
Stål Håndbok

Del 3: 2010

Konstruksjoner av stål

3. utgave

Hovedredaktør: Dr. ing. Bjørn Aasen, Norconsult

Redaksjonskomite:

Gry Hege Svarliaunet, Høgskolen i Sør Trøndelag

Bjørn Bringaker, Universitetet i Agder

Kjetil Myhre, Norsk Stålforbund

Einar Braathu, Materialassistanse E Braathu



Norsk Stålforbund

www.stalforbund.com

Kronprinsens gate 17

0251 Oslo

Utgiveren påtar seg ikke ansvar for bruken av data fra boka.

ISBN 978-82-91466-09-5

© 2010 Norsk Stålforbund

Lay-out: Kjetil Myhre/Einar Braathu

Trykk og innbinding: Allkopi

Forord

Det har skjedd store forandringer innen standardiseringen av stålkonstruksjoner de siste fem, seks årene. Først ble materialstandardene for konstruksjonsstål samlet i en standard bestående av seks forskjellige deler, nemlig NS-EN 10025. Disse standardene dekker alt fra ulegerte karbonstål til finkornstål, til stål med forbedret motstand mot atmosfærisk korrosjon og til seigherdede, høfaste stål. Standardene for hulprofiler er også revidert. En annen viktig milepel er utgivelsen av en samlestandard for høfaste stålskruer i forspente skrueforbindelser, altså NS-EN 14399. For å kunne dekke et bredt sortiment av forskjellige typer høfaste skruer, foreligger den i 10 forskjellige deler. Også når det gjelder utførelse av stålkonstruksjoner, har vi fått en ny standard. En enkelt standard, det vil si NS-EN 1090-2, skal dekke alle typer byggverk av stål, det være seg bruer, bygninger, master og konstruksjoner av kaldformede tynnplater.

Men den største forandringen kom i 2010 med innføringen av Eurokodene. Mens de små europeiske landene hittil har holdt seg med en enkelt prosjekteringsstandard for hvert konstruksjonsmateriale, har de store industrilandene hatt et stort utvalg av enkeltstående beregningsregler for henholdsvis bruer, bygninger, master, tanker og kranbaner. Eurokode 3 som gjelder prosjektering av stålkonstruksjoner i sin alminnelighet, er ment å skulle dekke dimensjonering av både enkle og kompliserte byggverk i stål. Denne samlingen av europeiske dimensjoneringsregler vil få stor betydning for kommende generasjoner av stålkonstruktører.

Med dette foreligger den tredje revisjonen av Stålhåndbok del 3. For det første ønsker vi å gi en best mulig oversikt over alle relevante produktstandarder for stål. Og for det andre skal boka gi en grunnleggende innføring i bruken av de allmenne prosjekteringsreglene i Eurokode 3. Gjennom enkle forklaringer av fysiske begreper og fenomener samt utfyllende beregningseksempler forsøker vi å øke kunnskapen om beregning og dimensjonering av stålkonstruksjoner. Mengden av aktuelle problemstillinger er så stor, at vi har vært nødt til gjøre noen valg. Redaksjonskomiteen tar gjerne i mot alle former for konstruktiv kritikk og nyttige innspill.

Boka er skåret over samme lest som forrige revisjon, nemlig første utgave av Stålbyggnad som ble utgitt i Sverige i 1991. Likevel er dette ingen blåkopi av den svenske læreboka. Riktignok er det unge studenter som er vår fremste målgruppe, men vi håper også at boka kan gi den erfarne ingeniøren en og annen aha-opplevelse vedrørende anvendelsen av Eurokode 3.

Oslo, september 2010
Bjørn Aasen

Til leseren

Denne innledningen forklarer hensikten med boka og gir noen anvisninger på hvordan boka er bygget opp. Det anbefales å lese i gjennom denne korte innledningen før boka tas i bruk.

Tredje utgave av “Stål Håndbok Del 3” har gjennomgått en meget stor omarbeiding i forhold til andreutgaven fra 1994. Boka har også blitt mer omfattende enn tidligere, noe som har medført langt flere sider. Spesielt gjelder dette kapitlene om dimensjonering. Vi har dog valgt å ta ut eksemplene på stålkonstruksjonstegninger i kapittel 6, Prosjektbeskrivelse. Veiledning og tegninger vil i stedet bli publisert på en egen nettside der man også finner supplerende fagstoff, oppdatert litteraturliste, nyttige lenker og rettelserblader til hvert kapittel: www.stalforbund.com/stalhandbok3.htm.

Boka er revidert med hensyn på prosjektering av stålkonstruksjoner i henhold til nytt felleseuropeisk regelverk, Eurokode 3: NS-EN 1993, med de nasjonale tilleggene. Følgende delstandarder er behandlet:

- Kap. 8) Dimensjonering av bjelker og søyler etter Eurokode 3 – Del 1-1 (NS-EN 1993-1-1)
- Kap. 9) Dimensjonering av tynnveggede staver etter Eurokode 3 – Del 1-5 (NS-EN 1993-1-5)
- Kap. 10) Dimensjonering av knutepunkter etter Eurokode 3 – Del 1.8 (NS-EN 1993-1-8)
- Kap. 11) Brannteknisk dimensjonering etter Eurokode 3 - Del 1-2 (NS-EN 1993-1-2)

Dimensjoneringskapitlene har mange beregningseksempler som viser hvordan reglene skal benyttes i praksis. Boka er primært tenkt som en lærebok i faget stålkonstruksjoner for ingeniørstudenter men er også nyttig for praktiserende konstruktører. Den gir grunnleggende kunnskap om dette temaet, med hovedvekt på beregning og dimensjonering av enkle stålkonstruksjoner. Boka er oppdatert med hensyn til nye forskrifter og standarder. Boka inneholder også nyttig informasjon om fremstilling av konstruksjonsstål, fysiske egenskaper, stålprodukter og forbindelsesmidler.

I teksten er det dessuten gitt referanse til nyttig tillegglitteratur. På slutten av hvert kapittel finnes det en fullstendig litteraturliste.

Det er lagt stor vekt på at boka skal være logisk og lettfattelig. Vi håper at den blir oppfattet slik av brukerne.

Vi skylder redaksjonskomiteen en stor takk for god og uegennyttig innsats. Vi takker også eksperter fra forskjellige fagområder som har bistått redaksjonskomiteen. I tillegg vil vi uttrykke en stor takk til hovedsponsor av boka, Norsk Forening for Stålkonstruksjoner, og alle foretak som har gitt finansiell støtte gjennom å annonsere i de ulike kapitlene i boka.

Merknader:

1. Regneeksemplene er utført vha. Mathcad 14.0. Det innebærer at den relative slankheten $\bar{\lambda}$ skrives som bare λ .
2. Av plasshensyn har fasthetsverdiene f_y og f_u fått benevingen MPa, hvilket er det samme som N/mm².

Oslo, september 2010
Kjetil Myhre

Konstruksjoner av stål

Norsk Stålforbund vil uttrykke en stor takk til hovedsponsor av boka, Norsk Forening for Stålkonstruksjoner, og alle foretak som har gitt finansiell støtte gjennom å annonsere i de ulike kapitlene i boka.

Denne nye utgaven av læreboka er utviklet med støtte fra bl. a. følgende foretak:

NORSK FORENING FOR STÅLKONSTRUKSJONER
NORWEGIAN STRUCTURAL STEEL ASSOCIATION TILKNYTTET TEKNA OG NORSK STÅLFORBUND
www.stalguiden.com/nfs.htm

 **Norsk Stål**
www.norskstaal.no

RUUKKI
Ruukki Norge AS
www.ruukki.no

Voortman
 **SR Teknikk AS**
www.srteknikk.no


LEIF HÜBERT
www.hubert.no

RUUKKI
Ruukki Construction
Norge AS
www.ruukki.no

A.L. Høyer
Rådgivende ingeniører MRIF
www.alhoyer.no

 **MULTICONSULT**
www.multiconsult.no

BrannStopp Norge 
www.brannstopp.no Leverandør av
Nullifire
Produkter til brann-
maling av bærende stål

FANASTÅL
www.fanastaal.no

SSAB
www.ssab.com

DUO ZINK
www.DuoZink.no

CONTIGA
En bærebjelke i byggebransjen
www.contiga.no

stål & fasade
STÅLENTREPRENØR, TAK- OG FASADEKLEDNING
www.stal-fasade.no

Norconsult 
www.norconsult.no

Innhold

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Stål i bygg | 7 |
| | Litteratur | 13 |
| | Internett | 13 |
| 2 | Konstruksjonsstål | 15 |
| 2.1 | Definisjoner | 15 |
| 2.2 | Fremstilling av stål | 16 |
| 2.3 | Stålets oppbygging | 22 |
| 2.3.1 | Stålets krystallinske natur | 22 |
| 2.3.2 | Stålets faser og strukturelementer | 24 |
| 2.3.3 | Klassifisering av stålsorter | 25 |
| 2.3.4 | Betegnelse av stålsorter | 25 |
| 2.3.5 | Karbon- og karbonmanganstål | 26 |
| 2.3.6 | Finkornstål | 26 |
| 2.3.7 | Seigherdingsstål | 27 |
| 2.3.8 | Stål for kaldforming | 27 |
| 2.3.9 | Z-stål | 27 |
| 2.3.10 | Rustfrie stål | 27 |
| 2.3.11 | Oversikt over stål for konstruksjoner | 28 |
| 2.4 | Elastisk og plastisk deformasjon | 32 |
| 2.5 | Stålets fysiske egenskaper | 33 |
| 2.5.1 | Stålets arbeidskurve | 34 |
| 2.5.2 | Stålets slagseighet | 36 |
| 2.5.3 | Stålets øvrige materialeegenskaper | 39 |
| | Litteratur | 40 |
| | Internett | 40 |
| 3 | Produkter av stål | 43 |
| 3.1 | Stang- og profilstål | 43 |
| 3.2 | Plater | 45 |
| 3.3 | Sveiste bjelker | 47 |
| 3.4 | Hulprofiler | 50 |
| 3.5 | Profilerte plater og kaldformede profiler | 50 |
| 3.6 | Spuntstål og pæler | 52 |
| 3.7 | Toleranser og merking | 52 |
| 3.8 | Levering av stål | 53 |
| 3.9 | Materialpriser | 54 |
| | Litteratur | 54 |
| | Internett | 54 |
| 4 | Sammenføyningsmetoder | 57 |
| 4.1 | Sveiste forbindelser | 57 |
| 4.1.1 | Sveisbarhet og sveisedefekter | 57 |
| 4.1.2 | Sveisemetoder | 59 |
| 4.1.3 | Elektroder | 60 |
| 4.1.4 | Sveisestillinger | 61 |
| 4.1.5 | Sveisetypen og betegnelser | 62 |
| 4.1.6 | Sveisekvalitet og akseptkriterier | 63 |
| 4.2 | Skruerforbindelser | 64 |

Konstruksjoner av stål

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.1 | Generelt | 64 |
| 4.2.2 | Festelementer for stålkonstruksjoner | 65 |
| 4.2.3 | Festelementer for tynnplater | 68 |
| | Litteratur | 70 |
| | Internett | 70 |
| 5 | Bæresystemer | 73 |
| 5.1 | Generelt | 73 |
| 5.2 | Økonomi | 74 |
| 5.3 | Hallbygninger | 76 |
| 5.3.1 | Stabilisering av hallbygninger | 77 |
| 5.4 | Etasjebygninger | 79 |
| 5.4.1 | Stabilisering av etasjebygninger | 80 |
| 5.4.2 | Søyler og bjelker i etasjebygninger | 81 |
| 5.4.3 | Etasjeskillere i bygninger | 82 |
| 5.5 | Tynnplatekonstruksjoner | 84 |
| 5.5.1 | Dimensjonering | 84 |
| 5.5.2 | Skivevirkninger | 84 |
| | Litteratur | 86 |
| | Internett | 86 |
| 6 | Prosjektbeskrivelse | 87 |
| 6.1 | Generelt | 87 |
| 6.2 | Kvalitetssikring | 88 |
| 6.3 | Prosjektbeskrivelse | 89 |
| 6.4 | Teknisk beskrivelse | 90 |
| 6.5 | Norske standarder for bygg og anlegg | 92 |
| 6.6 | Stålkonstruksjonstegninger | 93 |
| | Litteratur | 94 |
| | Internett | 94 |
| 7 | Grunnlag for prosjektering av stålkonstruksjoner | 95 |
| 7.1 | Innledning | 95 |
| 7.2 | Beregningsmodeller | 98 |
| 7.3 | Litt om Eurokode 3 for stålkonstruksjoner | 102 |
| | Litteratur | 104 |
| | Internett | 104 |
| 8 | Dimensjonering av bjelker og søyler etter Eurokode 3 – Del 1-1 (NS-EN 1993-1-1)..... | 107 |
| 8.1 | Generelt | 107 |
| 8.1.1 | Symboler | 107 |
| 8.1.2 | Knekking av plater og staver | 108 |
| 8.2 | Tverrsnittskapasiteter..... | 109 |
| 8.2.1 | Lokal knekking | 109 |
| 8.2.2 | Momentkapasiteten for typiske ståltverrsnitt | 112 |
| 8.2.3 | Tverrsnittsklasser..... | 115 |
| 8.2.4 | Generelt | 121 |
| 8.2.5 | Tverrsnittets momentkapasitet..... | 121 |
| 8.2.6 | Tverrsnittets skjærkraftkapasitet | 123 |
| 8.2.7 | Tverrsnittets aksialkraftkapasitet..... | 126 |
| 8.2.8 | Torsjon..... | 127 |
| 8.2.9 | Tverrsnittets kapasitet ved bøyning, skjær og aksialkraft | 127 |
| 8.3 | Knekking av trykkstaver..... | 133 |
| 8.3.1 | Instabilitet og kritisk last | 133 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 8.3.2 | Knekkingsstilfeller..... | 136 |
| 8.3.3 | Faktorer som påvirker knekkingslasten..... | 139 |
| 8.3.4 | Knekk lengder | 142 |
| 8.4 | Vipping..... | 150 |
| 8.4.1 | Vipping av bjelker..... | 150 |
| 8.4.2 | Faktorer som påvirker vipping | 150 |
| 8.4.3 | Forenklet beregning av fri vipping..... | 154 |
| 8.4.4 | Kritisk moment for fri vipping av enkle bjelker..... | 156 |
| 8.4.5 | Forenklede formler for fri vipping | 159 |
| 8.5 | Knekkning av momentbelastede trykkstaver..... | 168 |
| 8.5.1 | Knekkingsstilfeller..... | 168 |
| 8.5.2 | Faktorer som påvirker bæreevnen av bjelkesøyler..... | 170 |
| 8.5.3 | Interaksjonsformler | 172 |
| | Litteratur..... | 186 |
| | Internett..... | 186 |
| 9 | Dimensjonering av tynnveggede staver etter Eurokode 3 – Del 1-5 (NS-EN 1993-1-5)..... | 189 |
| 9.1 | Innledning..... | 189 |
| 9.2 | Effektivt tverrsnitt | 190 |
| 9.2.1 | Generelt..... | 190 |
| 9.2.2 | Effektivt tverrsnitt ved rent trykk..... | 195 |
| 9.2.3 | Effektivt tverrsnitt ved bøyning | 198 |
| 9.3 | Overkritisk bæreevne av bjelkesteg..... | 199 |
| 9.3.1 | Plateknekkning på grunn av skjærkraft..... | 199 |
| 9.3.2 | Plateknekkning ved konsentrert lastinnføring..... | 209 |
| 9.4 | Interaksjon mellom skjærkraft, bøyemoment og aksialkraft..... | 213 |
| 9.4.1 | Interaksjon mellom skjærkraft, bøyemoment og aksialkraft..... | 213 |
| 9.4.2 | Interaksjon mellom konsentrert last, bøyemoment og aksialkraft..... | 213 |
| | Litteratur..... | 216 |
| | Internett..... | 216 |
| 10 | Dimensjonering av knutepunkter etter Eurokode 3 – Del 1.8 (NS-EN 1993-1-8)..... | 219 |
| 10.1 | Innledning..... | 219 |
| 10.2 | Sveiste forbindelser | 222 |
| 10.2.1 | Buttsveis og kilsveis..... | 222 |
| 10.2.2 | Dimensjonerende kapasitet for kilsveiser..... | 223 |
| 10.3 | Skrueforbindelser | 236 |
| 10.3.1 | Generelt..... | 236 |
| 10.3.2 | Dimensjonerende skruerekapasiteter..... | 236 |
| 10.4 | Beregning av skruedeforbindelser..... | 241 |
| 10.4.1 | Beregning av skruerekrefter | 241 |
| 10.4.2 | T-forbindelser..... | 243 |
| 10.5 | Typiske knutepunkter i stålkonstruksjoner | 254 |
| 10.5.1 | Søylefot..... | 254 |
| 10.5.2 | Søyleskjøt | 257 |
| 10.5.3 | Bjelke-søyle-knutepunkt..... | 257 |
| 10.5.4 | Bjelkeskjøt..... | 261 |
| 10.5.5 | Bjelke-bjelke-knutepunkt | 262 |
| 10.5.6 | Fagverksknutepunkter..... | 262 |
| | Litteratur..... | 272 |
| | Internett..... | 272 |
| 11 | Brannteknisk dimensjonering etter Eurokode 3 - Del 1-2 (NS-EN 1993-1-2)..... | 275 |

Konstruksjoner av stål

| | | |
|--------|--|-----|
| 11.1 | Innledning..... | 275 |
| 11.2 | Generelt om brann | 277 |
| 11.2.1 | Brannforløp | 277 |
| 11.2.2 | Standard temperatur-tidkurve | 278 |
| 11.2.3 | Bygningsdelers brannmotstand | 278 |
| 11.2.4 | Påvisning av brannmotstand..... | 280 |
| 11.3 | Beregning av største ståltemperaturer ved brann..... | 281 |
| 11.3.1 | Generelle forutsetninger | 281 |
| 11.3.2 | Stålkonstruksjoner uten brannteknisk isolering..... | 282 |
| 11.3.3 | Staver med brannteknisk isolering | 284 |
| 11.3.4 | Temperaturvariasjoner..... | 286 |
| 11.4 | Konstruksjoners bæreevne under brann..... | 286 |
| 11.4.1 | Stålets materialeegenskaper ved høye temperaturer | 286 |
| 11.4.2 | Tverrsnittsklasser..... | 289 |
| 11.4.3 | Generell påvisning av tverrsnittkapasitet | 289 |
| 11.4.4 | Strekk..... | 290 |
| 11.4.5 | Trykk | 290 |
| 11.4.6 | Bøyning | 291 |
| 11.4.7 | Skjærkraft..... | 292 |
| 11.4.8 | Momentbelastet trykkstav | 292 |
| 11.5 | Brannteknisk isolering..... | 294 |
| 11.6 | Beregningseksempler..... | 297 |
| | Litteratur | 310 |
| | Internett..... | 310 |
| | Vedlegg: Bærende bygningsdelers brannmotstand: Preaksepterte ytelser | 310 |
| 12 | Korrosjonsbeskyttelse | 315 |
| 12.1 | Korrosjonsmiljø og korrosjonskategorier | 316 |
| 12.2 | Maling..... | 318 |
| 12.2.1 | Beskyttelsesmekanismer..... | 318 |
| 12.2.2 | Forbehandling..... | 318 |
| 12.2.3 | Påføring av maling | 319 |
| 12.2.4 | Malingtyper | 320 |
| 12.2.5 | Helse, miljø og sikkerhet..... | 321 |
| 12.3 | Forsinking..... | 321 |
| 12.3.1 | Varmforsinking | 321 |
| 12.3.2 | Metallisering..... | 323 |
| 10.3.3 | Maling på metallbelagte overflater | 323 |
| 12.4 | Konstruktiv korrosjonsbeskyttelse..... | 323 |
| 12.5 | Valg av korrosjonsbeskyttelse | 325 |
| | Litteratur | 325 |
| | Internett..... | 325 |
| 13 | Utførelse av stålkonstruksjoner | 327 |
| 13.1 | Innledning..... | 327 |
| 13.2 | Arbeidet i verkstedet..... | 328 |
| 13.2.1 | Materiallager | 329 |
| 13.2.2 | Oppdeling av plater og profilstål | 329 |
| 13.2.3 | Bearbeiding | 332 |
| 13.2.4 | Sammenføyning..... | 334 |
| 13.2.5 | Overflatebehandling | 336 |
| 13.2.6 | Toleranser..... | 336 |

| | | |
|------------|-----------------------------------|-----|
| 13.3 | Transport | 336 |
| 13.4 | Arbeidet på montasje plass | 337 |
| 13.4.1 | Montering av bæresystem | 339 |
| 13.4.2 | Midlertidig avstivning | 341 |
| 13.4.3 | Montasjesveising | 342 |
| 13.5 | Inspeksjon og prøving | 342 |
| 13.5.1 | Bestanddelar og komponenter | 342 |
| 13.5.2 | Verksted og byggeplass | 343 |
| Litteratur | | 347 |
| Internett | | 347 |
| Vedlegg A | | 348 |