

Artikelserie om produktutveckling – Del 14

# Dimensionering efter hållfasthet av olika slag

Rätt dimensionering med hänsyn till hållfasthet som kan vara av många olika slag, kräver att materialet utnyttjas på ett så effektivt sätt som möjligt med hänsyn till de huvud- och bivillkor som gäller för konstruktionen.

Detta tar Björn Arén upp i det 14:e avsnittet i artikelserien om produktutveckling.

**PRODUKTER MÅSTE** vara hållfasta i sin funktionsmiljö, som kan vara mekanisk, kemisk, elektrisk etc. Samtidigt skall de kunna framställas till rimligt pris och återvinnas då de är slut.

Av produkter med mekanisk funktion krävs t.ex:

- statisk formstabilitet och hållfasthet
- tålighet mot slag, utmattning med mera.

Krav på hållfasthet, seghet etc. styr valet av material, dimension, form och vilka framställningsmetoder som kan användas. Ofta dimensioneras produkten efter styvhet, sträck- eller brottgräns, eller vad som annars är viktigast.

Det normala vid dimensionering efter krav på formstabilitet och hållfasthet gäller styvhet, sträck- eller brottgräns. Vi arbetar då enligt olika mekaniska dimensioneringskriterier, be-

Av Björn Arén  
universitetslektor  
i produktutveckling  
vid Örebro Universitet  
bjorn.aren@oru.se  
aren@tele2.se



roende på vad som i första hand skall optimeras.

Om böjhållfasthet eller styvhet skall optimeras, så är formen viktig. Vid böjning i en riktning, så får man en god styvhet av en balk med stor höjd och liten bredd. I princip kunde man ställa en plåt på högkant för att få maximal styvhet, men som vi vet, måste även risken för buckling beaktas. Det begränsar den form som kan användas.

Man bör jämföra material och halvfabrikat efter de krav som gäller; t. ex:

- böjstyvhet/vikt
- vridstyvhet/kostnad
- böjhållfasthet/utrymme, etc.

Låt oss i bild 122 betrakta ett fall då en balk som är upplagd på två stöd böjs elastiskt av en pålagd punktlast F. I det här fallet så gäller för balkens maximala utböjning  $\Delta$  (som uppstår mitt under den centralt placerade lasten F) att:

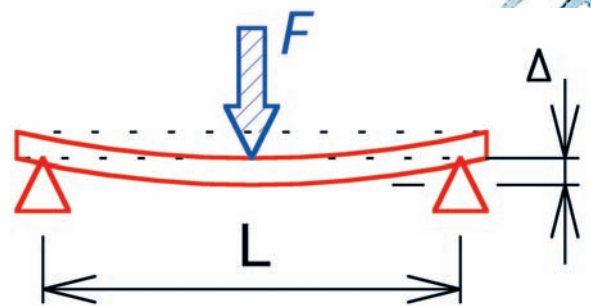
$$\Delta = F \cdot L^3 / (48 \cdot E \cdot I), \text{ där } (1)$$


Bild 122. En balk som belastas med kraften F trycks med sträckan  $\Delta$ , enligt formeln nedan.

F = lastens storlek,  
L = balkens längd mellan stöden,  
E = balkmaterialets styvhet (E-modulen)  
och

I = en faktor (yttröghetsmomentet) som bestäms av balkens tvärsnittsgeometri.

Vi skall sedan se hur utformningen av balkens tvärsnitt påverkar dess nedböjning, eller rättare sagt, dess styvhet.

För faktorn I (yttröghetsmomentet) i formeln för balkens nedböjning, så gäller det för



Foto: SAPA

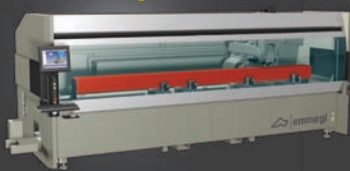


Emmegi, ett internationellt kännetecken för tillverkning av bearbetningssystem för Aluminium, PVC och lättmetaller, har under 2 decennier verkat på den internationella marknaden. Konstant utveckling, högsta kvalitet, framtidsriktande logistiska lösningar. Dessa är de starka sidorna bakom Emmegi's produktpalette. Med dessa möjligheter följer Emmegi sina kunder genom alla faser i valet av bearbetningssystem, maskininstallation och igångkörning tack vare effektiv, lättillgänglig teknisk service och utbildningar.

Emmegi: teknologi utan gränser

Emmegi Scandinavia AB  
Mellåggargatan 3, Box 123  
575 21 Eksjö, SWEDEN  
Tel. +46 381 143 80  
Fax. +46 381 61 12 76  
emmegi.scandinavia@emmegi.com  
www.emmegi.com

CNC Bearbetningscentras



Kapmaskiner



Logistik



PVC maskiner





Bild 125. Exempel på extruderad aluminiumprofil.

en balk som har ett konstant rektangulärt tvärsnitt med bredden  $b$  och höjden  $h$  längs hela balkens längd att

$$I = b \cdot h^3 / 12 \quad (2)$$

För en balk med rektangulärt tvärsnitt, där höjden är lika stor som bredden ( $h = b$ ), så kommer dess  $I$ -värde att bli  $b^4/12$ . Det så framräknade värdet på faktorn  $I$  kan man sedan sätta in i formeln (1) ovan, då balkens maximala nedböjning  $\Delta$  skall bestämmas.

Väljer man att utforma balken med en större höjd och samtidigt en mindre bredd, så kan balken – med bibehållen tyngd – få en betydligt större styvhet i vertikal riktning; bild 123.

Enbalk enligt bild 123b har således 16 gånger så hög styvhet i vertikal riktning i förhållande till dess styvhet i horisontalriktningen.

Genom att utforma balken med ett mera komplicerat tvärsnitt, så kan ytterligare styvhet vinnas,

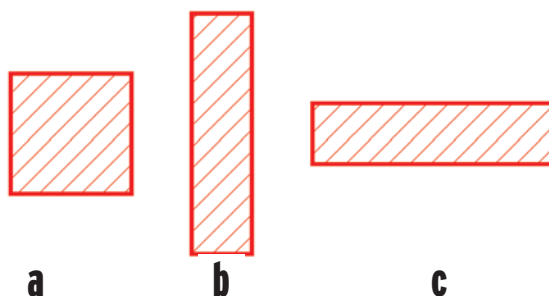


Bild 123. En balk med kvadratisk tvärsnitt enligt a har samma styvhet i vertikal och horisontell riktning, medan balken b har 4 gånger högre styvhet i vertikal riktning, medan dess styvhet i horisontell riktning sjunker till 1/4 av det som gäller för tvärsnitt a. På motsvarande sätt minskar den vertikala styvheten hos en balk enligt c, till  $\Delta$  av det som gäller för balk a, medan dess styvhet horisontellt ökar med en faktor 4. Notera att dessa balkar har samma tvärsnittsytta och därmed samma vikt per längdenhet.

utan att balken behöver bli tyngre. I bild 124 jämförs den ursprungliga balken (kvadratisk) med några mer komplicerade tvärsnittssektioner. Styvheten för balktvärsnitten i bilderna 123 och 124 visas i tabellen i nästa spalt.

Man kan i litteraturen hitta fler exempel på utformningar för att ge konstruktioner styvhet i olika riktningar, men de kan vara svåra att

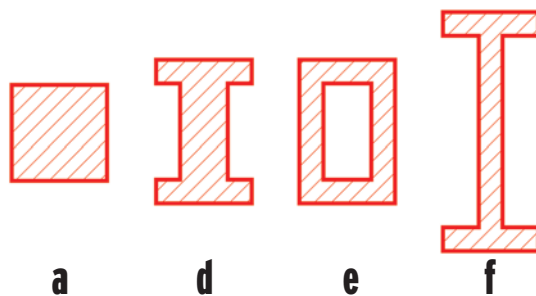


Bild 124. Om en balk med kvadratisk tvärsnitt ersätts av en balk med ett annat tvärsnitt, så kan stora vinster göras ifråga om balkens styvhet.

Balk	Styvhet vertikalt	Styvhet horisontellt	Vertikalt/horisontellt
a	1,0000	1,0000	1,0000
b	4,0000	0,2500	16,0000
c	0,2500	4,0000	0,0625
d	2,8750	0,6250	4,6000
e	2,8750	1,3750	2,0909
f	9,6250	0,5313	18,1176

Tabellen: relativ styvhet vid böjning i vertikal resp. horisontell riktning för olika balkprofiler med samma tvärsnittsarea (= samma vikt/längdenhet).

följa i praktiken om det finns bivillkor ifråga om tillverkning, infästning med mera.

Att få styva konstruktioner av profilerade balkar tillämpas sedan länge då man bygger stålkonstruktioner. Genom alltmer avancerade produktionsanläggningar, så finns också allt mer sofistikerade profiler att köpa på marknaden.

Mest kända är profiler av valsat och/eller kalldraget stål respektive extruderade aluminiumprofiler. Särskilt med hjälp av aluminiumprofiler, så kan mycket intrikata profiler åstadkommas; bild 125 (se mittuppslaget s. 34-35).

På motsvarande sätt som vid böjning av balkar, så kan man se att vridstyvheten för en rörformig axel blir väsentligt högre jämfört med en massiv axel med samma tyngd. Som exempel kan en kardanaxel för en tung lastbil ha en ytterdiameter  $D$  på 110 mm, medan axelns håldiameter kan vara  $d = 90$  mm, vilket ger samma vridstyvhet åt axeln som en motsvarande massiv kardanaxel med ytterdiametern  $D = 94,8$  mm.

För en typisk kardanaxel med 3,5 meters längd betyder det en viktbesparing på 107 kg, vilket man istället kan utnyttja för att öka bilens betalande last (bild 126, se sid 38).

I praktiken kan man emellertid inte ha hur

Forts. på sid 34

## Limmer och tejp – två av våra verkligt starka sidor.

- **Araldite** – epoxy-, polyuretan- och akrylatlim för stål, metaller och plast
- **Dymax** – ljushärdande lim och lacker för plaster, glas och metall
- **Permabond** – anaeroba lås- och tätningsvätskor samt snabblim för de flesta applikationer
- **PPI tejp** – det perfekta alternativet till limning.

Välkända produkter från teknikledande leverantörer!

Marknadens mest kompletta leverantör!

www.galindberg.se

*Ingenjöröfver*  
**G A LINDBERG**  
**ChemTech AB**  
Tel 08-703 02 00 • Fax 08-703 02 48

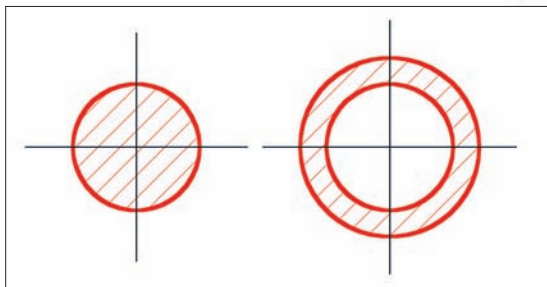


Bild 126. Tvärsnitt för en massiv axel respektive hålaxel med samma vikt per längdenhet. Den ihåliga axeln ger i det här fallet tre gånger högre vridstyvhet.

Forts. från sid 33

tunt material som helst i den rörformiga axeln eftersom risken för instabilitet genom buckling också måste beaktas.

Skall produkten tåla slagbelastning, så måste den också kunna ta upp slagenergi. Bild 127 visar hur energin i en fallande vikt tas upp av ett fjädrande underlag.

Det här sättet att analysera slagbelastningar genom att beräkna hur energin i en fallande kropp drabbar nedslagsytan hittar man inte så ofta i svenska läroböcker. Just därför kan den också vara värd att ta till sig.

Vid slag- eller pulserande last bör man undvika spänningskoncentrationer och olämpliga inre spänningar. I kroppar med komplicerad form är det då viktigt att ha goda kälradier och areaövergångar. Skall produkten tåla pulserande last, så bör materialet också vara fritt från defekter.

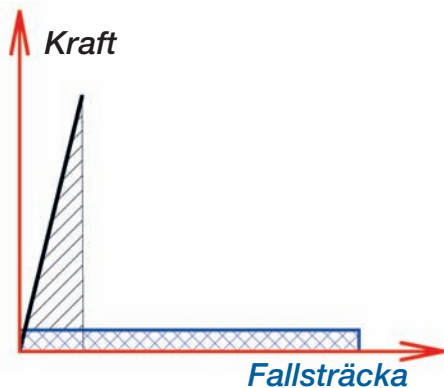


Bild 127. En tyngd som faller från en höjd över sin nedslagsplats kommer att ge stora stötkrafter emot underlaget då nedslaget sker. Den tillförda energin är föremålets tyngd  $x$  fallsträckan (yta med blå sektionering), medan det fjädrande underlaget skall ta upp samma energimängd som ett elastiskt fjädringsarbete (trekantig yta med svart sektionering). Särskilt om underlaget har en stor fjäderkonstant (lutningen hos den svarta linjen), så kan mycket höga maxkrafter uppstå.

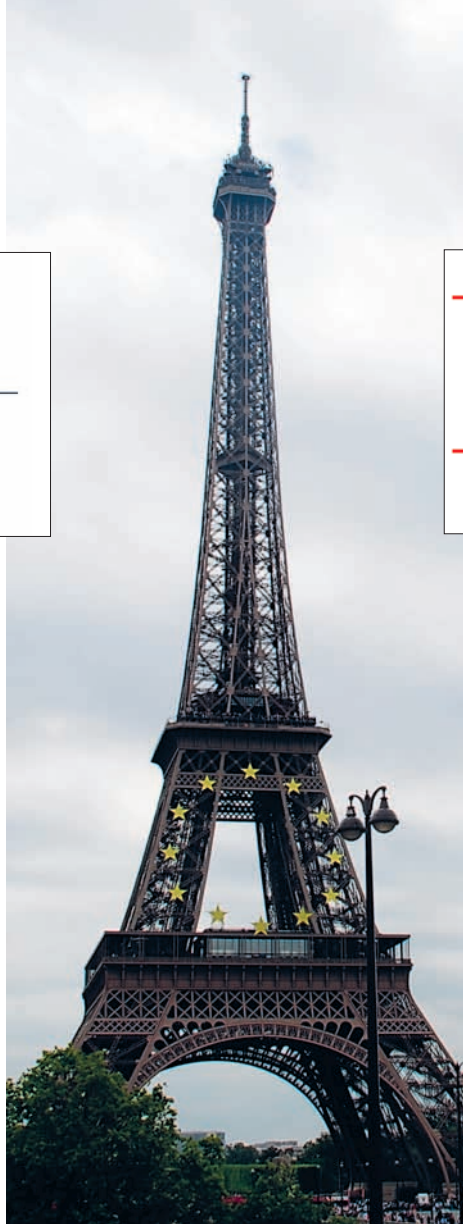


Bild 129. Höga byggnader som Eiffeltornet bör utformas så att materialet utnyttjas optimalt och då inte bara i fråga om tyngd, utan även mot risken för buckling, vindbelastning med mera.

Kan man tillåta en kvarstående formändring efter en slagbelastning, så kan man ha deformationszoner. Sådana finns i bilar där karsen tar upp energi och minskar belastningen på de åkande vid en kollision. Förformas plåten, så kan man också styra var deformationen skall ske (bild 128).

Det kan i vissa fall gälla att detaljens dragbrotthållfasthet skall optimeras med hänsyn till det tillgängliga utrymmet för detaljen. I den situationen bör detaljen ha ett konstant materialtvärsnitt i lastriktningen och då bör helt enkelt den specifika brottlasten  $R_m$  för olika material jämföras med varandra. Det material som då har högst brottlastvärde, får då anses vara det lämpligaste.

Ett sätt att ange hållfasthet, är materialets avslitningslängd, som är längden av det materialstycke med konstant tvärsnitt som förväntas brista

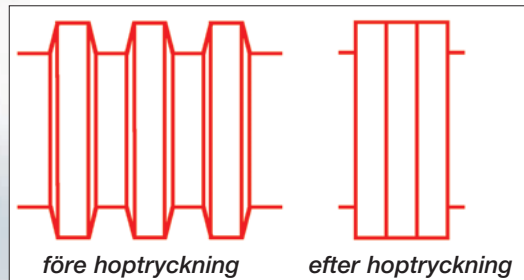


Bild 128. Utformning av deformationszon i fronten på en bil (inspirerad av WV Golf I).

av sin egen tyngd. Begreppet används för papper, men borde användas på fler områden.

Vänder vi på avslitningslängden, så kunde man tro att materials tryckhållfasthet motsvarar den högsta pelare man kan bygga innan materialet brister av egen tyngd. Då har man emellertid missat risken för instabilitet, (knäckning) och materialet skulle också utnyttjas dåligt om man byggde pelare med konstant tvärsnitt. Istället brukar man ha grövre dimensioner nedtill på t.ex. flervåningshus och lättare dimensioner högre upp (bild 129).

Det här byggnadssättet väljer man för att utnyttja materialets hållfasthet på ett effektivare sätt; man får en mera jämnstark konstruktion.

Då belastningen varierar i kroppens olika delar, som t.ex. då ett böjande moment varierar längs en belastad balk, så har man en jämnstark konstruktion om man lyckas utforma produkten så att tåligheten mot den lokala belastningen är lika stor i hela kroppen. Särskilt när man skall optimera konstruktionens vikt, så bör konstruktionen utformas på ett jämnstarkt sätt.

Något som man också bör ta hänsyn till är risken för ovarsam hantering. Man bör därför vara medveten om tillvaros brutaliteter.

Vi avslutar den här gången med ett par färgstarka minnen från en mycket erfaren och lika humoristisk konstruktionschef, bild 130.

...På Bolinder-Munktells avdelning för sågverksmaskiner, så hade vi Regeln:  
- "Välj dom handboksformler som ger dom grövsta dimensionerna, fördubbla sedan dom, så håller det även för kanadensare och amerikaner"

..I gruvan i Kiruna hade man en liten hjulbent "lappgubbe" som tillkallades om något alltför stort malmblock fastnade någonstans, t ex i ett störtschakt. Han kom då med slägga och spett, men räckte inte det, så la han in en dynamitgubbe och sköt. Men det hände också att en för stor munsbit fastnade i en malmkross och därom sa "lappgubben" att: - "när en skjuter inuti maskinerna, så ä' en lite försiktigare!..."

Bild. 130. "Ovarsam hantering" kan förekomma (CG Nilson).