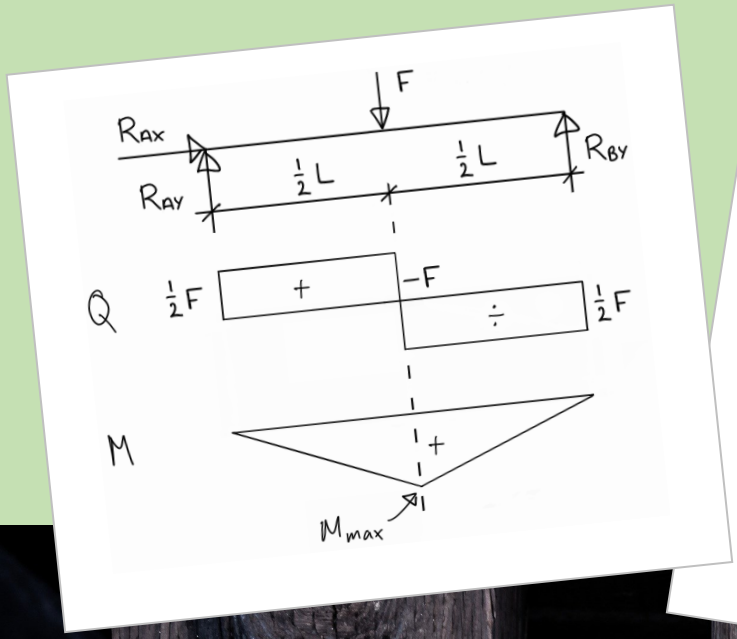
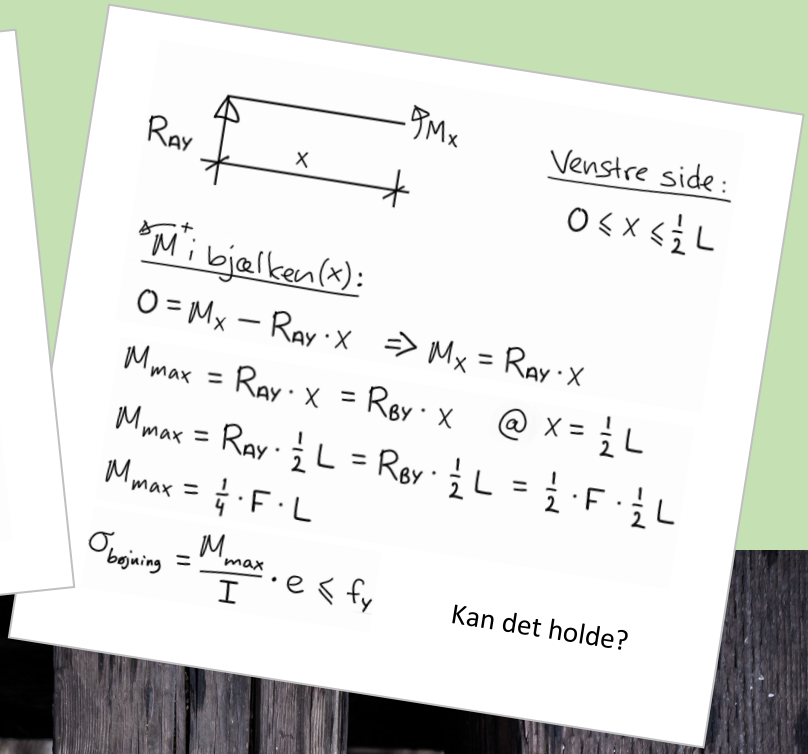




Grundlæggende styrkelære - Modeller til virkelighed

2. Udgave - Af Ingeniør og underviser Kim Kjærsgaard

Kan det holde? Hvis din nye og dyre kontorstol går i stykker efter, at du har siddet i den få gange, ville du så købe den samme stol igen, og endda anbefale den til andre?

Ved at anvende statik, styrke- og materialelære, når man konstruerer eller ombygger en konstruktion, kan man dimensionere den, så den kan holde til de forventede belastninger, der opstår når produktet anvendes.

Dette er den anden bog i trilogien Grundlæggende konstruktion. Trilogien er tiltænkt ingeniører, maskinmestre, produktudviklere, arkitekter, konstruktører, designere, håndværkere, HTX-studerende og andre, der beskæftiger sig med konstruktioner.

Bogen gennemgår teorierne for den grundlæggende styrkelære og er opdelt over fire kapitler: Dimensionering, Profiler, Indre kræfter og Samlinger.

Bogen indeholder gode råd om konstruktion, bevidst svageste led, beregn tyngdepunktet, inertimoment, modstandsmoment, fra kraft til spænding, de forskellige spændingstyper, samt nedbøjning, forskydnings- og momentkurver for simple bjælkekonstruktioner. Bogen afsluttes med bolte- og svejsesamlinger. Samt ti cases, hvor teorierne i bogen kan anvendes.

Om forfatteren
Uddannet håndværker i Flyvevåbnet og ingeniør fra Aalborg Universitet i Esbjerg.

Har siden 2015 arbejdet som underviser på Produktionsteknologuddannelsen på KEA - Københavns Erhvervsakademi.

Samt er CEO hos VAXA Consulting.

VAXA Consulting
Produkt & Forretningsudvikling ▪ VAXA.dk

9 788793 738072

atvide

LÆSE PRØVE

Grundlæggende styrkelære – Modeller til virkelighed

2. udgave

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4

ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

16 sider inkl. Cover

www.kandetholde.dk

atvide

Alle rettigheder forbeholdes © 2019

Indholdsfortegnelse

Forord

SI præfiks og vigtige forkortelser

Dimensionering
- Partialkoefficienter og sikkerhedsfaktorer
- Konstruktionskriterier

Profiler
- Tyngdepunkt
- Inertimoment
- Kipning
- Modstandsmoment
- Datablade

Indre kræfter
- Fra kraft til spænding
- Trækspænding
- Flyde- og brudspænding
- Længdeudvidelse
- Forskydningsspænding
- Trykspænding
- Bøjningsspænding
- Last mellem understøtninger
- Nedbøjning

Samlinger
- Bolt
- Svejsning

Cases - Modeller til virkelighed

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Forord

Hvorfor statik, styrke- og materialelære
Kan det holde? Man kan altid lancere sit produkt i uvisheden om, hvorvidt ens konstruktion kan holde til de forventede laster, der opstår, når kunderne anvender produktet. Hvis et produkt går i stykker ved normal brug i garantiperioden, vil man udover udgifter til reparation og fragt også med god sandsynlighed have fået et dårligere image. F.eks. hvis din nye og dyre kontorstol går i stykker efter, at du har siddet i den få gange – ville du så købe den samme stol igen og endda anbefale den til andre?

Man kan også bevidst kraftigt overdimensionere ens konstruktion, hvilket kan gøre den dyrere at producere, mindre bæredygtig, samt ofte også giver et mere massivt og klodset udseende. Ved at anvende statik, styrke- og materialelære, når man konstruerer eller ombygger en konstruktion, kan man dimensionere det, så det kan holde til de forventede belastninger, der opstår når produktet anvendes.

Den grundlæggende forståelse
Dette er den anden bog i trilogien Grundlæggende konstruktion. Bøgerne vil gennemgå den grundlæggende teori for statik, styrke- og materialelære. Trilogien er tiltænkt ingeniører, arkitekter, maskinmestre, produktudviklere, konstruktører, designere, håndværkere, HTX-studerende og andre, der beskæftiger sig med konstruktioner. Formålet med trilogien er at gøre læseren i stand til at regne og optimere på simple konstruktioner, samt få en basal forståelse til anvendelse i et FEM/FEA-program. Nogle uddannelser har behov for et højere niveau, end trilogien indeholder. Til dette søges der efter samarbejdspartnere til i fællesskab at udvikle yderligere materiale, der bygger ovenpå trilogien, og er tilpasset det enkelte studies ønsker og behov. Se mere på www.kandetholde.dk/partner.

Bogen gennemgår teorierne for den grundlæggende styrkelære og er opdelt over fire kapitler: Dimensionering, Profiler, Indre kræfter og Samlinger. Bogen indeholder gode råd om konstruktion, bevist svageste led, beregne tyngdepunktet, inertimoment, modstandsmoment, samt nedbøjning, forskydnings- og momentkurver for simple bjælkekonstruktioner. Endvidere gennemgår bogen, hvordan en kraft bliver til en spænding, de forskellige spændingstyper som træk-, tryk-, forskydning- og bøjningsspænding, samt flyde- og brudspænding. Bogen afsluttes med bolte- og svejsesamlinger, samt ti cases, hvor teorierne i bogen kan anvendes.

Få mest ud af bogen
På hjemmesiden www.kandetholde.dk findes der ekstra opgaver, så teorierne fra bogen bedre kan indøves. Disse opgaver er mere simple end de ti cases til sidst i bogen. Det anbefales derfor, man først løser opgaverne på hjemmesiden, inden man løser casene i bogen. Det handler ikke om, hvor hurtigt man kan løse casene, men om at løse dem korrekt uden at se svaret først. Dermed skulle der gerne nogle gange opstå en undren, som kan medføre en endnu større læring.

Man behøver ikke at kunne formlerne udenad. Men for du bedst muligt kan anvende styrkelære i dagligdagen, bør styrkelæren indlæres til en grad, så du ikke behøver at kigge i bogen eller dine noter for at udvælge de relevante teorier. Jo dybere forståelse du opbygger, jo mere optimerede konstruktioner kan du lave. Øvelse gør mester, og at mestre giver indsigt.

Med et ønske om god læring.

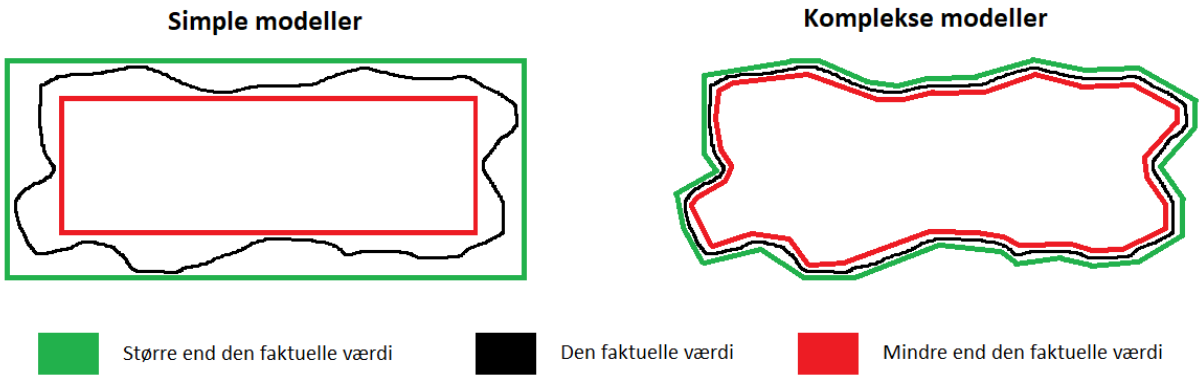
ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Dimensionering

Kan det holde? Dette spørgsmål er altafgørende for konstruktioner. Hvis ikke, så kan det blive meget dyrt og måske medføre skader og i værste fald tab af menneskeliv. Nogle gange ved man det først endeligt, når ens konstruktion er blevet produceret. Derfor bør spørgsmålet stilles flere gange i konstruktionsfasen, og man bør være kritisk i sine valg af teorier, lasttilfælde, materialer, samlinger, sikkerhedsfaktorer m.v.

Modeller og virkelighed

Når man går fra "virkelighed til modeller" eller "modeller til virkelighed", så udvælger man de modeller, der kan beskrive det udsnit af virkeligheden, man ønsker at beregne. De mange variabler i den virkelige verden gør ofte, at en given værdi ikke altid vil være den samme og derfor har en vis tolerance. Dette medfører, at der ofte ikke findes en model, der giver den faktuelle værdi, men enten er lige over eller under. Dermed er man sikker på, at svaret er stærkere eller svagere, end den faktuelle værdi er i virkeligheden. Visse steder inden for konstruktionsfaget findes der forskellige betragtningsmuligheder og teorier, man kan anvende. Det er derfor vigtigt, at man er påpasselig med ens betragtninger af virkeligheden og udvælgelsen af modellerne - dermed teorier. Nogle modeller er simple, mens andre er mere komplekse. De komplekse er ofte mere retvisende end de simple modeller, da modellerne kan komme tættere på den faktuelle værdi for lasten, styrken, spændingen m.v., som illustreret på nedenstående figur.



ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Cases: Modeller til virkelighed

Dette kapitel indeholder ti cases, der har til formål at træne teorierne fra bogen.

Case 1:

Det markerede fladstål på motorkranen er monteret med M12-bolte i normalhuller. Når en motor løftes, vil fladstålet blive påført en kraft i normalkraft retningen på 45 kN. Der ses bort fra egenvægten af konstruktionen. Anvend den karakteristiske styrke af profilet. Følgende ønskes bestemt:

1)
Er der træk eller tryk i fladstålet?
Er fladstålet i det elastiske område?

2)
Hvor stor er længdeudvidelsen (ΔL), hvis profilet beregnes med den største spænding i profilet?

3)
Hvor stor er længdeudvidelsen (ΔL), hvis profilet beregnes som to dele. Første del er ved hullerne, hvor der anvendes den største spænding for hele længden af hullerne. Den anden del er hvor profilet ikke har nogle huller, og spændingen derfor er lavere. Så lægges begge længdeudvidelser sammen.

4)
Hvilket længdeudvidelses beregning er den mest retvisende? Passer denne med den reelle længdeudvidelse, hvis vi monterede lasten på motorkranen?

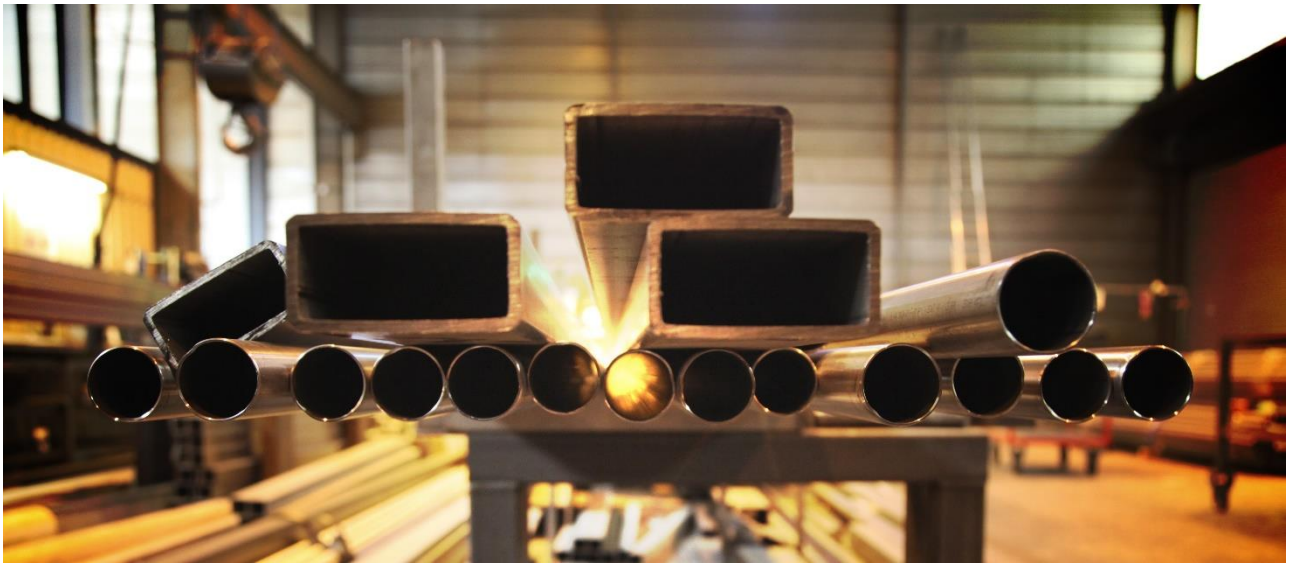
Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 275 MPa

Profildata:
Bredde: 8 mm
Højde: 35 mm
Længde mellem centrummet i hullerne: 1,1 meter

Foto: Tectake.dk

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 2



Et cirkulært og et rektangulært stålrør ønskes brugt som søjler med en centreret, nedadgående last i toppen. Søjlerne er indspændt i bunden og simpel flytbar i toppen, som i understøtningstilfælde C. Anvend den karakteristiske styrke af profilet.

1)
Afgør bæreevnen (N_{cr}) for et rektangulært stålrør på 80x40x4 mm med en længde på 2 m.

2)
Afgør bæreevnen (N_{cr}) for et cirkulært stålrør på Ø20x2 mm med en længde på 2 m.

3)
Hvor mange cirkulære stålrør skal der til for at kunne erstatte det rektangulært stålrør?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 3:

På en station bærer dette HEA-profil en del af en tagkonstruktion. Søjlen er støbt 1 meter ned i jorden. En kvadratisk plade er svejst på bunden af HEA-profilet, så profilet står på pladen. Toppen af HEA-profilet er fastgjort til tagkonstruktionen med en svejsning. Frihøjden til tagkonstruktionen er 2,5 meter.

Søjlen kan måske ikke afgive alt det moment, den skal for at være indspændt ved jordoverfladen, og derfor er det mere sikkert at anvende frihøjden plus den nedgravede længde som søjlelængden. Betragt søjlen som indspændt i bunden (understøtningstilfælde D).

Den regningsmæssige last fra tagkonstruktionen er en centreret nedadgående last på 20 kN. Der ses bort fra profilets egenvægt. Anvend den karakteristiske styrke.

1)
Fastslå hvilken HEA-profil, der minimum skal anvendes

2)
Hvor stor skal den kvadratiske plade minimum være, hvis jorden kan optage 30 $\frac{kN}{m^2}$?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 4
Som forhandler af stålprofiler er du blevet kontaktet af en kunde med følgende spørgsmål vedrørende et 12 meter langt 100x50x4 mm rektangulært stålrør. Anvend den karakteristiske styrke af profilet.

1)
Hvad er nedbøjningen fra egenvægten af profilet i både den stærke og svage akse, hvis profilet er simpelt understøttet i begge ender og placeret i Danmark?

2)
Hvad er den maksimale punktlast, der kan placeres i midten for begge akser, når man medtager egenvægten af profilet?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 355 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 5:
I Vejle havn ønskes en platform fastholdt til kajen med et 6 meter langt HEB 120-profil. Beregninger har vist, at platformen maksimalt i normalkraft retningen regningsmæssigt kan trække med 740 kN. Der ses bort fra profilets egenvægt i de første 4 spørgsmål. Anvend den karakteristiske styrke af profilet.

Følgende ønskes bestemt

1)
Er HEB profileret i dets elastiske område?

2)
Bestem den maksimale trækkraft i normalkraft retningen for HEB profilet.

3)
Hvor stor er længdeudvidelsen (ΔL) ved maksimal træk?

4)
HEB profilet fastgøres til platformen og kajen ved at på svejse en metal plade i begge ender. Svejsningen udføres langs hele randen rundt om profilet med et a mål på 8 mm. Kan den holde til det maksimale træk?

5)
Hvad er den maksimale trækkraft i normalretningen, hvis profilets egenvægt medtages (Anvend W_Y).

Materiale data:
E modul: 210.000 MPa
Flydespændingen (f_y): 275 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 6
Stålwireren på billedet bruges som brystværn og skal kunne holde til et træk på 48 kN, hvilket er væsentligt under stålwirerens regningsmæssige trækstyrke på 450 kN.

Stålwireren er afsluttet med et U-metalbeslag, der er fastholdt til en M16 øjebolt. En øjebolt er vist på nederste billede. Øjebolten er monteret i et normalhul i stålpladen. Anvend den karakteristiske styrke for pladen.

Følgende ønskes bestemt:

1)
Hvilken boltklasse skal bolten minimum være?

2)
Hvor tyk skal pladen være for, at bolten er det svage led og dermed kan sikre, at bolten kan holde til den forventede belastning, men også kan bryde inden bolten bliver trukket igennem hullet?

3)
Er samlingen mellem U-metalbeslag og øjebolten en 1 snit- eller 2 snitsamling?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 235 MPa
Brudspænding (f_u): 340 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 7
En hulplade i stål på 200x60x5 mm bliver svejset fast til et stålrør. I hulpladen er der monteringshuller på Ø 8,5 mm i rækker af tre huller, hvilket ses på billedet. Med M8-bolte i en 1 snitsamling bliver der senere overført en normalkraft med et regningsmæssigt træk på 7,5 kN til hulpladen. Anvend den karakteristiske styrke for hulpladen.

Følgende ønskes bestemt:

1)
Er hulpladen i sit elastiske område?

2)
Hvor mange M8-bolte skal der anvendes i samlingen, for at overføre trækket på 7,5 kN, uden der opstår skader på hullerne i pladen?

3)
Bestem minimum boltklasse ud fra antallet af bolte i samlingen (spørgsmål 2). Anvend $\alpha_v = 0{,}6$.

4)
Hvilket a-mål skal der anvendes til svejsningen?

5)
Hvad er det bevidst svageste led i denne samling? Angiv styrkerækkefølgen og er der et smartere valg?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 355 MPa
Brudspænding (f_u): 470 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 8
Broen er opbygget med to IPE-profiler, der spænder 6 meter over en å i Danmark. Trædefladerne er lavet af brædder, der er fastgjort til IPE-profilerne. Broen skal kunne holde til 10 mennesker a 150 kg. Der ses bort fra egenvægten af konstruktionen. Sikkerhedsfaktoren til personlasterne skal være 30%, og der anvendes den karakteristiske styrke for materialet.

Følgende ønskes bestemt:

1)
Find worst case-placeringen af lasterne inklusiv sikkerhedsfaktoren. Tegn forskydnings- og momentkurven for IPE-profilet.

2)
Hvilken IPE-profil skal der anvendes for at få den højest udnyttelsesgrad (anvend W_Y)?

3)
Hvor stor er nedbøjningen i IPE-profilet (anvend I_Y)?

4)
Hvad er egenvægten af IPE-profilet mellem understøtningerne?

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 275 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 9
Legepladsen er placeret i Danmark. Den regningsmæssige last fra hver kæde er 100 kg. Der ses bort fra egenvægten af konstruktionen, og der anvendes den karakteristiske styrke for materialet.

Følgende ønskes bestemt:

1)
Tegn forskydnings- og momentkurven for bjælken, hvor gyngen er monteret. Bestem det maksimale moment i bjælken.

2)
Bjælken ønskes udskiftet til et cirkulært stålrør fra databladet med mindst mulig ydre diameter. Hvis gyngen monteres på midten af røret, skal der så anvendes et andet cirkulært stålrør?

3)
Med gyngen på midten. Hvor stort skal arealet mellem det cirkulære rør og de lodrette, grønne understøtninger være for at undgå trykskader i understøtningerne? De lodrette understøtninger er udført i træ, der maksimalt kan optage en trykspænding på 20 MPa.

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 275 MPa.

Afstand:
A til F_1 = 2,8 meter
F_1 til F_2 = 0,7 meter
F_2 til B = 1 meter

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2

Case 10
Byggeriet er blevet forsinket, så tingene er gået lidt stærkt i løbet af den sidste måned. Entreprenøren skulle til at montere IPE-profilet ved den røde pil. I den statiske dokumentation kan man ikke se, hvilket IPE-profil, der skal monteres i denne position, og derfor er byggeriet nu gået i stå.

Din kollega, der er den rådgivende ingeniør på byggeriet, er på ferie i udlandet, og derfor har entreprenøren hastetilkaldt dig. På byggepladsen bliver du mødt af 32 håndværkere, der står utålmodigt og kigger på dig. De vil meget gerne videre med arbejdet, så de kan komme hjem til fyraften og nå at få hentet børn inden institutionerne lukker, så de fleste ser gerne, at du kommer med et hurtigt svar på dette "simple" spørgsmål.

1)
Hvilken IPE-profil skal håndværkerne som minimum montere, der hvor den røde pil peger?

Statisk dokumentation for byggeriet
Det viser sig, at du heller ikke kan finde frem til, hvilket IPE-profil, der skal monteres, men du kan se, at den regningsmæssige linjelast på IPE-profilet skal være 7,25 kN/m, hvilket ikke inkluderer egenvægten af profilet. Anvend den karakteristiske styrke af profilet. IPE-profilet er 8 meter langt. Betragt profilet som simpelt understøttet i begge ender, selvom det er fastgjort med bolte. Nedbøjningen må maksimal være L / 400, hvor L er profilets længde. Den maksimale nedbøjning vil være på midten af profilet.

Materialedata:
E-modul: 210.000 MPa
Flydespænding (f_y): 275 MPa

ISBN for Bog: 978-87-93738-03-4 ▪ ISBN for E-bog: 978-87-93738-07-2