom det kan förhindra att många problem blir besvärande vid den fortsatta tillverkningen. Kontroll av ytan på rostfritt stål är viktigare än vid kolstål, eftersom rostfritt stål

i första hand används för att motstå korrosion och även en mindre skavank på ytan kan göra materialet benäget för korrosionsangrepp.

**Tabell 10.2** *Kontrollmetoder för svetsar*

Typ av icke-förstörande provning	Austenitiska rostfria stål	Duplexa rostfria stål	Kolstål
Metoder för att upptäcka ytliga fel	Visuell DPI	Visuell DPI MPI	Visuell DPI MPI
Metoder för att upptäcka inre fel	Röntgen Gamma	Röntgen Gamma	Röntgen Gamma Ultraljud

DPI – Penetrantprovning (Dye penetrant inspection)  
MPI – Magnetpulverprovning (Magnetic particle inspection)

Magnetpulverprovning är inte ett alternativ vid de austenitiska stålen, eftersom dessa är omagnetiska. Ultraljudsmetoder har begränsad användning vid svetsar på grund av svårigheter att tolka resultaten. De kan dock användas på grundmaterialet. Gammaradiografering är inte lämpligt för att detektera sprickor eller bindfel i rostfria stål under 10 mm godstjocklek.

## 10.5 Hopskärning

Om ytor är belastade och i relativ rörelse kan det bli hopskärning av lokal vidhäftning och bristningar i ytorna. I vissa fall kan kallsvetsning inträffa. Följande metoder kan användas för att undvika problem med hopskärning:

- Använd olika rostfria standardmaterial (stålsorter som har olika sammansättning, grad av kallbearbetning och hårdhet). Använd t ex kombination av material A2-C2, A4-C4 eller A2-A4 i skruvar och muttrar enligt EN ISO 3506),
- I svåra fall, använd en kraftigt töjhärdande rostfri stållegering för den ena komponenten eller applicera en hård ytbeläggning,
- Använd medel som motverkar hopskärning.

Observera att om olika stål eller beläggningar används måste man se till att det krävda korrosionsmotståndet upprätthålls. Att olja skruvarna är bra, men kan leda till nedsmutsning och ge problem vid lagringen.

Det rekommenderas att material i skruvar och muttrar bör vara i kallbearbetat tillstånd, minst brottgränsklass 70 (se Tabell 3.3). Skruvmaterial bör inte användas i glödgat tillstånd på grund av benägenheten för skärning i gängorna. Att använda valsade istället för skurna gängor och att undvika fina gängor och gängor med noggrann passning minskar risken för skärning.

## 10.6 Slutbearbetning

Rostfria ståls ytfinish är ett viktigt kriterium och bör specificeras noga i enlighet med de arkitektoniska eller funktionella kraven. Ju finare ytfinish, desto högre kostnad. Det är här som tidigare vidtagna försiktighetsåtgärder vid hantering och svetsning ger utdelning. Planering från början är viktigt för att minska kostnaderna. Om t ex en svets mellan rören i en ledstång eller ett räcke döljs på insidan av en ståndare minskar bearbetningskostnaden och det blir en betydande förbättring av det slutliga utseendet.

Stålytans korrosionsresistens bör återställas genom att avlägsna allt glödskal och alla föroreningar. Betning i syrabad lösgör allt glödskal och gör att det kan borstas bort med en tagelborste och löser också upp eventuella avlagrade järn- eller kolstalspartiklar.

Slipande behandlingar, såsom slipning, polering och lumpning, ger ensriktad ytstruktur, och därför kanske det inte är så lätt att dölja svetsar på plåtar med normala valsade ytor. Det kan krävas visst experimenterande för att bestämma detaljprocedurer för att få en lämplig ytfinish.

Elektrolytisk polering avlägsnar ett tunt ytlager. Ett antal olika ytor från matt till blank lyster kan framställas, i hög grad beroende på materialets ursprungliga yta.

Det finns andra bearbetningar (elektroplätning, tumling, etsning, färgning, och svärtning), men dessa torde endast i undantagsfall användas på bärande rostfritt stål och beskrivs därför inte här.

Det är åter värt att notera att ytan bör vara fri från föroreningar i den monterade konstruktionen. Särskilt bör man uppmärksamma risken för föroreningar som härrör från arbeten på intilliggande konstruktioner i kolstål, speciellt från slipdamm. Antingen bör det rostfria stålet skyddas med en avdragbar plastfolie, eller också bör det anges i kontraktshandlingarna att den slutliga rengöringen ska göras efter det att konstruktionen har färdigställts.

# **BILAGA A      JÄMFÖRELSE MELLAN BETECKNINGAR FÖR ROSTFRITT STÅL**

I Tabell A.1 jämförs beteckningar enligt EN 10088 med beteckningar i Tyskland, UK, Frankrike, Italien, Sverige, Spanien och USA.

**Tabell A.1** Beteckningar för rostfritt stål- jämförelse mellan europeisk och tidigare nationella standarder

Stålsort enligt EN 10088	Tyskland (DIN)		UK	Frankrike	Italien	Sverige	Spanien		USA	
	Nummer	Namn					BSI	AFNOR	UNI	SIS
X5CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	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	304 S 11	Z 2 CN 18-10	X2 CrNi 18 11	2352	3503	304 L	S 30403	
X2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 18 10	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	X6 CrNiTi 18 11	2337	3523	321	S 32100	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	X5CrNiMo 17 12 2	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	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	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	-	Z 1 CNDU 25-20	-	2562	-	904 L	N 08904	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12 2	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	304 S 61	Z 2 CN 18-10 Az	-	2371	-	304 LN	S 30453	
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	X2 CrNiMoN 17 12 2	316 S 62	Z 2 CND 17-12 Az	-	-	-	316 LN	S 31653	
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	X2 CrNiMoN 17 13 5	-	-	-	-	-	317 LMN	S 31726	
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	X1 NiCrMoCuN 25 20 6	-	-	-	-	-	-	-	
X2CrNi18-7	1.4318	X2 CrNiN 18 7	-	-	-	-	-	301 LN (302 LN)	-	
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	X2 CrNiMoN 22 5 3	Duplex 2205	Z 2 CND 22-5 Az	-	2377	-	-	S 31803	

# BILAGA B VIPPNING

## B.1 Allmänt fall

Det elastiska kritiska vippningsmomentet,  $M_{cr}$ , för en balk med konstant tvärsnitt ges av:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left( \left[ \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{1/2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right)$$

där:

$C_1$ ,  $C_2$  och  $C_3$  är faktorer som beror på lasten och upplagsförhållandena, se Tabell B.1 och B.2.

$I_t$  är vridstyvhetens tvärsnittsfaktor

$I_w$  är välvstyvhetens tvärsnittsfaktor

$I_z$  är tröghetsmomentet i veka riktningen

$k_z$  och  $k_w$  är faktorer för effektiv längd

$L$  är balklängden mellan punkter som är stagade i sidled

$z_g = z_a - z_s$

$z_a$  är koordinaten för lastens angreppspunkt

$z_s$  är skjuvningsmedelpunktens koordinat

$$z_j = z_s - \frac{\int z (y^2 + z^2) dA}{2 I_y}$$

Vid beräkning av  $z_j$ , är  $z$  negativ för den tryckta flänsen;  $z_j$  är positiv när flänsen med det största värdet på  $I_z$  är tryckt i snittet med största moment. Observera att  $z_j = 0$  för alla tvärsnitt med två lika flänsar inklusive U- och Z-profiler.

För gravitationslaster är  $z_g$  negativ för laster som angriper över skjuvningsmedelpunkten. I det allmänna fallet är  $z_g$  negativ för laster som från sin angreppspunkt verkar mot skjuvningsmedelpunkten. Observera att  $z_g = 0$  om lasten är förhindrad att röra sig i sidled med balken.

Faktorerna för effektiv längd,  $k_z$  och  $k_w$ , varierar från 0,5 för fast inspänning till 1,0 för ledad infästning, med 0,7 för en fast inspänd och en ledad ände. De normala inspänningsförhållandena för varje ände är:

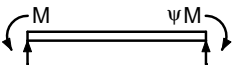

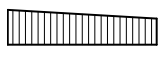
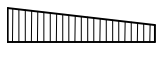
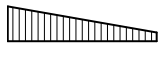





$$k_z = k_w = 1,0$$

- förhindrad att röra sig i sidled, fri rotation i planet

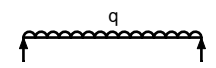

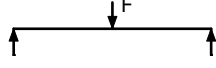

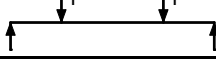

- förhindrad att rotera kring längdaxeln, fri välvning

Faktorn  $k_z$  avser ändens rotation i planet. Den är analog med förhållandet  $l/L$  för ett tryckt element. Faktorn  $k_w$  avser välvning vid änden. Såvida inte speciella åtgärder vidtas för att åstadkomma inspänning mot välvning bör  $k_w$  sättas lika med 1,0.

**Tabell B.1** Värden på faktorerna  $C_1$  och  $C_3$  för olika värden på den effektiva längdfaktorn  $k_z$ : Ändmoment

Ändmoment och upplagsförhållanden	Böjmomentdiagram	Värde på $k_z$	Värde på faktorerna			
			$C_1$	$C_3$		
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$	
	 $\psi = +1$	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	$0,125 - 0,7\psi_f$	$-0,125 - 0,7\psi_f$		

**Tabell B.2** Värde på faktorerna  $C_1$ ,  $C_2$  och  $C_3$  för olika värden på den effektiva längdfaktorn  $k_z$ : Transversallast

Last och upplagsförhållanden	Böjmomentdiagram	Värde på $k_z$	Värde på faktorerna		
			$C_1$	$C_2$	$C_3$
		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

Observera att Tabell B.1 och B.2 endast kan användas för enkelsymmetriska I-profiler, för vilka  $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$



där:

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$$

i vilket:

$I_{fc}$  är den tryckta flänsens tröghetsmoment med avseende på tvärsnittets veka axel

$I_{ft}$  är den dragna flänsens tröghetsmoment med avseende på tvärsnittets veka axel

$\psi_f = 0$  för dubbelsymmetriska tvärsnitt

$\psi_f > 0$  för enkelsymmetriska tvärsnitt när den större flänsen är tryckt

$\psi_f < 0$  för enkelsymmetriska tvärsnitt när den mindre flänsen är tryckt

Följande approximationer för  $z_j$  kan användas:

$$z_j = 0,8\psi_f \frac{h_s}{2} \quad \text{när } \psi_f \geq 0$$

$$z_j = \psi_f \frac{h_s}{2} \quad \text{när } \psi_f < 0$$

där

$h_s$  är avståndet mellan flänsarnas skjuvningsmedelpunkter

## B.2 Specialfall

### B.2.1 Dubbelsymmetriska tvärsnitt

Det elastiska kritiska vippningsmomentet för en balk med konstant symmetriskt tvärsnitt med två lika flänsar,  $z_j=0$ :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[ \left[ \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]^{1/2} - C_2 z_g \right]$$

För ändmoment och transversallaster som angriper i skjuvningsmedelpunkter är  $C_2 z_g=0$ . För dessa fall gäller:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[ \left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{1/2}$$

För normala inspänningsförhållanden vid ändarna är,  $k_z=k_w=1,0$ :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{1/2}$$

# BILAGA C MATERIALDATA FÖR NEDBÖJNINGSBERÄKNINGAR

Sekantmodulen,  $E_S$ , som ska användas vid beräkning av nedböjningar (se avsnitt 5.4.6) bör bestämmas för konstruktionselementet med hänsyn till valsningsriktningen. Om valsningsriktningen inte är känd, eller inte kan fastställas, ska värdet för längdriktningen användas.

Värdet på sekantmodulen kan få enligt följande:

$$E_S = (E_{S1} + E_{S2})/2$$

där:

$E_{S1}$  är sekantmodulen vid spänningen i den dragna flänsen

$E_{S2}$  är sekantmodulen vid spänningen i den tryckta flänsen

Värden på sekantmodulerna  $E_{S1}$  and  $E_{S2}$  för tillämplig riktning och spänning i bruksstadiet kan bestämmas med följande ekvation och med konstanter enligt Tabell C.1. Alternativt kan värden för stålsorterna 1.4301, 1.4401 och 1.4462 hämtas från Tabell C.2, vid behov med linjär interpolation.

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n} \text{ och } i = 1,2$$

där:

$\sigma_{i,Ed,ser}$  är spänningen i bruksstadiet i den dragna eller tryckta flänsen

$$k = \frac{0,002 E}{f_y}$$

$$E = 200\,000 \text{ MPa}$$

Som en förenkling kan variationen av  $E_S$  längs elementet försummas och det minsta värdet på  $E_S$  (motsvarande de högsta spänningarna  $\sigma_1$  och  $\sigma_2$  i elementet) användas efter hela längden.

**Tabell C.1** Värden på konstanter för att bestämma sekantmoduler

Stålsort	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$n$	
		Längdriktningen	Tvärriktningen
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		

**Tabell C.2** Sekantmoduler för nedböjningsberäkningar för material 1.4301, 1.4401 och 1.4462

Material	Sekantmodul (GPa)				
	1.4301		1.4401		1.4462
Spänningsförhållande ( $\sigma/f_y$ )	Längdriktningen	Tvåriktningen	Längdriktningen	Tvåriktningen	Båda riktningarna
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



## DEL II – DIMENSIONERINGSEXEMPEL

(Denna del är hämtad från den engelska versionen av publikationen.)

This section gives thirteen design examples that illustrate the application of the design rules. The examples are:

- |  |                |
|--|----------------|
| <b>Design example 1</b>  | <b>sid 111</b> |
| A circular hollow section subject to axial compression.  |                |
| <b>Design example 2</b>  | <b>sid 113</b> |
| A welded I-beam with a Class 4 cross-section subject to combined axial compression and bending.  |                |
| <b>Design example 3</b>  | <b>sid 117</b> |
| Trapezoidal roof sheeting with a Class 4 cross-section subject to bending.   |                |
| <b>Design example 4</b>  | <b>sid 125</b> |
| A welded hollow section joint subject to fatigue loading.  |                |
| <b>Design example 5</b>  | <b>sid 129</b> |
| A welded joint.  |                |
| <b>Design example 6</b>  | <b>sid 137</b> |
| A bolted joint.  |                |
| <b>Design example 7</b>  | <b>sid 143</b> |
| A plate girder with a Class 4 cross-section subject to bending. Shear buckling is critical.  |                |
| <b>Design example 8</b>  | <b>sid 149</b> |
| A plate girder with a Class 4 cross-section subject to bending. Resistance to transverse loads is critical.  |                |
| <b>Design example 9</b>  | <b>sid 155</b> |
| A cold formed channel subject to bending with intermediate lateral restraints to the compression flange. Lateral torsional buckling between intermediate lateral restraints is critical. |                |
| <b>Design example 10</b>   | <b>sid 163</b> |
| A rectangular hollow section subject to combined axial compression and bending with 30 minutes fire resistance.  |                |
| <b>Design example 11</b>   | <b>sid 171</b> |
| Trapezoidal roof sheeting with a Class 4 cross-section subject to bending – a comparison of designs with cold worked material and annealed material.                                     |                |
| <b>Design example 12</b>   | <b>sid 177</b> |
| A lipped channel from cold worked material in an exposed floor subject to bending.   |                |
| <b>Design example 13</b>   | <b>sid 185</b> |
| A stainless steel lattice girder from cold worked material subject to combined axial compression and bending with 30 minutes fire resistance   |                |

The plate girders in examples 7 and 8 are from duplex grade 1.4462. The members in the other examples are from austenitic grades 1.4301 or 1.4401.

The references in the margin of the design examples are to text sections and expressions/equations in this publication, unless specifically noted otherwise.