



OPGAVEEKSEMPEL

Beregningsopgave om bærende konstruktioner

Indledning:

Et mindre advokatfirma, *Juhl & Partner*, ønsker at gennemføre ændringer i de bærende konstruktioner i forbindelse med indretningen af deres fremtidige kontorlokaler. De bærende konstruktioner omfatter f.eks. bjælker, søjler, vægge, etagedæk, osv.

Vedlagt er bilag nr. 1 med en etageplan over virksomhedens nuværende kontorlokaler. Lokalerne ligger på 3. sal i en etageejendom fra 1977 i det centrale Sønderborg. Bygningen blev senest renoveret i marts 2010.

Løs følgende opgaver og hjælp virksomheden med at få opfyldt deres ønsker om bedre kontorlokaler.

Det skal du bruge:

- Papir, blyant og viskelæder
- Bogen Teknisk Ståbi
- Lommeregner
- Adgang til en computer, hvor beregningsprogrammerne *Microsoft Excel* og *MathCAD* er installeret

Husk, at du altid er velkommen til at spørge en ingeniør om hjælp. Spørg hellere én gang for meget end én gang for lidt!

Opgaver:

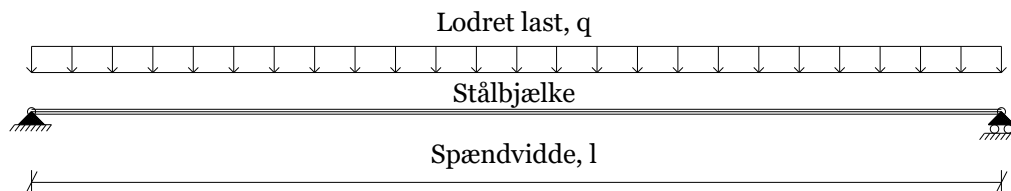
1. Find vedlagte bilag nr. 1 med etageplanen over virksomhedens kontorlokaler. I etagens nordvestlige hjørne, findes i dag 2 kontorlokaler (rum 3,85 og rum 4,95/4,40). Disse lokaler skal forenes vha. et dørhul med længden $l = 1800\text{mm}$. Der skal derfor skæres et hul i den eksisterende betonvæg mellem de 2 kontorlokaler, og der skal monteres en stålbjælke til at optage den *lodrette linjelast* fra de overliggende etager - dvs. vægten af de overliggende etager.

- **Find og marker på bilag nr. 1 den væg hvori det nye dørhul skal etableres.**

2. Stålbjælken over det fremtidige dørhul skal nu undersøges. Dvs. det skal sikres at bjælken er stærk nok til at kunne bære vægten af de overliggende etager. I denne opgave skal bjælkens *bøjningsmoment* undersøges.
 - **Spørg en ingeniør og forklar med ord hvad bøjningsmoment betyder. Skriv forklaringen ned.**

3. Vægten af de overliggende etager kaldes for den *lodrette linjelast*. Linjelasten kan sættes til $q = 35 \text{ kN/m}$ og væggen regnes ikke som en stabiliserende væg. At væggen ikke er en stabiliserende væg betyder, at den kun optager lodret last og ikke vandret last, f.eks. i form af vindlast.

Skitse A: Oversigt over bjælkens statiske system



Formlen til at bestemme det maksimale bøjningsmoment $[M_{\max}]$ findes i bogen *Teknisk Ståbi* i afsnit 3.2.2: Plan bjælke over 1 fag. Find formelen for det maksimale bøjningsmoment i Teknisk Ståbi, den ser sådan ud:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} ql^2$$

Det maksimale bøjningsmoment angiver bjælkens største bøjningsmoment.

- **Beregn bjælkens maksimale bøjningsmoment $[M_{\max}]$ når den påvirkes af den ovenfor angivne lodrette linjelast q og længden l . Skriv dine beregninger for det maksimale bøjningsmoment ned.**
- Du kan evt. få hjælp til resultatet under opgave 8 og 9.
4. Et eksempel på en *momentkurve* kan findes i Teknisk Ståbi - samme sted som du fandt formelen til at beregne bjælkens maksimale bøjningsmoment under punkt 3. En momentkurve er en grafisk måde at vise hvor stort bjælkens bøjningsmoment er over hele bjælkens længde.
 - **Tegn momentkurven for den belastede bjælke og marker hvor på kurven det under punkt 3 beregnede maksimale bøjningsmoment $[M_{\max}]$ findes. Dvs. der hvor momentet er størst.**

 5. Formlen til at bestemme bjælkens *reaktioner* findes i bogen Teknisk Ståbi i afsnit 3.2.2: Plan bjælke over 1 fag. En reaktion angiver hvor meget vægt bjælken afleverer ved understøtningerne.
 - **Beregn bjælkens reaktioner $[R_A]$ og $[R_B]$ på betonvæggen når bjælken med længden l påvirkes af den lodrette linjelast q . Skriv dine beregninger for reaktionerne ned.**

Du kan evt. få hjælp til resultatet under opgave 8 og 9.

6. Bjælken som monteres over det fremtidige dørhul, er en HE120B stålbjælke. Du kan finde *tværsnitsdata* for denne stålbjælke i bogen Teknisk Ståbi afsnit 6.3.4 HE..B-profiler. Tværsnitsdata beskriver f.eks. hvor høj bjælken er, hvor meget den vejer pr. m. og hvor stort bjælkens *inertimoment* er.

Ved bjælkens inertimoment forstås hvor modstandsdygtig bjælken er over for at blive bøjet. F.eks. kan du prøve at bøje en lineal om den ene akse for derefter at bøje linealen om den anden akse. Kan du mærke forskel? Om den ene akse er det meget sværere at bøje linealen da inertimomentet her er meget større.

- **Find bjælkens inertimoment om bjælkens y-akse [I_y] og skriv det ned. Husk inertimomentets enheder mm^4 . Du skal bruge det i næste opgave.**

7. Nu skal vi undersøge bjælkens *nedbøjning*. Nedbøjning angiver hvor meget bjælken bøjer ned når den belastes af den lodrette linjelast q .

Formlen til at bestemme bjælkens nedbøjning [u_{\max}] findes i bogen Teknisk Ståbi i afsnit 3.2.2: Plan bjælke over 1 fag. Dvs. samme sted som hvor du fandt M_{\max} under spørgsmål 3. I denne formel indgår bogstavet E. E står for stålets *elasticitetsmodul* og angiver hvor elastisk stålet er. Elasticitetsmodulet kan sættes til $E = 2,10 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$.

- **Find bjælkens nedbøjning [u_{\max}]. Nedbøjning angives i mm.**

Husk at tage hensyn til værdiernes enheder. $1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$ og $1 \text{ kN} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg}$.

Du kan evt. få hjælp til resultatet under opgave 8 og 9.

8. Nu bliver det rigtig spændende. Sæt dig ved en computer og start programmet *Microsoft Excel*.

- **Lav et beregningsprogram i Microsoft Excel der kan kontrollere dine resultater for hhv. bøjningsmomentet [M_{\max}], reaktionerne [R_A og R_B] og nedbøjningen [u_{\max}].**

Bemærk at dine beregninger i Microsoft Excel ligger skjult i programmets celler. Dvs. du kan umiddelbart ikke se præcist hvad programmet regner og du skal selv holde styr på enhederne.

Skitse B: Eksempel på en bjælkeberegning i beregningsprogrammet Microsoft Excel

Bjælketype	HE120B
Elasticitetsmodul	$E = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
Inertimoment	$I_y = 8,64E+06 \text{ mm}^4$
Spændvidde	$l = 1,8 \text{ m}$
Lodret linjelast	$q = 35 \text{ kN/m}$
Bøjningsmoment	$M_{\max} = 14,2 \text{ kNm}$
Reaktioner	$R_A = R_B = 31,5 \text{ kN}$
Nedbøjning	$u_{\max} = 2,6 \text{ mm}$

Husk, at du selv skal holde styr på dine enheder!
Husk også at gemme en kopi af dit beregningsprogram. F.eks. på computerens skrivebord.

9. Start nu beregningsprogrammet *MathCAD*.

- **Lav et nyt beregningsprogram i MathCAD der kan kontrollere dine resultater for hhv. bøjningsmomentet [M_{\max}], reaktionerne [R_A og R_B] og nedbøjningen [u_{\max}].**

Bemærk at dine beregninger i MathCAD altid vises direkte i beregningerne. Dvs. du kan altid se præcist hvad programmet regner og programmet holder selv styr på enhederne.

Skitse C: Eksempel på en bjælkeberegning i beregningsprogrammet MathCAD

Bjælke type	HE120B	
Elasticitetsmodul	$E := 2.10 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	
Inertimoment	$I_y := 8.64 \cdot 10^6 \text{mm}^4$	
Spændvidde	$l := 1.8\text{m}$	
Lodret linjelast	$q := 35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	
Bøjningsmoment	$M_{\max} := \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$	$M_{\max} = 14.2 \cdot \text{kNm}$
Reaktioner	$R_A := \frac{1}{2} \cdot q \cdot l$	$R_A = 31.5 \cdot \text{kN}$
	$R_B := R_A$	$R_B = 31.5 \cdot \text{kN}$
Nedbøjning	$u_{\max} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$	$u_{\max} = 2.6 \cdot \text{mm}$

Husk også denne gang at gemme en kopi af dit beregningsprogram.

10. Juhl & Partner har netop meddelt, at de også i etagens sydøstlige hjørne vil have etableret et nyt dørhul mellem 2 kontorer (rum 5,00/3,40 og rum 4,15). Disse kontorer skal dog forenes vha. et endnu større dørhul med længden $l = 2200\text{mm}$.

- **Find og marker på bilag nr. 1 den væg hvori det nye dørhul skal etableres.**

11. Bjælken som monteres over dette dørhul, er en HE140B stålbjælke. Du kan finde tværsnitsdata for denne stålbjælke i bogen Teknisk Ståbi afsnit 6.3.4 HE..B-profiler.

Den lodrette linjelast fra de overliggende etager inkl. bjælkens egenvægt, kan sættes til $q = 25 \text{ kN/m}$ og væggen er ikke en stabiliserende væg.

- **Find bjælkens maksimale bøjningsmoment $[M_{\max}]$, reaktionerne $[R_A]$ og $[R_B]$ og nedbøjningen $[u_{\max}]$ når den påvirkes af den lodrette linjelast q og har længden l . Brug dit beregningsprogram i Microsoft Excel.**

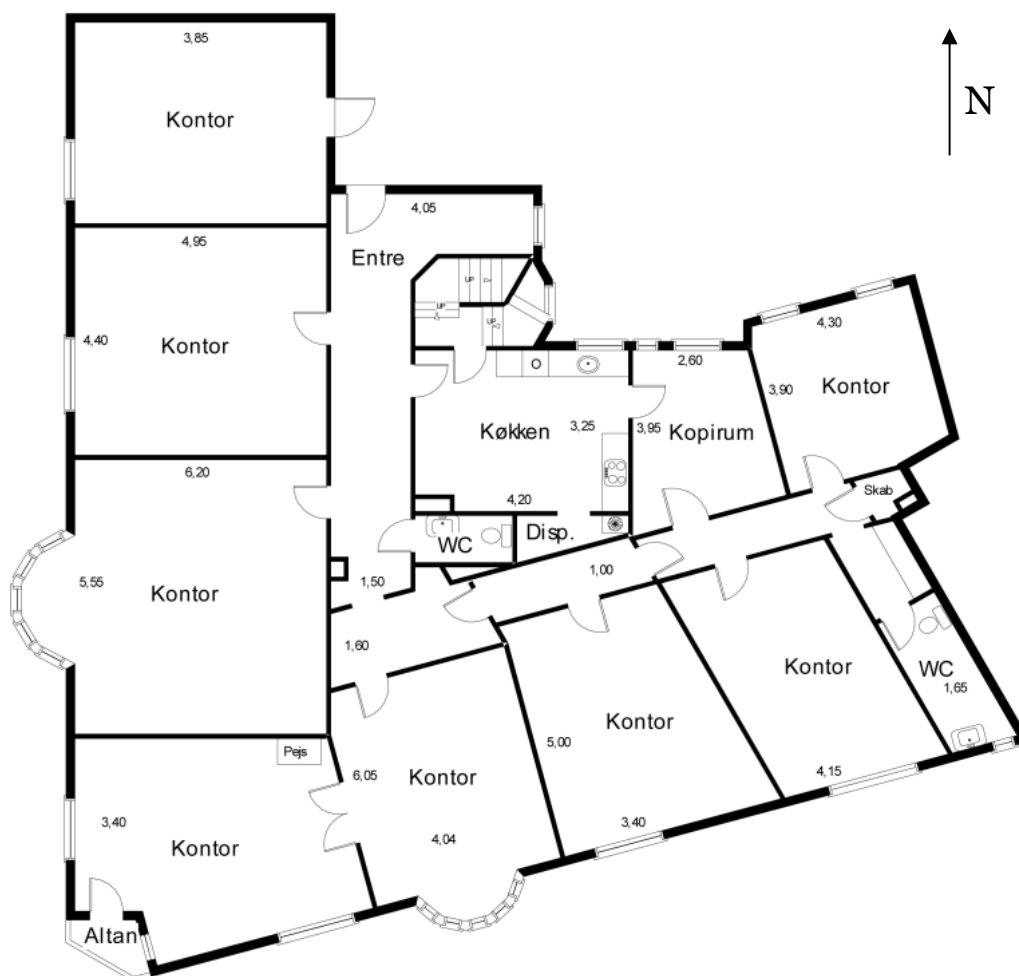
Husk at du her skal bruge inertimomentet fra HE140B-bjælken!

12. **Find bjælkens maksimale bøjningsmoment $[M_{\max}]$, reaktionerne $[R_A]$ og $[R_B]$ og nedbøjningen $[u_{\max}]$ når den påvirkes af den lodrette linjelast q og længden l . Brug dit beregningsprogram i MathCAD.**

13. Sæt dine resultater i en mappe og diskuter dem igennem med en ingeniør.

BILAG 1:

Etageplan over Juhl & Partners kontorlokaler.



Tegningen er i 1:100, dvs. 1 cm svarer til 100 cm i virkeligheden.