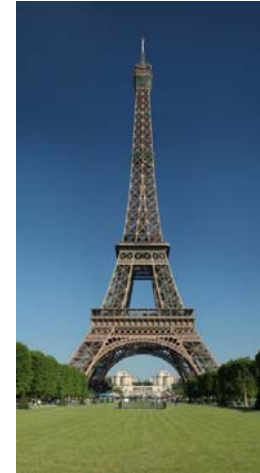


K1

Allmänt Höghållfast stål

Exempel på lätta konstruktioner

- **Eiffel-tornet:**
 - 7 300 ton utgörs av metallkonstruktionen, som består av ungefär 12 000 stålbalkar, som är sammanfogade med 2,5 miljoner nitar.
 - 324 m högt
 - 100x100 m i botten
 - Stålet som använts motsvarar en kub med sidan ca: 10 m
- **Flygplan**
 - Kompositmaterial används för att få ned vikten
- **Fåglars skelett**



Lätta konstruktioner

- **Låg densitet hos materialet**
 - Aluminium istf stål
- **Hög hållfasthet ⇒ mindre material**
 - Höghållfast stål istf enklare stål
- **Smart konstruktion ⇒ bättre utnyttjande av materialet**
 - Utformning av tvärsnitt
 - Införing av laster
 - Utformning av förband
 - mm

Fördomar om material

- **Höghållfast stål**
 - Går ej att svetsa, bocka o dyl.
 - Bucklar som låghållfast stål
 - Dyrt
- **Aluminium**
 - Rostar ej
 - Dyrt

Stål eller aluminium?

- Superstålet tar över i bilarna (Ny Teknik)



- I projektet Ulsab, Ultra Light Steel Auto Body, har stålindustrin sedan början av 2000-talet drivit på utvecklingen av lättare stålkarosser med stor andel höghållfast stål.
- <http://www.nyteknik.se/nyheter/automation/verkstadsautomation/article3127785.ece>

- Jaguar XJ byggd nästan helt i aluminium



Materialval

- **Materialets vikt**
 - kg/m³ (densitet)
- **Pris på materialet**
 - Kr/kg eller kr/m³ eller kr/MPa?

Jämförelse av egenskaper. Merittal

	<i>Stål (standard)</i>	<i>Stål (höghållf)</i>	<i>Al</i>	<i>Merittal Std stål</i>	<i>Merittal HS</i>	<i>Merittal Al</i>
<i>Pris (kr/kg)</i>	5	7,5	20	1	0,7	0,25

SSAB tunnplåtprodukter

- **DOMEX** varmvalsad bandplåt (1,8-16 mm)
 - finns i hållfasthetsklasser från 220 till 700 MPa.
 - kombinerar hög hållfasthet med god formbarhet
 - används bland annat vid:
 - tillverkning av fartyg, broar, byggnader, maskinkonstruktioner, olika typer av fordon, lyftanordningar, tankar och behållare.
- **DOCOL**: kallvalsad tunnplåt (0,4-3 mm)
 - täcker hela sortimentet från mjuka stål för pressning och bockning till höghållfasta och ultrahöghållfasta stål
- **DOGAL**: varmförzinkad tunnplåt
 - finns i versioner över ett brett spektrum av egenskaper, från extra mjuka material för bearbetning, ända till extremt höghållfasta material
- **PRELAQ**: färgbelagd tunnplåt
 - finns i ett stort antal kombinationer av stålmaterial, metallbeläggningar och färgskikt

Stålfamiljer

- **HSLA = High strength low alloyed steels**
- **REFOS = Rephosphorized steels.**
Fosforlegerade höghållfasta stål med bra djuppressnings egenskaper.
- **DP = Dual Phase steels**
Höghållfasta stål med en mikrostruktur som innehåller:
 - ferrit, som är mjuk och bidrar till god formbarhet, och
 - martensit, som är hårt och bidrar till styrkan hos materialet.
- **Borstål**
 - Avsedda för härdning

Indelning efter hållfasthet

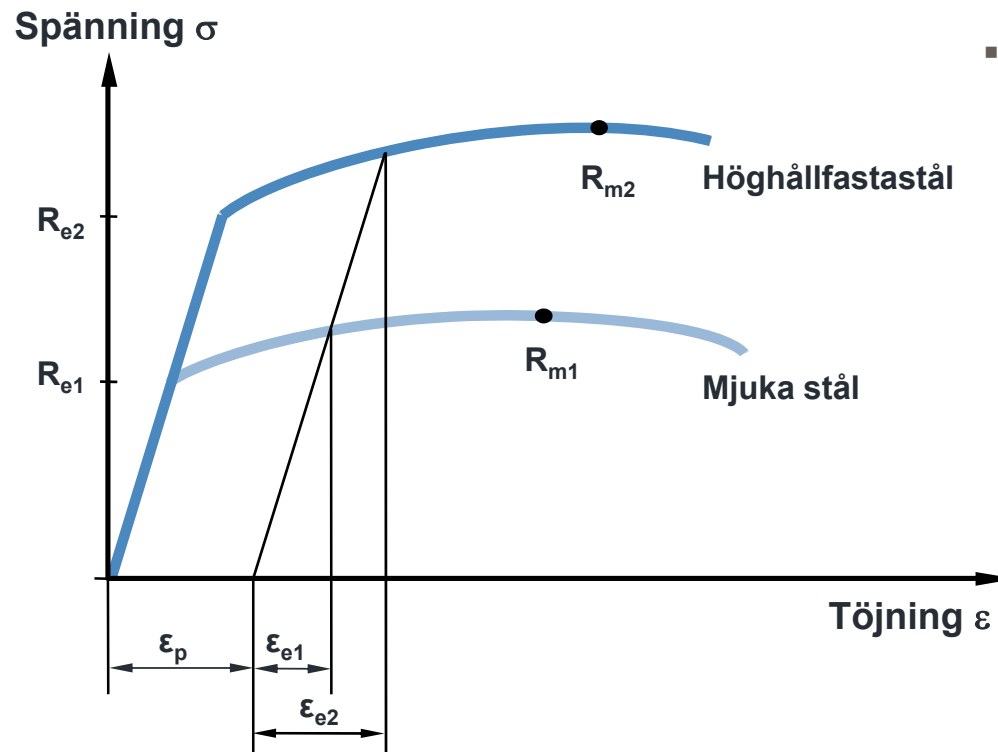
- Mjuka = Mild Steel (MS)
- Höghållfasta = High Strength Steel (HS)
- Extra höghållfasta = Extra High Strength Steel (EHS)
- Ultra höghållfasta = Ultra High Strength Steel (UHS)

	Mjukt stål	Höghållfast stål	Extra höghållfast stål	Ultra höghållfast stål
	MS	HS	EHS	UHS
Varmvalsade stål				
Domex R_e (MPa)		310	450	750
Kallvalsade och metallbelagda stål				
Docol, Dogal R_e (MPa)		450	550	

Stålets fysikaliska egenskaper

- De fysikaliska egenskaperna för såväl mjuka som höghållfasta stål är:
 - Densitet:
 - $\rho = 7,85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - längdutvidgningskoefficient:
 - $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ (0}^\circ \text{ C)}$
 - $\alpha = 14 \times 10^{-6} \text{ (200}^\circ \text{ C)}$
 - $\alpha = 16 \times 10^{-6} \text{ (400}^\circ \text{ C)}$
 - Elasticitetsmodul:
 - $E = 210 \text{ GPa (20}^\circ \text{ C)}$
 - $E = 200 \text{ GPa (200}^\circ \text{ C)}$
 - $E = 180 \text{ GPa (400}^\circ \text{ C)}$
 - Skjuvmodul:
 - $G = 81 \times 10^3 \text{ MPa}$
 - Tvärkontraktionstal:
 - $\nu = 0,3$

Pålastning/avlastning MS - HS



- Pålastning till samma plastiska deformation
- Avlastning
 - Olika återfjädring

Praktikfall

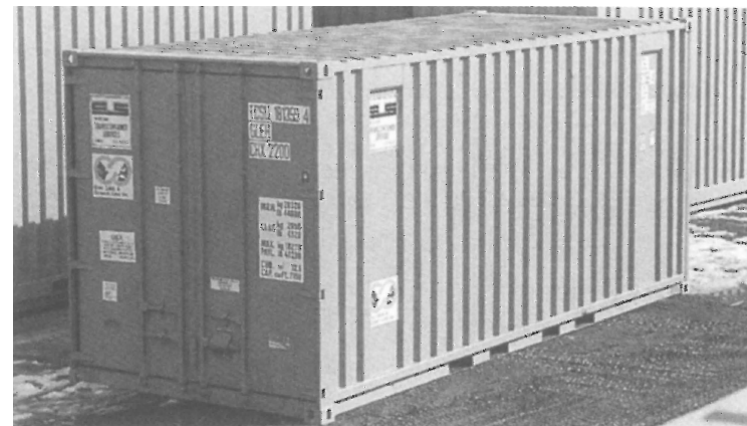
▪ Sopbil

- Tidigare använt material:
 - C01/S235JR
- Nytt material:
 - DOCOL 350 YP/DOMEX 590 XP
- Viktminskning:
 - 20% (1000 kg)



▪ Container

- Tidigare använt material:
 - S235JR
- Nytt material:
 - DOMEX 355 YP/490 XP
- Viktminskning:
 - 20% (500 kg)
- Materialkostnadsminskning:
 - 10%



Dimensioneringsfilosofi

▪ Relativ dimensionering

- Utgå från tidigare konstruktion.
- Ändra godsdimensioner relativt sträckgränserna.
- (Lämpligt för att snabbt kolla ev. möjligheter till viktminskning)

+ Enkelt, snabbt

- Ger inte optimal konstruktion (ev. överdimensionering kvarstår)

▪ Absolut dimensionering

- Räkna om hela konstruktionen

+ Vi kan få en optimal konstruktion

- Tar längre tid

- Osäkra uppgifter om laster (vanligt) försvårar

$$t_{HS} = t_{MS} \sqrt{\frac{R_{e,MS}}{R_{e,HS}}}$$

där

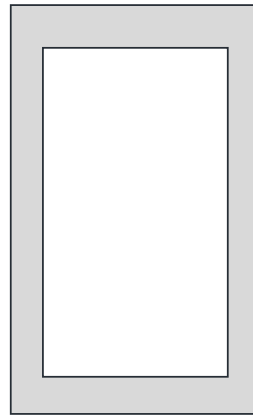
t_{HS} – plåttjocklek höghållfast stål

t_{MS} – plåttjocklek i konventionellt stål

$R_{e,HS}$ – sträckgräns höghållfast stål

$R_{e,MS}$ – sträckgräns konventionellt stål

Rel. dim.: Byte till höghållfast stål i balk



$$R_{e,MS} = 260 \text{ MPa}$$
$$t_{MS} = 10 \text{ mm}$$



$$R_{e,HS} = 700 \text{ MPa}$$
$$t_{HS} = ?$$

Beräkning

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{HS} = t_{MS} \cdot \sqrt{\frac{R_{eMS}}{R_{eHS}}} \\ t_{MS} = 10 \text{ mm} \\ R_{e,MS} = 260 \text{ MPa} \\ R_{e,HS} = 700 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} t_{HS} = 10 \cdot \sqrt{260/700} \\ t_{HS} = 6 \text{ mm} \end{array}$$

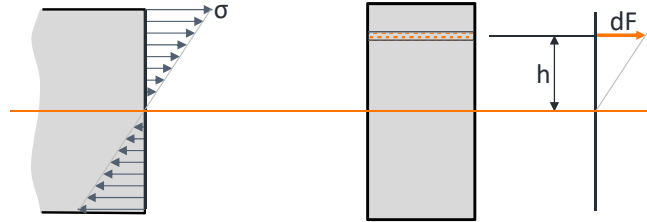
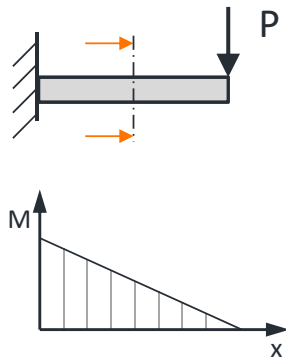
Viktreduktion ~ 39 %

Med bibehållen bärförmåga !

Noggrannare beräkning:

⇒ *Kontrollera buckling, utmattning och deformationer !*

Utformn. av konstruktion: konstant tvärsnitt

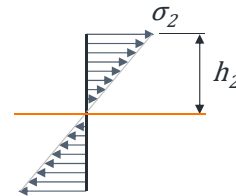
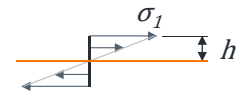
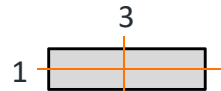


$$dF = \sigma \cdot dA$$

$$dM_b = dF \cdot h$$

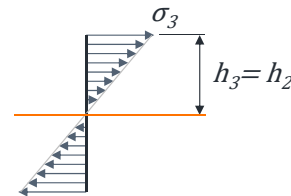
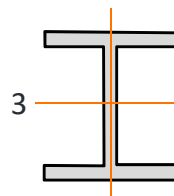
$$M_b = \Sigma(\sigma \cdot dA \cdot h)$$

Hur stort moment kan vi lägga på innan vi uppnår sträckgränsen?
($A_1 = A_2 = A_3$)



$$\sigma_2 = \sigma_1$$

men: $h_2 > h_1$

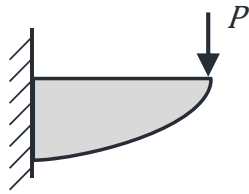


$$\sigma_3 = \sigma_1$$

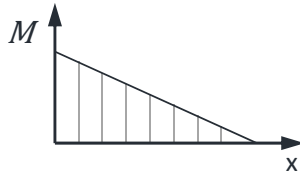
$$h_3 = h_2$$

men: arean utflyttad

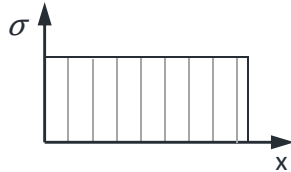
Utformn. av konstr.: varierande tvärsnitt



$$W = W(x)$$



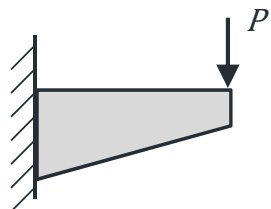
$$M = M(x)$$



$$\sigma = \frac{M(x)}{W(x)}$$

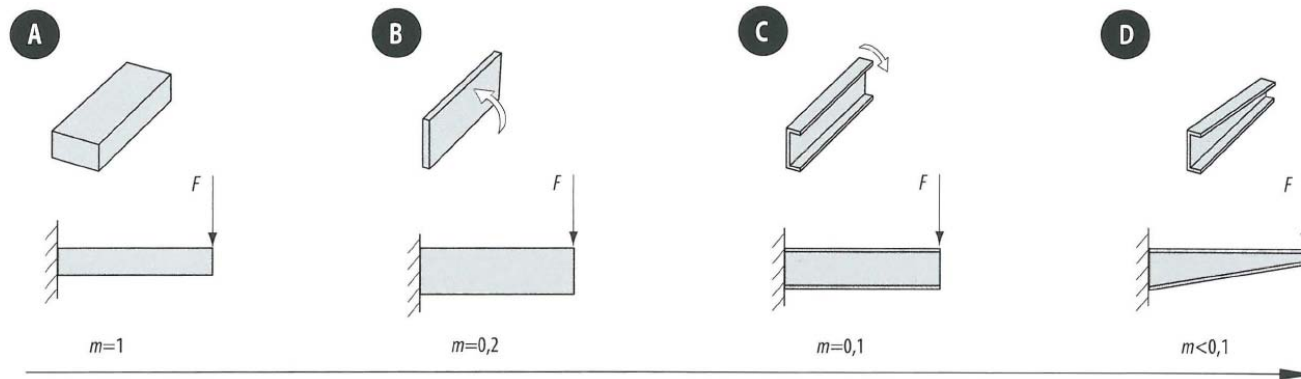
Alltså: med rätt utformning kan vi utnyttja materialet max i hela balken

Optimalt är parabelform $\Rightarrow \sigma$ konstant efter hela balkens längd



Vanligare (billigare) utformning

Viktminskning genom optimering av balkprofil.

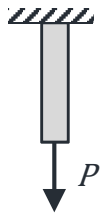


Jämförelse mjukt stål – höghållfast stål

Mjukt stål (MS): $R_{eL} \approx 200$ MPA

Höghållfast stål (HS): $R_e \approx 600$ MPA

Ren dragning



$$P = 10 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \Rightarrow \quad A_{erf} = \frac{P}{R_e}$$

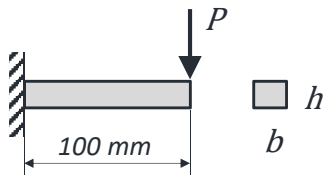
$$\Rightarrow \text{MS: } A_{erf} = 50 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{HS: } A_{erf} = \frac{50}{3} = 17 \text{ mm}^2$$

Vi får viktbesparing: 67 %

Jämförelse mjukt stål – höghållfast stål

Böjning



$$P = 10 \text{ kN} \quad b = 31 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{F \cdot L \cdot 6}{b \cdot h^2} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{F \cdot L \cdot 6}{b \cdot R_e}}$$

$$\Rightarrow \text{MS: } h \approx 31 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{HS: } h \approx 18 \text{ mm} \quad (h_{HS} = 0,58 \cdot h_{MS})$$

Viktbesparing: 42 %

Kontroll av nedböjning



$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} \Rightarrow \delta = \frac{4 \cdot P \cdot L^3}{E \cdot b \cdot h^3}$$

$$\delta_{MS} = \frac{4 \cdot P \cdot L^3}{E \cdot b \cdot h_{MS}^3} = 0,21 \text{ mm}$$

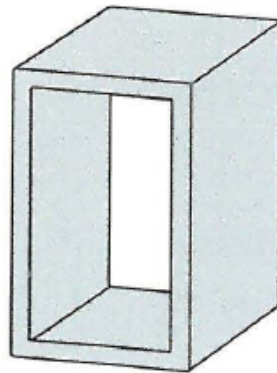
E-modulen är samma för HS och MS

$$\delta_{HS} = \delta_{MS} \cdot \frac{1}{(0,58 \cdot h_{MS})^3} \Rightarrow \delta_{HS} = \delta_{MS} \cdot 5,12 = 1,07 \text{ mm}$$

Alltså: Vi får en vekare konstruktion

Konstruera för ökad styvhet

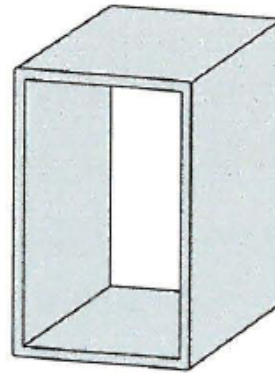
MS



10 x 60 x 100

Vikt: 1
Styvhet: 1
Deformation: 1

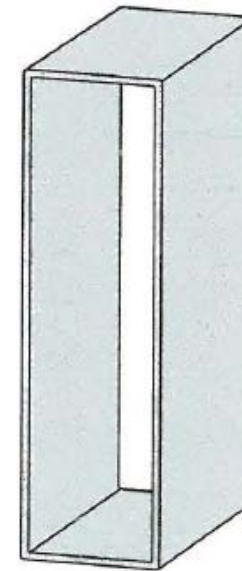
HS



6 x 60 x 100

Vikt: 0,61
Styvhet: 0,67
Deformation: 1,49

HS

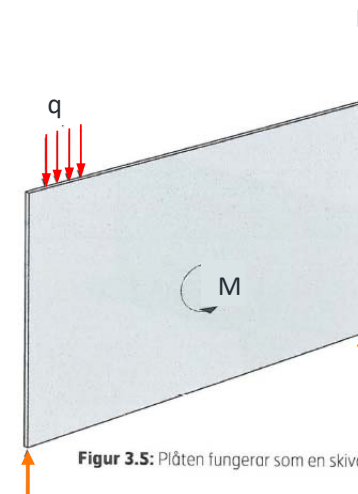


5 x 40 x 140

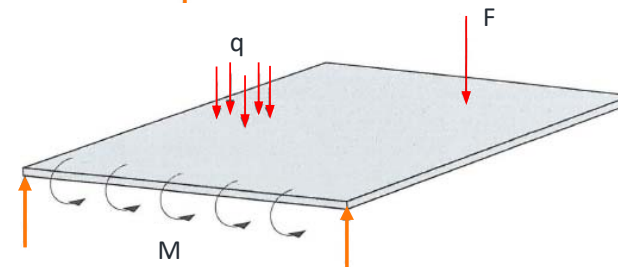
Vikt: 0,61
Styvhet: 1,11
Deformation: 0,90

Lastinföring

- **Effektivaste materialutnyttjande får man vid drag / tryck**
 - konstant spänning i tvärsnittet \Rightarrow hela tvärsnittet belastas/utnyttjas lika
- **Skivverkan**
 - laster förs in så att drag / tryck används
 - bör eftersträvas
- **Platt-verkan**
 - laster förs in så att böjning används
 - bör undvikas

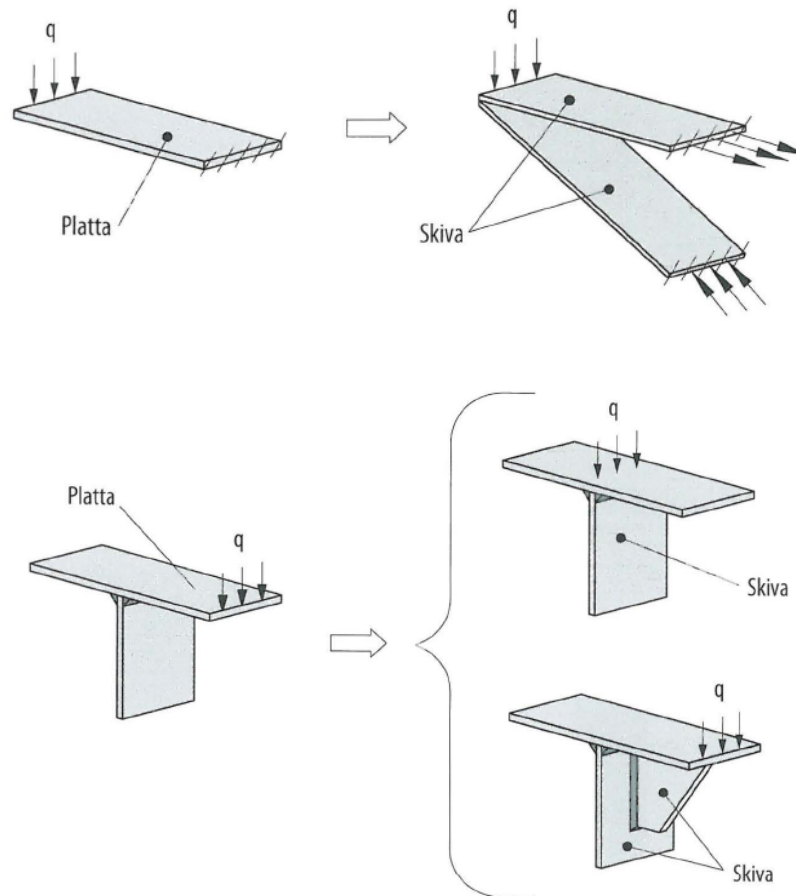


Figur 3.5: Plåten fungerar som en skiva.

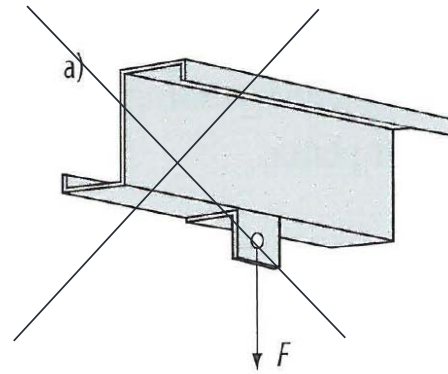


Figur 3.4: Plåten fungerar som en platta.

Försök åstadkomma skivverkan

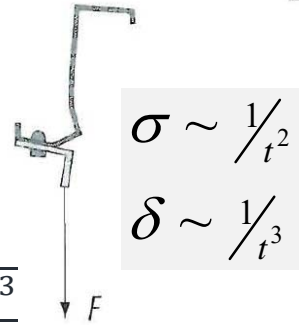


Exempel plattverkan/skivverkan

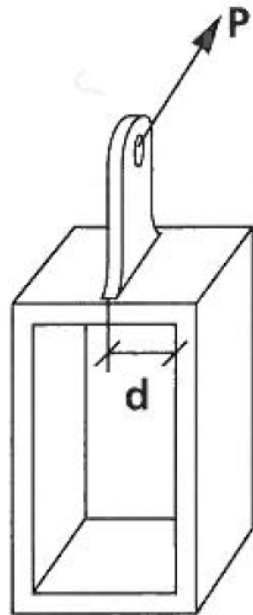


$$\sigma = \frac{F_b \cdot L}{\frac{b \cdot t^2}{6}}$$

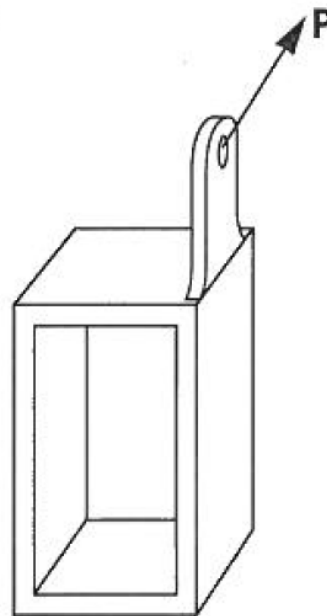
$$\delta = \frac{F \cdot L}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{F \cdot L}{3 \cdot E \cdot \frac{b \cdot t^3}{12}}$$



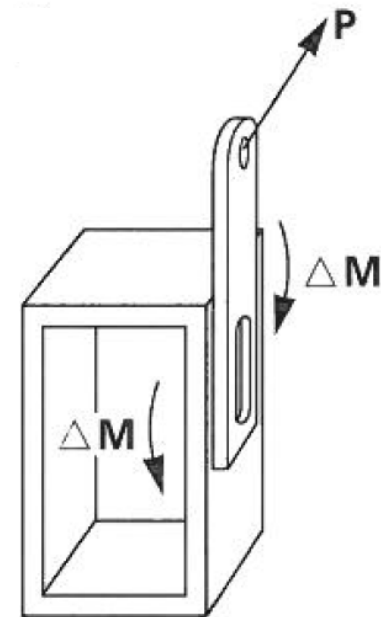
Exempel plattverkan/skivverkan



Plattverkan



Skivverkan
utnyttjas bra



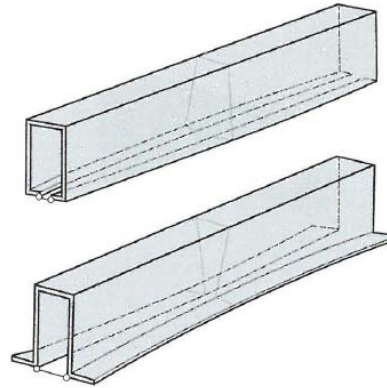
lämpligast om
balken är
utmattningsbelastad

Skivor och Plattor

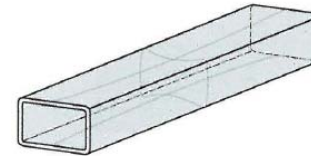


Problem vid tunt gods

- Formändring av tvärsnitt

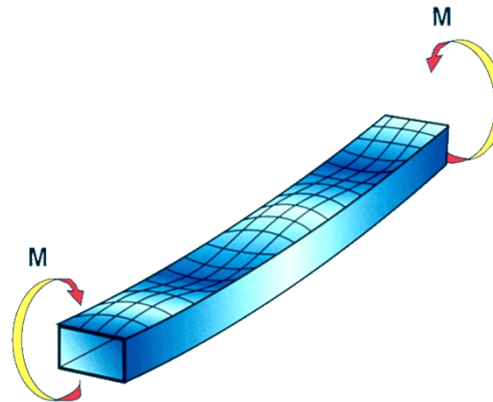


Tvärsnittsförändring pga tvärkraft.



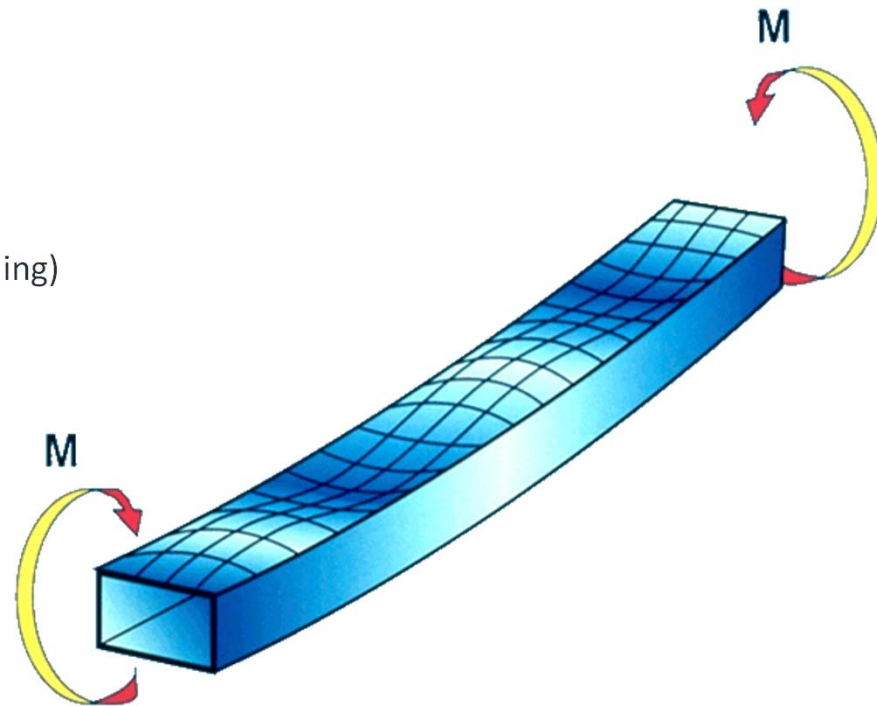
Skålning vid böjning av tvärsnitt.

- Lokal buckling



Buckling / knäckning

- **Knäckning/buckling**
 - Inträffar för tunna/slanka konstruktioner
 - Inträffar endast där det finns tryckspänning
 - Är exempel på instabilitet
 - Kan ge haveri vid låga laster
 - (I engelska används uttrycken buckling/local buckling)
- **Knäckning (buckling)**
 - Vid tryckbelastad stång:
($L \gg b$ och/eller t)
- **Buckling (local buckling)**
 - Vid tryckbelastad plåt
($L \gg t$ och $b \gg t$)
 - inspänd i åtminstone en kant.
- http://youtu.be/OnrY4zA3_PA



Buckling

Avgörande för om vi får buckling är: *Slankhet* $\beta = b/t$



Plåttjocklek t

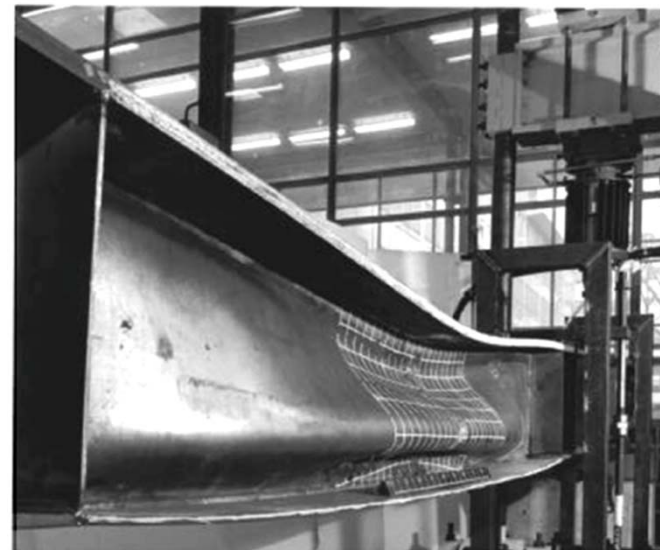
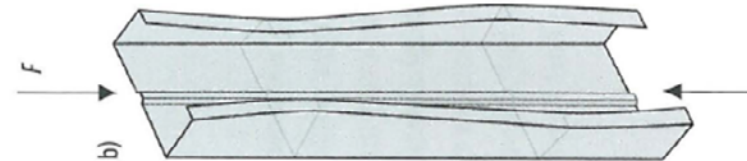
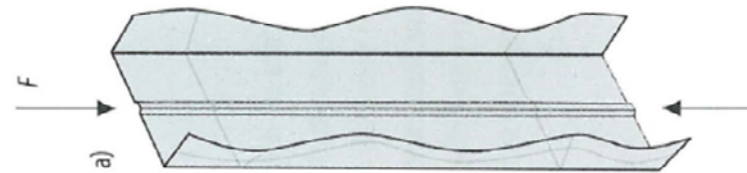


Figure 2. Vertical web buckling.

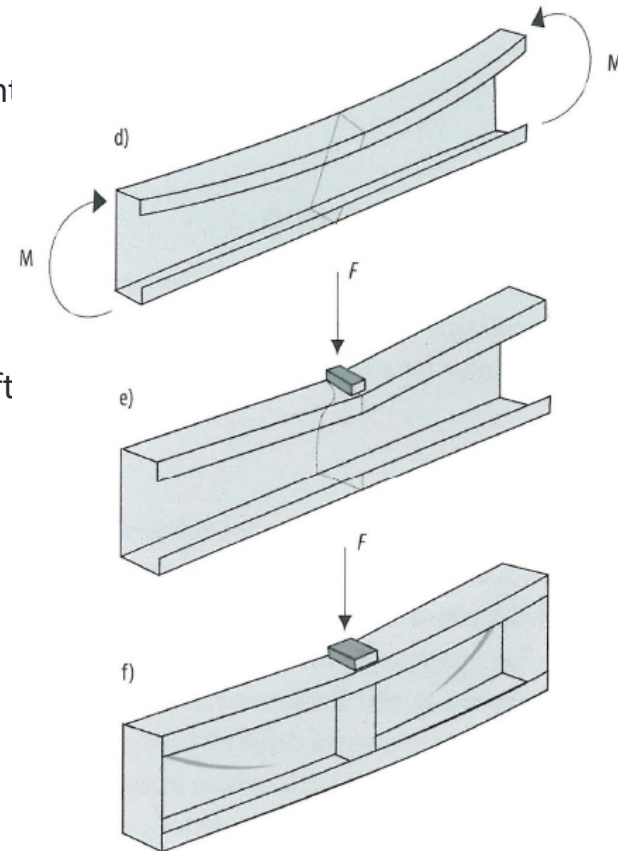
Instabilitetsfenomen - normalkraft

- Lokal buckling
 - Tryckta slanka plana plåtar
- Distortionsknäckning
 - Tryckta avstyvade plåtar
- Böjknäckning
 - Långsmala tryckta konstruktioner



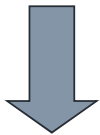
Instabilitetsfenomen - böjning

- Vippning
 - Momentbelastande höga öppna tvärsnitt 4.3.5 Böjande moment
- Lokal intryckning
 - Lokallastinföring i slanka liv 4.3.7 Lastinföringar och upplagskraft
- Skjuvbuckling
 - Tvärkraftsbelastade höga slanka balkliv 4.3.6 Tvärkraft

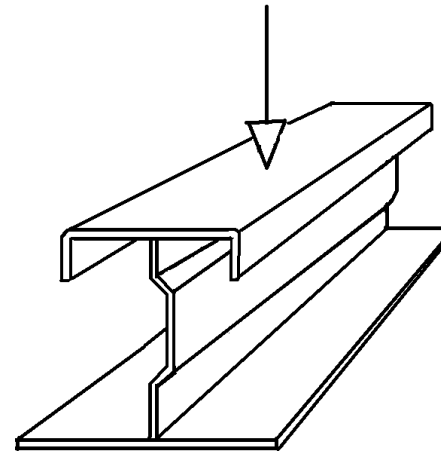


Att motverka buckling

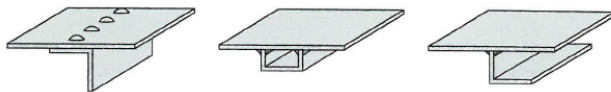
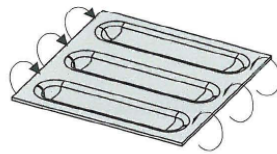
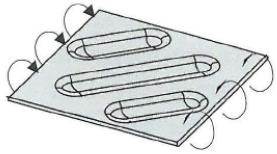
- Gör avstyvningar
 - kantveck
 - rillor
 - livavstyvningar



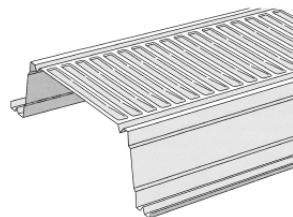
- **Ökat materialutnyttjande**
- **Ökad bärförmåga**
- **Ökad styvhet**



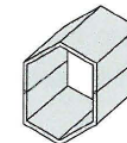
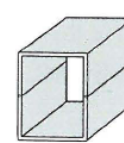
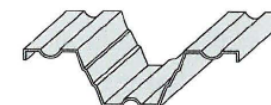
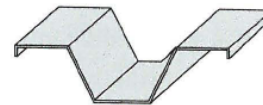
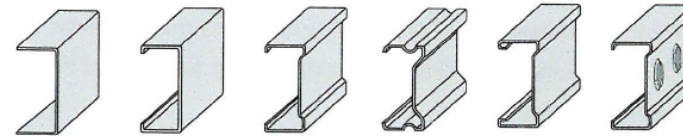
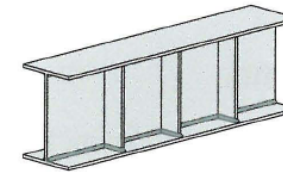
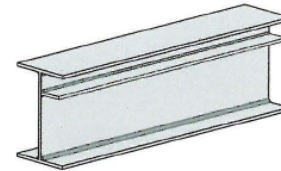
Exempel på avstyvningar



För krafter vinkelrätt mot plåtens plan.

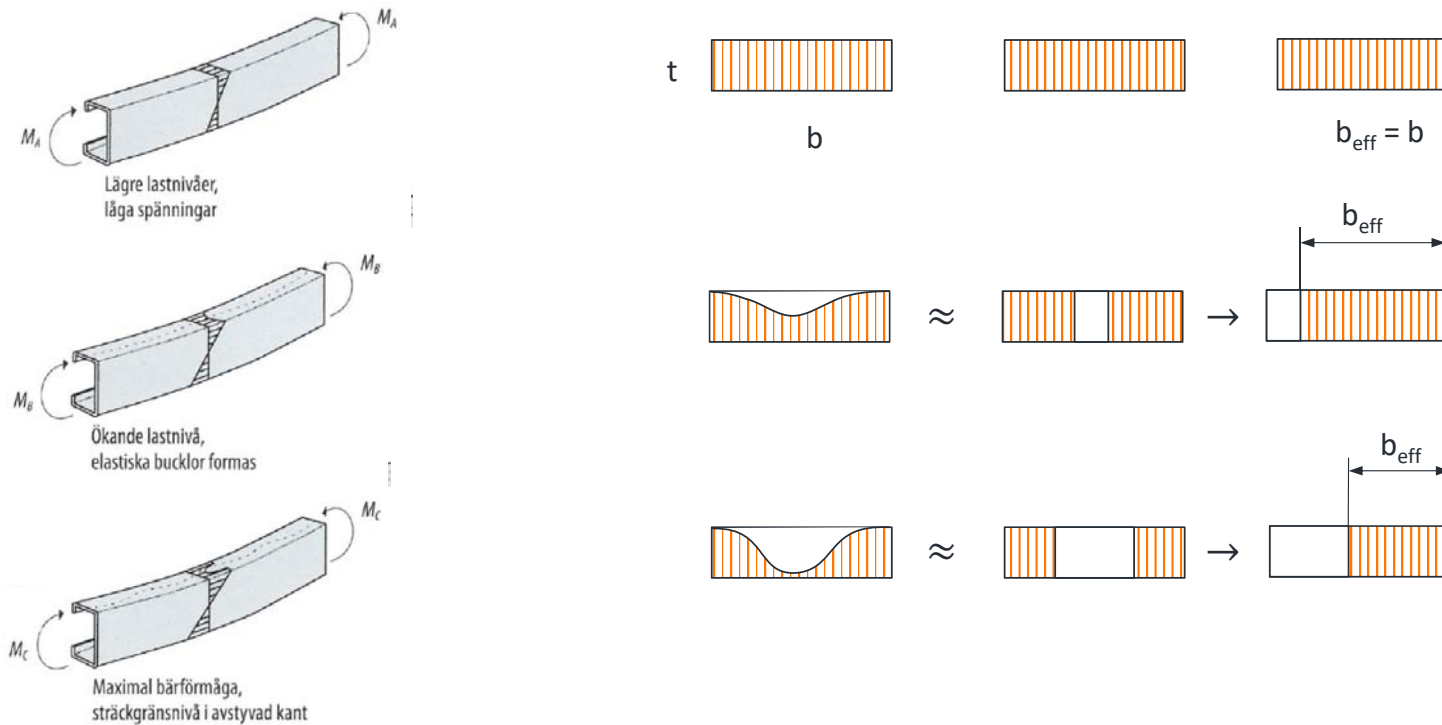


Ex. Bjälklagsbalk - kombinerad belastning.




För tryckkraft i plåtens plan.

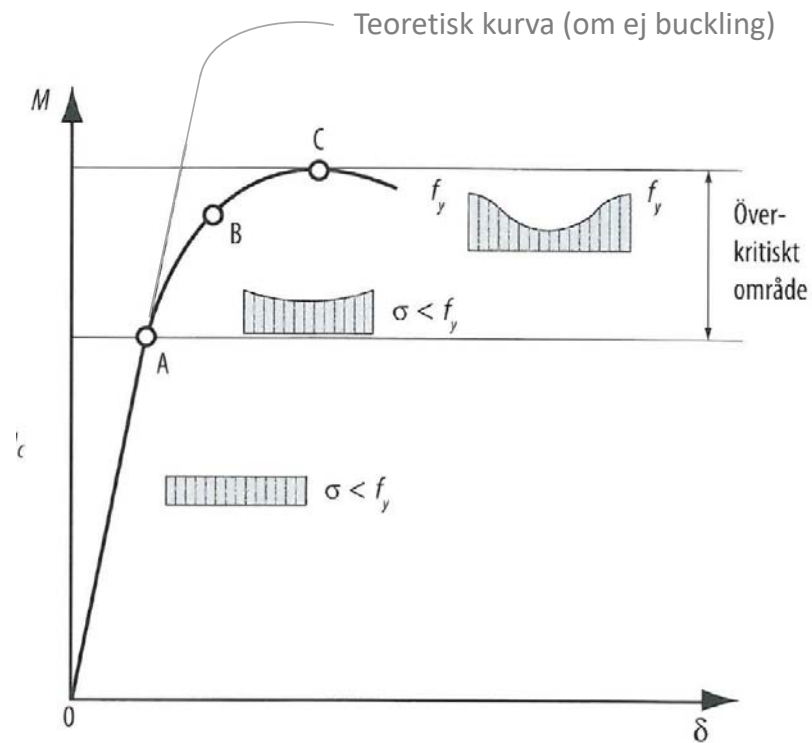
Hur påverkas bärförmågan vid buckling?



Figur 4.7: Spänningfördelning i slant tvärsnitt vid ökande lastnivå. $M_A < M_B < M_C$

 Betecknar bärande yta (effektivt tvärsnitt)

Kan man tillåta buckling?



Figur 4.8: Spänningsfördelning för tryckt slank fläns vid ökande momentbelastning, enligt figur 4.7.

Dimensionering mht buckling

- **Kontrollera om vi behöver ta hänsyn till buckling**
 - *Om inte*: använd vanliga beräkningar
 - *Om*: beräkna effektivt tvärsnittet
- **Kontroll görs genom att dela upp tvärsnitt i enkla delar (plåtfält) och sedan kontrollera del för del.**
- **Två typer av fält finns**
 - Plåt upplagd längs båda kanterna
 - Plåt med en fri kant
- **Kontrollera tvärsnittsklass**
 - Tv1 och Tv2: Instabilitet uppstår ej.(Tv1 "olyckslast")
 - Tv3: Buckling uppstår först i det plastiska området. Hänsyn till buckling behöver alltså inte ske vid normal dimensionering. (Elastisk knäckning kan dock inträffa)
 - Tv4: Buckling sker i det elastiska området.
- **I delar utsatta för buckling reduceras arean m.h.a. effektiv bredd**

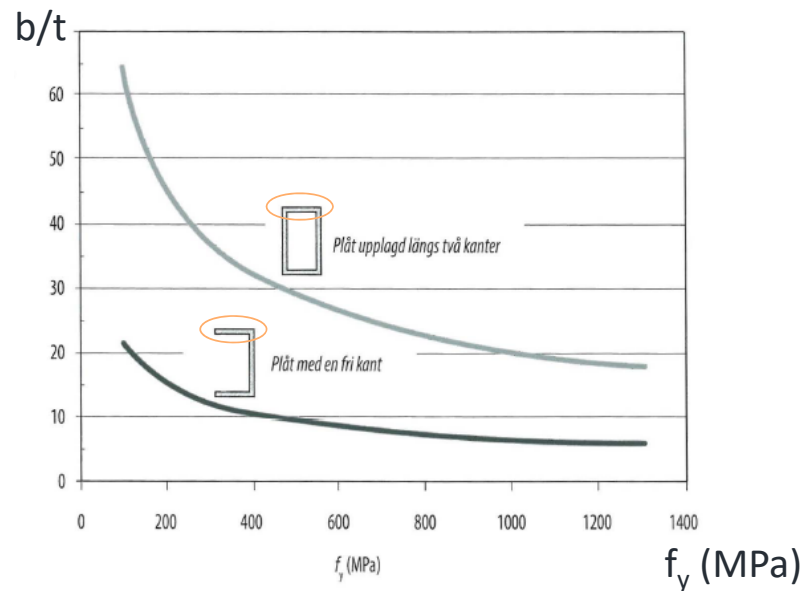
Buckling i plastiskt område: crash-box

- Crash-box används i fronten på bilar för att ta upp krockkrafter
- Här utnyttjar man tvärsnitt i tvärsnittsklass 3
- <https://www.youtube.com/watch?v=TIGLesYueUc>



När får vi buckling? 1

- En kombination av:
 - Slanka profiler (plåtfält)
 - Dvs bredd/tjocklek är stort
 - Stor elastisk deformation
 - Ju högre sträckgräns dess större elastisk deformation kan vi uppnå



Figur 4.10 a: Maximalt värde på b/t för plan plåt belastad med jämnt tryck avse-
ende lokal buckling.

Ovanför kurvorna får vi
dimensionera mha buckling

Under kurvorna behövs inte
detta

När får vi buckling? 2

- **Instabilitetsfenomen är alltid lite osäkra i sitt uppträdande**
 - Buckling mm. är svårt att teoretiskt noggrant beräkna
- **Dimensioneringsberäkningar baseras därför både på:**
 - Teori
 - Praktiska test

Ny gällande standard inom EU

2011-01-01: Eurocode



Tidslinje för skapandet av Eurokoderna

- 1957: Romfördragen signeras.
- 1971: Direktivet om offentligupphandling utfärdas.
- 1975: Eurokoderna påbörjas som resultatet av ett kommissionsbeslut att inleda ett program inom konstruktion baserat på Artikel 95 i romfördraget. Målet med arbetet var att eliminera tekniska hinder i handel och att harmonisera tekniska specifikationer genom tekniska regler, i ett första steg för att vara ett alternativ till nationella regler, för att till sist helt ersätta dem.
- 1980: Genomförs en internationell förfrågan om konstruktionsregler.
- 1984: De första Eurokoderna publiceras av kommissionen med hjälp av en styrkommitté bestående av representanter från medlemsstaterna.
- 1989: Byggproduktsdirektivet utfärdades. Direktivet definierar de grundläggande krav byggprodukter måste uppfylla.
1990. ENV Eurokoderna (en förstANDARD till Eurokoderna) påbörjades till följd av ett mandat utfärdat av kommissionen och medlemsstaterna 1989 baserat på en överrenskommelse med Europeiska standardiseringskommittén, godkänd av kommittén för konstruktion. Förberedandet och publicerandet av Eurokoderna överfördes till Europeiska standardiseringskommittén. Eurokoderna var tänkta att bli europeisk standard.
- 1992: Publikationen av ENV Eurokoderna påbörjas av Europeiska standardiseringskommittén. På grund av problem med att harmonisera alla aspekter av kalkyleringsmetoderna inkluderade ENV Eurokoderna nationella parametrar som gjorde det möjligt för medlemsstaterna att välja värden för användning på deras territorium. Nationella applikationsdokument, som gav detaljerna för hur ENV Eurokoderna skulle användas i medlemstaterna utgavs generellt med ett lands ENV Eurokoder.
- 1998: Omvandlingen från ENV (förstandard) till EN (europeisk standard) initierades med mandat från kommissionen.
- 2003: Kommissionens rekommendation om genomförandet och användningen av Eurokoder utfärdas. EN Eurokoderna är den rekommenderade uppsättning av standarder för utformning av produkter och konstruktioner som uppfyller de grundläggande kraven på bärförmåga och stabilitet, samt säkerhet i händelse av brand. Medlemsstaterna uppmuntras att anta de rekommenderade värdena för nationellt valbara parametrar och att bidra till att främja ytterligare harmonisering och utveckling av EN Eurokoderna.
- 2004: Direktivet om byggtreprenader, varor och Offentlig upphandling av tjänster utfärdas.
- 2006: Publicerandet av EN Eurokoderna avslutas. Genomförande program går in i samexistensperioden där EN Eurokoderna används parallellt med nationella standarder som har samma tillämpningsområde.
- 2010: Fullständigt genomförande av EN Eurokoderna som europeisk standard planeras för 2010 med återkallande av motstridiga nationella standarder.
- <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=12>

Eurocode

- **Eurocode**
 - EU-standard för byggnadskonstruktion
 - Byggindustrin hårt styrd av säkerhet ⇒ noggrant framtagna beräkningar
 - Kan alltså utnyttjas även i maskinbranchen
- **Eurocode uppdelad i tio delar:**
 - Eurocode 0: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
 - Eurocode 1: Laster på bärverk
 - Eurocode 2: Betongkonstruktioner
 - *Eurocode 3: Stålkonstruktioner*
 - Eurocode 4: Samverkanskonstruktioner i stål och betong
 - Eurocode 5: Träkonstruktioner
 - Eurocode 6: Murverkskonstruktioner
 - Eurocode 7: Geokonstruktioner
 - Eurocode 8: Dimensionering av konstruktioner med hänsyn till jordbävningsslaster
 - *Eurocode 9: Aluminiumkonstruktioner*

Absolut dimensionering

- Vi använder beräkningsgång enl. Eurocode 3 för absolut dimensionering (av stålkonstruktioner)
- Genom att använda Eurocode har vi väl utprovade och noggranna metoder för beräkning.
- Vi kan därigenom utnyttja materialet maximalt

Dimensioneringsmetoder

▪ Metod med tillåtna påkänningar

- Påkänning:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{eller } \tau = \frac{F}{A}, \sigma_b = \frac{M_b}{W_b}, \text{ m.fl.})$$

- Tillåten påkänning:

$$\sigma_{till} = \frac{R_{eL}}{n_s} \quad (\text{eller } \tau_{till} = \frac{\tau_s}{n_s}, \text{ m.fl.})$$

- Villkor:

$$\sigma_{till} \geq \sigma \quad (\text{m.fl.})$$

▪ Metod med last- och styrkefaktorer (partialkoefficienter)

- Lasteffekt:

$$E_d$$

- Bärförmåga:

$$R_d$$

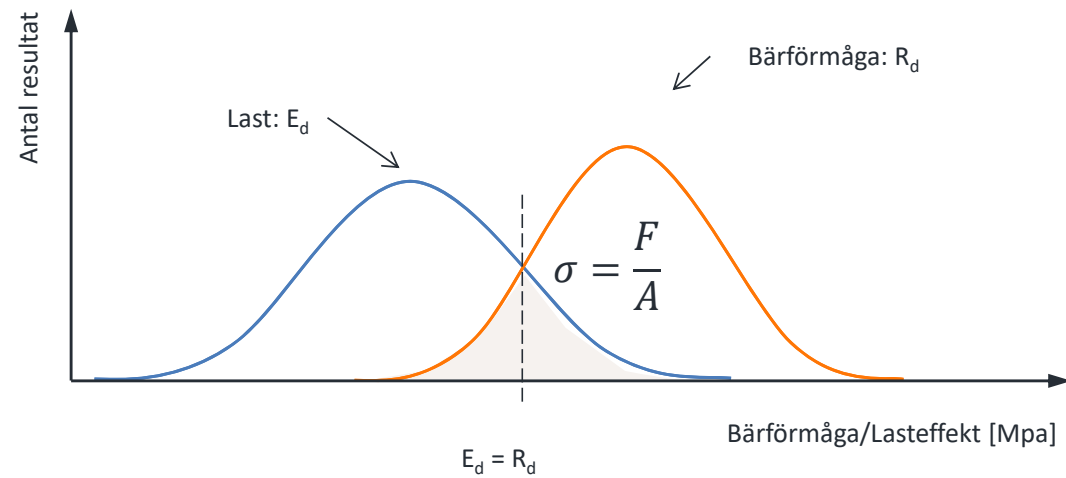
- Villkor:

$$R_d \geq E_d$$

(OBS! I boken används S istf E på vissa ställen.
Det skall vara E)

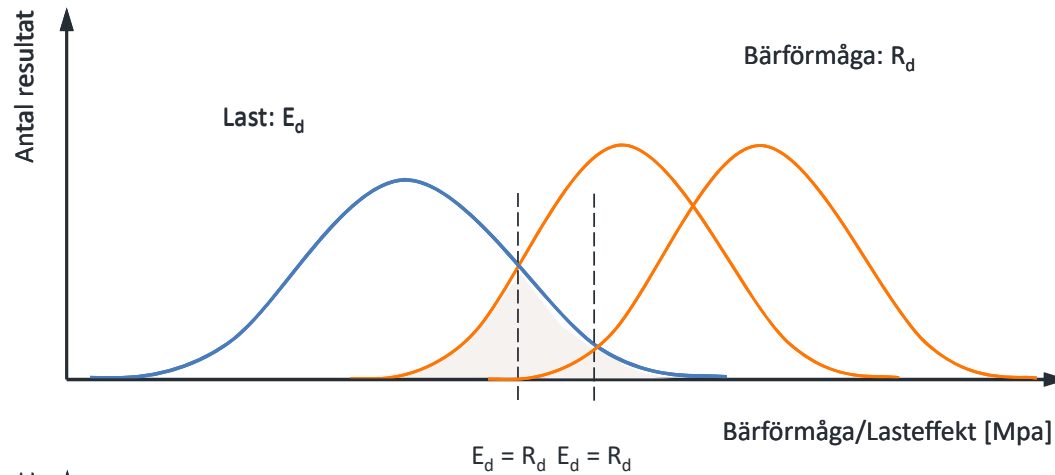
- Säkerhetsfaktorn är ersatt av ett antal faktorer

Last-/bärförmåga

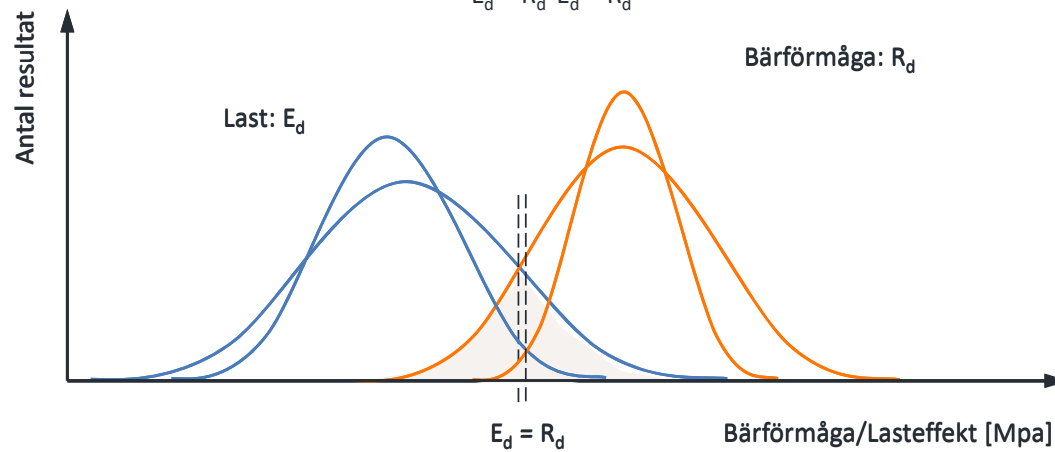


Ökad säkerhet

1. ökade dimensioner (höjd bärförmåga)



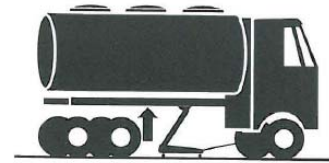
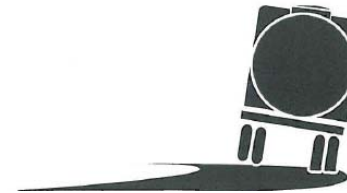
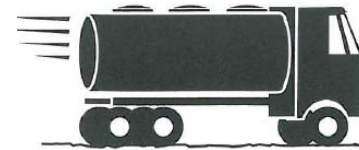
2. Noggrannare beräkningar (bärförmåga samt last oförändrad)



Olika laster en konstruktion utsätts för

- En konstruktion utsätts för olika laster under sin livslängd

- Utmattningslast - lägre spänningsnivåer med många upprepningar
- Elastiskt beteende - begränsning i deformationers storlek
- Elastiskt beteende - inga krav på deformationers storlek
- Maximal bärförmåga - höga spänningsnivåer vid extrem last.



Statisk/dynamisk last

- Tumregel:
 - Antal belastningscykler $> 1000 \Rightarrow$ last anses utmattande
- Antal lastväxlingar < 1000 räkna statistiskt (kap 4)
- Antal lastväxlingar > 1000 räkna dynamiskt (kap 5)

Dimensionering enl. Eurocode

$$R_d \geq E_d$$

Dimensionerande \geq Dimensionerande
Bärförmåga Lasteffekt

- $R_d = R_k \cdot$ faktorer
- $R_k =$ karakteristisk bärförmåga
 - Givet av sträckgräns, brottgräns, utmattningsgräns, max deformation el. Dyl
- $E_d = E_k \cdot$ faktorer
- $E_k =$ karakteristiska värdet på lasten
 - Maxlast, märklast el dyl. (normalt)
 - Medelvärde av last (enl. Vissa normer)

Beteckningar och faktorer

- E står för *Effekt* dvs inverkan av last
- R står för *Resistans* dvs bärförmåga
- d står för dimensioneringsvärde
 - Ed och Rd är generella beteckningar och används som index i beräkningar. Ex:
 - Pålagt moment betecknas M_{Ed}
 - En kombinerad last kan få beteckningen E_{Ed}
 - Bärförmåga map moment M_{Rd}
- I Plåthandboken används inte R_d direkt (bara som index)
 - f_{yd} alt f_{ud} används i stället
 - f_y = sträckgräns (för stål används R_{eH} alt. $R_{p0,2}$) [$y = yield$]
 - f_u = brottgräns (R_m) [$u = ultimate$]
- k står för *karaktéristisk värde* dvs värde utan korrigering med faktorer
- I Plåthandboken används inte R_k
 - f_{yk} alt f_u används i stället