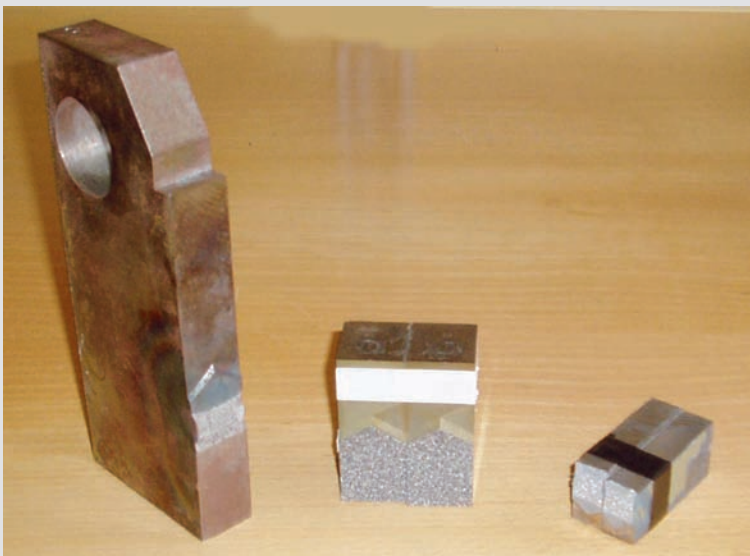


# Att konstruera med stål

Läromedel för konstruktörer



KTH Arkitektur  
och samhällsbyggnad



Modul 9

## Brottmekanik

Kjell Eriksson

---

Att konstruera med stål - Läromedel för konstruktörer omfattar:

- Modul 1 **Allmänna grunder**  
*Ove Lagerqvist, LTU*
- Modul 2 **Material och komponenter**  
*Anders Samuelsson, SSAB Oxelösund och Anders Olsson, Outokumpu Stainless*
- Modul 3 **Konceptuell utformning**  
*Bernt Johansson, LTU och Håkan Sundquist, KTH*
- Modul 4 **Bärverksanalys**  
*Bernt Johansson, LTU*
- Modul 5 **Tvårsnittsbärförmåga**  
*Bernt Johansson, LTU*
- Modul 6 **Stabilitet för stänger och balkar**  
*Torsten Höglund, KTH*
- Modul 7 **Kallformade profiler**  
*Torsten Höglund, KTH och Jan Strömberg, Plannja*
- Modul 8 **Utmattning**  
*Kjell Eriksson, LTU*
- Modul 9 **Brottmekanik**  
*Kjell Eriksson, LTU*
- Modul 10 **Förband**  
*Bert Norlin, KTH och Milan Veljković, LTU*
- Modul 11 **Bärförmåga vid brand**  
*Peter Karlström, SBI*
- Modul 12 **Tillverkning, montering och kontroll**  
*Björn Uppfeldt, SBI*

Materialet har tillkommit med bistånd från följande institutioner och företag:

**SSAB Tunnbrät AB**

[www.ssabtunnbrat.com](http://www.ssabtunnbrat.com)

**SSAB Oxelösund AB**

[www.oxelosund.ssab.se](http://www.oxelosund.ssab.se)

**Outokumpu Stainless AB**

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)

**Plannja AB**

[www.plannja.se](http://www.plannja.se)

**Banverket**

[www.banverket.se](http://www.banverket.se)

**Skanska Sverige AB**

[www.skanska.se](http://www.skanska.se)

**SBUF-Svenska Byggbranschens  
Utvecklingsfond**

[www.sbuf.se](http://www.sbuf.se)

**KTH-Kungliga Tekniska Högskolan**

[www.kth.se](http://www.kth.se)

**LTU-Luleå tekniska universitet**

[www.ltu.se](http://www.ltu.se)

**SBI-Stålbyggnadsinstitutet**

[www.sbi.se](http://www.sbi.se)

**Björn Wahlströms Fond**

---

## Förord

I *Att konstruera med stål* har svenska forskare och experter samlats för att ta fram ett läromedel som med sina tolv fristående moduler täcker det mesta en stålkonstruktör kan råka ut för i sin vardag. *Att konstruera med stål* är tänkt för teknologer som studerar på en nivå motsvarande de avslutande årskurserna av en svensk civilingenjörsutbildning, men kan i sin helhet eller i delar även användas för kortare, koncentrerade kurser riktade mot redan yrkesverksamma konstruktörer och beräkningsingenjörer.

I teknikhistorien kommer sprött brott i konstruktionsstål och dess behandling under nittonhundratalet att få en central plats. Omfattande haverier i broar och fartyg kulminerade strax före sekelmitt och den följande utvecklingen av motåtgärder ägde rum inom två närliggande discipliner, den ena materialteknisk och den andra inom mekaniken.

Inom materialtekniken undersöktes villkoren för sprödbrott i samtida konstruktionsmaterial och grunden lades för dagens moderna höghållfasta stål med god och tillfredsställande seghet. Materialtekniken tog väsentligen sikte på kontroll av stålets mikrostruktur, främst kornstorlek, samt utveckling av legeringsteknik och termomekanisk behandling. Med grund i de traditionella kolstålen utgjorde de tätade kolmanganstålen ett första steg i utvecklingen av de moderna konstruktionsstålen och i dag är finkornstål, mikrolegerade stål och utskiljningshårdade mikrolegerade stål viktiga milstolpar.

Denna utvecklingslinje kan emellertid inte drivas hur långt som helst utan när småningom mättnad. I grova drag kan med dagens teknik stålets hållfasthet ökas mer än segheten. Ju högre hållfasthet desto lägre blir segheten, relativt sett, och absolut sett blir ett mycket höghållfast stål lika sprött som de varifrån utvecklingen utgick. För att kunna framställa stål med ytterligare förhöjd hållfasthet och med seghet i paritet med hållfastheten, måste man antingen finna en ny teknik eller göra en väsentlig upptäckt inom den befintliga.

Inom den mekanistiska inriktningen identifierades de faktorer som är avgörande för brott och deras inverkan var för sig och i samverkan klarades. Samtidigt utvecklades och verifierades mekaniska modeller för dimensionering. Denna del av mekaniken kallas i dag brottmekanik där en gren, mycket kortfattat, behandlar inverkan av sprickor på konstruktioners lastbärande förmåga. Det finns i dag ett antal väl beprövade brottmekaniska dimensioneringsmetoder och vissa är normerade i Eurokod 3.

Avsnittet Brott är en fenomenologisk genomgång på en relativt elementär nivå av brottmekanikens grunder och några av de för närvarande mest använda dimensioneringsmetoderna. En målsättning har varit att ge läsaren en överblick av dagens metoder och deras ursprung och även en inkörsport för vidare studier i ämnet. Som alltid kommer nya och mer effektiva dimensioneringsmetoder att utvecklas från vissa av dagens metoder medan andra faller i glömska. Vad man i dag med stor säkerhet ändå vågar förutsäga är att morgondagens brottvillkor kommer att vila på energibalans analogt med Griffiths formulering redan 1921.

Sprödbrotten minskade starkt i omfattning redan för ett halvt sekel sedan men enstaka fall uppträder än i dag i äldre konstruktioner. Men det spröda brottet är likt en farsot som inte kan utrotas. Det kan dock hållas på betryggande avstånd om tillräcklig kunskap om fenomenet och dess förutsättningar vidmakthålls och tillämpas. Sänker man garden slår sprödbrottet tillbaka direkt och obönhörligt. Det är därför av stor vikt att tidigare generationers, ofta bittra erfarenheter inte får falla i glömska. Avsnittet Brott har också ambitionen att vara en minneslapp om sprödbrottets risker.

Luleå i september 2005

Kjell Eriksson

---

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Dragprovning</b> .....	<b>3</b>
2.1	Dragprovkurvan .....	3
2.2	Dragprovdata.....	4
2.3	Påkänning.....	5
2.4	Inverkan av temperatur.....	5
<b>3</b>	<b>Slagprovning</b> .....	<b>7</b>
3.1	Historik.....	7
3.2	Provning.....	7
3.3	Slagprovdata .....	8
3.4	Kvalitetsklasser .....	8
<b>4</b>	<b>Brottmekanik</b> .....	<b>11</b>
4.1	<b>Linjär brottmekanik</b> .....	<b>11</b>
4.1.1	Griffiths brottvillkor .....	11
4.1.2	Deformationsmodus.....	12
4.1.3	Spänningar vid en sprickspets.....	13
4.1.4	Spänningsintensitetsfaktor.....	14
4.1.5	Styrd last och styrd förskjutning.....	14
4.1.6	Brottvillkor .....	14
4.1.7	Brottmekanisk dimensionering.....	15
4.1.8	Exempel spänningsintensitetsfaktorer .....	15
4.1.9	Plastisk zon vid sprickspetsen .....	16
4.1.10	Villkor för linjär brottmekanik.....	17
4.1.11	Appendix: Spänningsintensitetsfaktorer.....	18
4.2	<b>Brottmekanisk provning</b> .....	<b>20</b>
4.2.1	Provstavar .....	20
4.2.2	Bestämning av brottseghet.....	20
4.2.3	Korrektion för plastisk deformation .....	21
4.2.4	Inverkan av godstjocklek .....	22
4.2.5	Framtidsutsikter .....	22
4.3	<b>Icke linjär brottmekanik</b> .....	<b>23</b>
4.3.1	Dugdale-modellen .....	23
4.3.2	CTOD-kriterium för spricktillväxt .....	24
4.3.3	CTOD design curve .....	25
4.3.4	R6-metoden.....	26
<b>5</b>	<b>J-integralen</b> .....	<b>29</b>
5.1	Bakgrund .....	29
5.2	Sprickutbredningskraft och brottvillkor.....	30
5.3	Bestämning av brottseghet.....	31
5.4	J och CTOD.....	34
5.5	Stabil spricktillväxt .....	34
<b>6</b>	<b>Spricktillväxt vid utmattning</b> .....	<b>35</b>
6.1	Inledning .....	35

---

6.2	Spricktillväxtparametrar.....	36
6.3	Tillväxtlagar och dimensionering.....	38
6.4	Sprickslutning.....	38
6.5	Integration av tillväxtlagen .....	38
6.6	Spektrumbelastning .....	39
6.7	Korta sprickor .....	40
6.8	Mikrostruktur och spricktillväxt .....	41
6.9	Spricktillväxt och miljö.....	41
6.10	Spänningskorrosion.....	42
<b>7</b>	<b>Brott i konstruktionsstål .....</b>	<b>43</b>
7.1	Inledning.....	43
7.2	Svetsförband.....	44
7.3	Brottmekanismer .....	44
7.3.1	Segt brott .....	45
7.3.2	Sprött brott .....	46
7.4	Från sprött till segt brott.....	46
<b>8</b>	<b>Svensk och Europeisk standard .....</b>	<b>49</b>
8.1	Inledning.....	49
8.2	Val av stål med hänsyn till brottseghet .....	49
8.3	Standardförfarande .....	49
8.4	Särskilt förfarande.....	52
<b>9</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>53</b>
9.1	Standard för provningsmetoder och dimensionering.....	53
9.2	Handböcker.....	53
9.3	Artiklar .....	53
9.4	Litteratur.....	54
<b>10</b>	<b>Exempel: Brott och utmattning .....</b>	<b>55</b>