Introducerande övningsuppgifter
(med lösningar)

3. Porositet och densitet

3.1: Man vill bestämma porositeten hos ett visst stenmaterial. En provkropp med måtten 40mm×100mm×250mm sågades till. Provkroppen vägde 2120g i torrt tillstånd. Med hjälp av vakuum kunde man sedan fylla hela porsystemet med vatten. Stenen vägde då 2320g.

A: Beräkna provets porvolym
B: Beräkna provets porositet
C: Beräkna provets skrymdensitet i torrt tillstånd
D: Beräkna materialets kompaktdensitet

Lösning:

A: Porvolymen är en volym och skall alltså anges i t.ex. liter eller kubikmeter.
Eftersom hela porvolymen fylldes med vatten så visar alltså viktskillnaden mellan torrt och vått (vattenmättat) tillstånd precis hur mycket vatten som får plats i porsystemet, dvs volymen vatten = porvolymen. Viktskillnaden är 2320 – 2120 = 200 g vatten = 0,2 kg vatten.
Vatten har densiteten 1 kg/l. Med ekvation 3.2 (s 20) beräknar vi vattnets volym till 0,2 l. Porvolymen är alltså 0,2 l.

B: Porositet är kvoten av porvolym och total volym, ekvation 3.1 (s 20). Totala volymen beräknas från provkroppens mått som V = längd×bredd×höjd = 0,25×0,1×0,04 = 1 dm^3 (=1 liter). Ekvation 3.1 ger nu P =V_p/V = 0,2/1 = 0,2 = 20%. Porositeten är 20%.

C: Skrymdensitet (ekv 3.2): $\rho = \frac{m}{V}$ = 2120/1 = 2120 g/l eller $\rho = \frac{m}{V}$ = 2,12kg/0,001m^3 = 2120 kg/m^3.

D: Kompaktdensiteten (förenklat uttryckt: densiteten för materialet sedan det komprimerats ihop så att det inte längre har någon porvolym) beräknas enligt ekv 3.3 (s 21):
$\rho_k = \frac{m}{V-V_p}$ =2,12/(1-0,2)=2,65 kg/l = 2650 kg/m^3 (eftersom det går 1000 l på en kubikmeter).
Alternativt: Använd ekv 3.4: $P = 1 - \frac{\rho}{\rho_k}$ vilken skrivs om till $\rho_k = \frac{\rho}{1-P}$=2120/(1-0,2) = 2650 kg/$m^3$.

4 Värme

4.1: En äldre byggnad har massiva 2-stens tegelväggar(dvs tjockleken är ca 2×240 mm). Inomhus är det 21°C. Utomhus är det -7°C. Temperaturerna har varit stabila i några veckor, så vi kan anta att värmeflödet genom väggen är stationärt (dvs det ändrar sig inte med tiden).

A: Beräkna hur stor värmeflödestätheten genom väggen är.
B: Huset är inte ritat av en arkitekt och består därför enbart av dessa väggar (det har inga dörrar, inga fönster, etc). Längden är 14 m, bredden 8 m och fasadhöjden 3,5m. Hur stort är totala värmeflödet genom husets väggar?
C: Man kan ordna den erforderliga uppvärmningen genom att tända tillräckligt många glödlampor. Antag att man har ett antal 60W lampor (som var och en avger 55W värme). Hur många sådana lampor behöver vara tända för att bibehålla temperaturen 21°C?
D: Om väggen istället hade bestått av enbart lättbetong, hur tjock skulle den då ha behövt vara för att ge samma värmeisolering?

(I denna uppgift bortser vi från murbrukets och ytövergångsmotståndens inverkan)

Lösning:

A: Värmeflödestätheten beräknas enligt ekv 4.5 (s 38):

$$q = \lambda \frac{\Delta\theta}{d}$$

Tabell 4.1 ger att värmekonduktiviteten (λ) för tegel är ungefär 0,7 W/mK.
Temperaturskillnaden Δθ = 21 - (-7)=28°C (eller 28K eftersom steget mellan två temperaturer är lika stort i Kelvin som i °C).
D = tjockleken = 2×240 = 480 mm = 0,48m.
Ekvationen ger nu q = 40,83W/m^2.

B: Totala värmeflödet får vi som värmeflödestätheten multiplicerad med alla väggars sammanlagda area: q_{tot} = A×q = 2×(14+8)×3,5 × 40,83 = 6288 W.

C: För att bibehålla +21° måste vi alltså mha lamporna ordna en energitillförsel som är precis lika stor som det energiflöde som hela tiden går ut genom väggarna, dvs antalet lampor måste väljas så stort att de tillsammans ger 6288 w.
Varje lampa ger 55W (till rummet). Erforderligt antal = 6288/55=114,333…
(Med 114 lampor kommer temperaturen inomhus att sjunka sakta, med 115 kommer den att öka sakta).
OBS! Detta är inte en uppgift inom egentlig Byggnadsmateriallära. Uppgiften är mera avsedd att ge möjlighet till tolkning av innebörden av ett beräknat värmeflöde.

D: Att lättbetongväggen har samma värmeisoleringsförmåga innebär att den ger samma värmeflöde vid samma temperaturskillnad. Således använder vi ekv 4.5 och sätter in att q = 40,83W/m^2:

$$q = 40{,}83 = \lambda_{lbtg} \frac{\Delta\theta}{d_{lbtg}}$$

Δθ är precis som tidigare 28°C.

Det är d_{lbtg} vi söker och därför löser vi ut den som:

$$d_{lbtg} = \lambda_{lbtg} \frac{\Delta\theta}{q} = 0{,}14 \frac{28}{40{,}83} = 0{,}096\ m = 96\ mm.$$

OBS! Här är λ-värdet satt till 0,14. Detta värde gäller för autoklaverad lättbetong med densitet 500 kg/m^3. (Ofta när man bara säger lättbetong så är det just autoklaverad lättbetong som avses. Densiteten kan man inte gissa. Har man ingen ledtråd så tar man ett rimligt medelvärde för de tabelldata man har tillgängliga.)

5 Fukt

5.1: I ett rum mättes temperatur och RF till +18°C/48%.

A: Hur hög är ånghalten i rummet?
B: Vilken relativ fuktighet kommer att råda om vi höjer temperaturen till +22°C?

(Nu blev det varmt och gott… Kan man tänka sig någon negativ effekt av denna ändring av inomhusklimatet?)

C: Nisse får plötsligt för sig att stänga av elementet för att spara energi. Han glömmer det avslaget. Hur kommer RF att förändras? Vid vilken temperatur kommer dimma att bli synlig i rummet?

Lösning:

A: Ekvation 5.3: $v = v_s \times \phi$
Mättnadsånghalten (v_s) är en funktion av temperaturen och vi slår upp den i Tabell 5.9, s 93: v_s = 15,36 g/m^3. Således $v = v_s \times \phi$ = 15,36 × 0,48 = 7,37 g/m^3.

B: Temperaturhöjningen påverkar inte den (aktuella) ånghalten (v). Däremot skulle luften kunna bära mera fukt, dvs mättnadsånghalten stiger. Vi läser av i Tabell 5.9 igen: $v_s(22)$=19,41. Ny RF blir f = 7,37/19,41= 38%.
(Tolkning: Temperaturhöjningen medför alltså en sänkning av RF. Möjligen kan man börja uppleva luften som torr, men 38% brukar inte vara problematiskt.)

C: När temperaturen sjunker, sjunker också mättnadsånghalten. Eftersom den aktuella ånghalten bibehålls kommer kvoten mellan aktuell ånghalt och mättnadsånghalt att bli större och större, dvs relativa fuktigheten kommer att öka. Till sist, när mättnadsånghalten blir lika låg som aktuell ånghalt, blir RF=100%. Då börjar kondens fällas ut i luften, dvs det blir ”dimmigt”. Detta inträffar alltså då v_s = v = 7,37 g/m^3. Läs Tabell 5.9: v_s=7,37 gäller bra precis vid 6,2°C. Således: Dimma blir synlig vid 6,2°C. (Denna temperatur är luftens *daggpunkt*.)

5.2: En vinterdag är utomhusklimatet -2°C/86%RF. Samtidigt råder +20°/45%RF inomhus (hos Nisse).

A: Hur stort är fukttillskottet inomhus?

Lösning: Fukttillskottet är skillnaden i ånghalt mellan inomhusluften och utomhusluften. Detta fukttillskott skapas av vår verksamhet inomhus (matlagning, dusch, tvätt, etc.)

Fukttillskottet v_{FT} beräknas således som

$$v_{FT} = v_{inne} - v_{ute}$$

Var och en av dessa beräknas enligt ekv 5.3 (se lösning ovan). Vi får v_{inne} = 7,78 och v_{ute} = 3,56 g/m^3. Detta ger <u>att fukttillskottet inomhus är 7,78-3,56 = 4,22 g/m^3</u>.

(Anm: Fukttillskottet inomhus är normalt sett något till några få gram per kubikmeter luft. Vid noggrannare beräkningar måste man också tänka på att luftens volym ändras då den kalla uteluften tas in och värms upp. Detta behandlas närmare i kurser i byggnadsfysik.)

5.3 Ett stycke björk har torkats till jämvikt med 75% RF.

a) Beräkna dess fuktkvot.

Lösning:

a) Vi har ingen sorptionsisoterm för björk. Däremot vet vi att sorptionsisotermerna för olika träslag sammanfaller till praktiskt taget en och samma kurva om vi uttrycker fuktinnehållet som fuktkvot. Fuktkvoten för björk (eller ek, eller ask, eller….) är alltså densamma som för furu vid en och samma RF. Figur 5.32f (desorptionsisotermen) visar att för furu med densiteten 510 kg/m^3 är fukthalten w = 85 kg/m^3 vid 75%RF. Sambandet mellan fukthalt och fuktkvot är $w=\rho\times u$ (ekv 5.7). Fuktkvoten för furu vid 75%RF är alltså $u=w/\rho$ = 85/510 = 16,7%. Björkens fuktkvot är alltså *också* 16,7%.

5.4: Ett stycke furu med torrvikten 45 kg torkas ut till jämvikt med inomhusklimatet 21°/45%RF.

A: Beräkna styckets vikt sedan det kommit till jämvikt med inomhusklimatet.

Lösning: Figur 5.32f (desorption) ger att fukthalten *w* efter uttorkning till 45%RF är ca 55 kg/m^3. Styckets totala massa är då

$$m_{tot} = m_{torrt\ trä} + m_{vatten}$$

Eftersom *w* är angiven i kg/m^3 måste vi ta reda på styckets volym för att kunna räkna ut hur mycket vatten det innehåller (m_{vatten}). Detta i sin tur förutsätter att vi vet styckets torra densitet. Denna har vi inte fått veta i uppgiften, så i brist på bättre använder vi densitetsvärdet 510 kg/m^3 som anges under figur 5.32f. Styckets volym beräknas nu:

$$V = \frac{m_{torr}}{\rho_{torr}} = \frac{45}{510} = 0{,}088235\ \ldots\ m^3 = 88{,}2\ liter \qquad \text{(jfr ekv 3.2)}$$

Massan vatten i 88,2 liter trä med fukthalten 55 kg/m^3 beräknar vi som

$$m_{vatten} = w \cdot V_{torrt\ trä} = 55 \times 0{,}0882 = 4{,}85\ kg \qquad \text{(jfr ekv. 5.5)}$$

Styckets totala vikt vid 45%RF fås nu ur första ekvationen ovan som

$$m_{tot} = m_{torrt\ trä} + m_{vatten} = 45 + 4{,}85 = 49{,}85\ kg$$

Svaret är alltså 49,85 kg.

(Anm: Volymen för trä varierar med dess fuktinnehåll. Precisionen i beräkningar som utgår från att densiteten är konstant blir därför inte perfekt. Särskilt vid bestämning av torrdensitet – med uttorkning av allt förångningsbart vatten – förändras provstyckets mått så att det blir svårt att bestämma styckets volym. Man anger därför sällan torrdensitet, utan istället densitet vid en viss fuktkvot, t.ex. 12%, se Tab 18.1.)

5.5: Ett stycke furu har legat utomhus sedan det fälldes. Totala vikten är 12 kg och fuktkvoten är 24%.

A: Beräkna styckets torrvikt.
B: Beräkna styckets fukthalt.
C: Trästycket tas in och får torka till jämvikt med inomhusklimatet som är +21°/37%RF. Beräkna styckets vikt sedan det kommit till jämvikt.

Lösning:

A: Totala vikten $m_{tot} = m_{torrt\ trä} + m_{vatten}$

Vi vet också att $m_{vatten}=u\times m_{torrt\ trä}$

Tillsammans ger dessa ekvationer att

$$m_{tot} = m_{torrt\ trä} + m_{vatten} = m_{torrt\ trä} + u\times m_{torrt\ trä} = m_{torrt\ trä}\times(1+u)$$

Detta ger

$$m_{torrt\ trä} = m_{tot}/(1+u) = 12/(1{,}24) = \underline{9{,}68\ \text{kg}}$$

B: Ekvation 5.7: Fukthalten $w=\rho\times u$
För att kunna beräkna fukthalten (i kg/m^3) måste vi alltså göra ett antagande om träets densitet. Antag 510 kg/m^3 (som i fig 5.32f). Detta ger

$$w=\rho\times u = 510\times 0{,}24 = \underline{122{,}4\ \text{kg/m}^3.}$$

Anm: Man hade kunnat beräkna just detta styckes vatteninnehåll som m_{vatten} (beräknat enligt ovan). Detta är dock vatteninnehållet för just detta stycke, och inte styckets fukthalt, vilken alltid anges i mängd fukt per kubikmeter.

C: Fig 5.32f, desorptionsisotermen, ger w= 52 kg/m^3. Detta motsvarar fuktkvoten u=52/510 = 10,2%.
Använd ekvation från dellösning A:

$$m_{tot} = m_{torrt\ trä} + m_{vatten} = m_{torrt\ trä} + u\times m_{torrt\ trä} = m_{torrt\ trä}\times(1+u)$$

Enligt A har vi att $m_{torrt\ trä}$ = 9,68 kg. Vi får därför

$$m_{tot} = m_{torrt\ trä}\times(1+u) = 9{,}68\times(1{,}102)=\underline{10{,}7\ \text{kg}}$$

5.6: Ett stycke ek med densiteten 780 kg/m^3 har torkats till jämvikt med 55%RF. Beräkna dess fuktkvot.

Lösning:

Vi har ingen sorptionsisoterm för ek. Däremot vet vi (från föreläsningarna) att sorptionskurvan blir så gott som oberoende av träslaget om vi uttrycker vatteninnehållet som fuktkvot (u). (Varför blir det så?)

Således kan vi läsa av fukthalten för furu vid 55%RF ur fig 5.32f och räkna om till fuktkvot direkt med ρ =510 kg/m^3. Den fuktkvot vi får är då samma som för eken. (Ekens densitet behöver alltså inte användas.)
Således: Fig 5.32f ger w_{furu} = 67 kg/m^3 vilket ger $u = (w/\rho) = 67/510 \approx$ 13%.

Hållfasthet

6.1: En stålstång med tvärsnittsmåtten 40mm×40mm och längden 200mm belastas med en dragkraft F=200kN (vinkelrätt mot tvärsnittets yta).

A: Beräkna normalspänningen i stången.
B: Beräkna töjningen i stången.
C: Beräkna stångens deformation

Lösning:

A: Spänningen (ekv 6.1) σ =F/A = 200000/(0,04×0,04)= 125 000 000 N/m^2 = 125 MPa

B: Töjningen (ekv 6.2) $\varepsilon = \sigma/E$ (Hookes lag, ekv 7.1)
E är elasticitetsmodulen för stålet, vilken är ca 210 GPa enligt Tab 7.1, s 137. (G = Giga = 10^9)
Således $\varepsilon = 125\times10^6/210\times10^9 = 0{,}000595\ldots \approx 0{,}6‰$.

C: Deformationen = $\Delta l = \varepsilon \times l_0$ =0,6/1000×200 = 0,12 mm (se ekv 6.2)

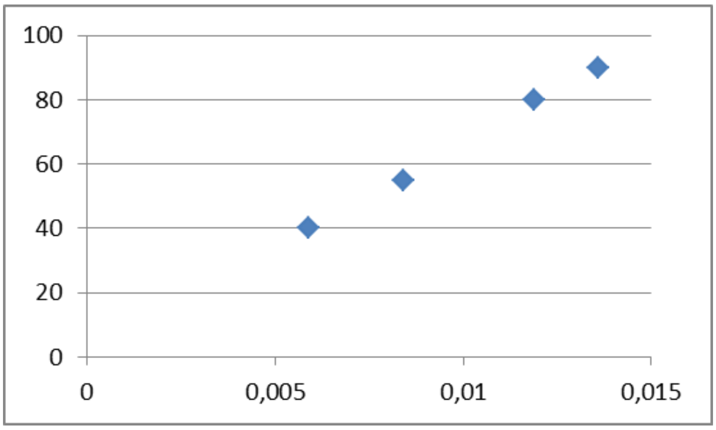
6.2 För ett visst material uppmättes följande samhörande värden på spänning och töjning:

Spänning [MPa]	Töjning [%]
40	0,59
55	0,84
80	1,19
90	1,36

Beräkna materialets elasticitetsmodul!

Lösning: Elasticitetsmodulen är kvoten mellan spänning och töjning, dvs den beskriver lutningen på arbetskurvan inom det elastiska området. Inom en del av arbetskurvan är elasticitetsmodulen konstant, och därför råder linjärt samband mellan spänning och töjning. (OBS! Ett material kan bete sig elastiskt utan att sambandet är linjärt!)

I detta fall är det lämpligt att rita ett diagram för att se tydligt vad det är vi gör:



(Vilken storhet har vi på respektive axel i diagrammet?)

Figuren visar att det råder ett nära nog perfekt linjärt samband mellan spänning och töjning. Därmed vågar vi tro att materialet är linjärelastiskt och vi kan bedöma dess elasticitetsmodul ur lutningen på den räta linje som utgör bästa möjliga anpassning till punkterna. (Elasticitetsmodulen är alltså ”riktningskoefficienten” för den linje som förbinder de fyra punkterna (jämför räta linjens ekvation y=k*x).

Bästa skattning av elasticitetsmodulen görs genom passning med minsta-kvadrat-metoden till samtliga mätvärden. Approximativt kan vi beräkna elasticitetsmodulen genom att beräkna linjens lutning genom två på varandra följande punkter och upprepa detta för alla intervall mellan kända mätvärdespar och sedan beräkna ett medelvärde av dessa lutningar (Jämför figur 7.10.) Vi använder oss då alltså av sambandet:

$$E_i = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\epsilon_{i+1} - \epsilon_i}$$

där *i* står för det intervall mellan två mätpunkter som vi tittar på (i detta fall blir alltså i maximalt 3).

Mätvärde	Intervall	Spänning [MPa]	Töjning [--]	Spännings-differens	Töjnings-differens	Kvot
1		40	0,0059			
	1			15	0,0025	6000
2		55	0,0084			
	2			25	0,0035	7143
3		80	0,0119			
	3			10	0,0017	5882
4		90	0,0136			
	4					
					Medelvärde:	6342

Svar: E-modulen är cirka 6300 MPa.
Anm: Om vi använder minsta-kvadrat-metoden får vi värdet 6603 MPa och resultatet hade även visat att punkterna ligger mycket nära en helt rät linje. Detta är den bästa bedömningen i detta fall. Om vi hade vetat – med säkerhet – att linjen går ned i origo hade vi kunnat använda även origo som ett mätvärdespar.
Det är klokt att rita diagrammet enligt ovan för att se att materialet verkligen beter sig linjärelastiskt. Om punkterna hade legat utspridda utan tydligt sammanhang så hade vi dragit slutsatsen att materialet antingen inte är linjärelastiskt (kanske inte elastiskt alls) eller att något var fel i mätvärdena.)

7 Deformation

7.1 Nisse ställer in alla sina böcker i en bokhylla med hyllplan av massivt trä. Omedelbart efter pålastningen böjer hyllplanet ned 2 mm (dvs mitt på hyllan sjunker hyllplanet ned 2 mm). Hur stor kan man beräkna att hyllplanets nedböjning är efter ett år?

Lösning:
Den totala nedböjningen efter ett år utgörs dels av den elastiska (momentana) deformationen, dels den krypdeformation som har hunnit utvecklas under året. Således:

$d_{tot,1\,år} = d_{elast} + d_{kryp,1\,år}$

Enligt textboken är krypdeformationen (för många byggnadsmaterial) proportionell mot spänningen i materialet. Därför kan man definiera ett kryptal Ø så att

$$\emptyset = \frac{d_{kryp}}{d_{elast}}$$

Kryptalet Ø måste mätas (definieras) vid en viss given tidpunkt, t.ex. ett års belastningstid. Sådana värden ges i tabell 7.1

Den förra ekvationen kan nu skrivas om till

$$d_{tot,1\,år} = d_{elast} + d_{kryp,1\,år} = d_{elast} + d_{elast} \times \emptyset = d_{elast} \times (1 + \emptyset)$$

Kryptalet för massivt trä, parallellt med fibrerna är cirka 1,25 (tab 7.1). Vi beräknar totala deformationen efter ett år som

$$d_{tot,1\,år} = d_{elast} \times (1 + \emptyset) = 2 * (1 + 1{,}25) = \underline{4{,}5 \text{ mm}}$$

Anm 1: I lösningen har vi utgått från att det inte uppstod någon plastisk deformation av materialet i hyllan när Nisse lastade på.
Anm 2: Vi valde kryptalet 1,25, vilket är mitt i det intervall som tabellen anger. När man inte har någon information som ger anledning att välja på annat sätt väljer man helt enkelt mittvärdet.

7.2 Nisse blir förskräckt över resultatet i uppgift 7.1 och undrar, naturligtvis, hur kommer detta att se ut efter 10 år??? Nisse tror förstås att det skall bli 45 mm deformation då…

Lösning: Vi behöver ett kryptal som är giltigt vid belastningstiden 10 år. Ekvation 7.6c lyder

$$\emptyset_t = a \cdot t^b$$

där ϕ_t är kryptalet efter tiden *t*, och *a* respektive *b* är passningskonstanter. Ofta är, enligt boken, b= 0,25, vilket vi använder oss av. Konstanten *a* måste vi räkna fram ur den deformation vi mätte efter ett år:

Kryptalet vid ett år var 1,25. Alltså gäller

$\emptyset_t = 1{,}25 = a \cdot t^b = a \cdot 1^{0{,}25}$ vilket ger *a* = 1,25.

Nu sätter vi in tiden *t*= 10 år:

$$\emptyset_t = a \cdot t^b = 1{,}25 \cdot 10^{0{,}25} = 2{,}22$$

Precis som i 7.1 kan vi nu beräkna totala deformationen efter 10 år som

$$d_{tot,1\,år} = d_{elast} \times (1 + \emptyset) = 2 * (1 + 2{,}22) = \underline{6{,}66 \text{ mm}}$$

Anm 1: Lägg märke till den kvalitativa betydelsen av b= 0,25: Krypdeformationen utvecklas – bara - proportionellt mot fjärde roten ur tiden! Nisses befarade 45 mm var alltså kraftigt överdrivna (dessutom fel eftersom han inte insåg att en del av första årets deformation inte skulle komma att förändras).

Anm 2: Sambanden 7.6 gäller bara approximativt som generellt samband oavsett typ av material, belastningsfall och klimat. Förvänta ingen briljant precision i dessa beräkningar!

8 Volymbeständighet

(Det finns fler uppgifter om volymbeständighet under avsnitt 18 Trä.)

8.1 Ett fönsterbleck av stål monteras en sval dag på hösten (ca +5°C). Blecket är 1200 mm långt.

A: Senare på vintern sjunker temperaturen till -20°C. Hur mycket vill blecket då dra ihop sig?
B: Sommaren efter lyser solen nästan vinkelrätt mot bleckets yta och det värms upp till +55°. Vilken längd får blecket då?

Lösning:

A: Termisk längdändring beräknas mha ekv 8.2:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon = \alpha\Delta T = \alpha(T_2 - T_1)$$

Enligt Tab 8.1 (s 140) är α för stål cirka 10×10^{-6}/m.
Temperaturändringen är $\Delta T = -20-(5)=-25$°C.
Vi får

$\Delta L=1200\times10\times10^{-6}\times(-25)$ **= -0,3 mm (dvs förkortning).**

B: $\Delta T = 55-(5)=50$°C.
Vi får

$\Delta L=1200\times10\times10^{-6}\times50$ **= 0,6 mm (dvs förlängning).**

8.2 (Delvis repetition av kapitel 6): Antag att blecket i uppgift 8.1 är helt stumt monterat mot fönstersmygarna och att det är 0,7 mm tjockt och 120 mm brett. Vilken normalspänning uppkommer i stålet till följd av solbestrålningen? (Hur stor kraft motsvarar detta?)

Lösning:

Den viktiga principen i detta sammanhang är att ”förhindrad rörelse ger upphov till spänningar”. I detta fall sitter alltså fönsterblecket helt stumt mot fönstersmygarna. Så fort blecket vill öka sin längd kommer alltså ett mothåll att förhindra rörelsen. När plåten har värmts upp till maxtemperaturen kan vi alltså betrakta den förhindrade rörelsen som en sammanpressning ΔL av dess längd (L_0) (egentligen från $L_0+\Delta L$ till L_0, men skillnaden blir försumbar). Plåten får en töjning ε (eller mer korrekt uttryckt: en stukning, eftersom det gäller sammanpressning). Med E-modulen för stål (210×10^9 enligt Tab 7.1) och med deformationer enligt uppgift 8.4 kan vi nu beräkna spänningen i stålet:

$\sigma=E\times\varepsilon = 210\times10^9 \times \Delta L/L_0 = 210\times10^9 \times0,6/1200 =$ **105 MPa.**

Sedan frågades också efter vilken kraft i blecket som detta motsvarar. Stålet har tvärsnittsytan $0,7\times120= 84$ mm^2 = 84×10^{-6}m^2. Kraften i stålet kan nu beräknas ur

$\sigma = F / A$ vilket ger $F = \sigma\times A = 105\times10^6 \times 84\times10^{-6} = 8820$ N.

(8820 N motsvarar tyngden av ca 900 kg. I verkligheten torde det finnas någon liten glipa där rörelsen kan få ske utan att skapa spänningar. Om spänningar skulle uppstå så kommer förmodligen blecket att bukta i höjdled istället. Vidare skulle kraften fördelas ut över fönsterbleckets uppvikta gavel.)

9 Beständighet

10 materials beteende vid höga temperaturer

11 Diverse egenskaper

12 Betong

12.1 En betong blandas så att den innehåller 300 kg cement (STD P) och 170 liter vatten. Dess lufthalt mäts (strax efter blandandet) till 3%.

- **a)** Beräkna betongens vct
- **b)** Bedöm dess tryckhållfasthet efter "full" härdning.
- **c)** Efter en månad är hydratationsgraden 0,75. Beräkna betongens totala porositet.
- **d)** Betongen torkar sedan (långsamt) till jämvikt med inomhusklimat, ca 40%RF. Bedöm dess krympning.
- **e)** En del av betongen används i balkongplattorna. Genom olyckliga omständigheter blir täckskiktet bara 15 mm. Bedöm hur lång tid det tar innan det finns avsevärd risk att armeringen börjar korrodera. Är det samma till till korrosionsstart på ovansidan som på undersidan?

Lösningar

a) Ekvation 12.1: vct=W/C = 170/300 = 0,567

b) Hållfastheten styrs så gott som fullständigt av vct. För en välhärdad betong med singelballast kan vi använda Figur 12.30: Tryckhållfastheten är cirka 44 MPa.

(Begreppet "full härdning" är något oexakt: Full härdning uppnås först efter många år. I huvudsak har dock betongen nått sin sluthållfasthet efter någon månads härdning med god tillgång till vatten. Absolut full härdning betyder att hydratationsgraden är 1,0.)

c) Ekvation 12.11:

$$P = \frac{C}{10}(vct - 0{,}19\alpha) + L = \frac{300}{10}(0{,}567 - 0{,}19 \cdot 0{,}75) + 3 = 15{,}7\%$$

(Den färdiga betongen, som alltså gjuts på arbetsplatsen, kan få en ännu högre porositet om inte kompakteringen görs ordentligt.)

d) Figur 12.34 ger (med vattenhalt 170 l och extra lufthalt=1%=10 l/m^3) slutkrympning vid torkning till jämvikt med 50%RF = 0,52 **‰**.

Figur 12.35 ger att slutkrympningen skall justeras upp med faktorn 105% för att kompensera för att torkningen går ända ned till 40%RF. Således är slutkrympningen 1,05×0,52=0,55‰ (avrundat värde)

e) Det är avsevärd risk att korrosionen startar när karbonatiseringen har nått in till armeringsstålet. En bedömning av tiden för detta kan göras mha figur 12.38. Vi kan anta att undersidan är regnskyddad och att ovansidan är utsatt för regn. Vi läser av vid karbonatiseringsdjupet 15 mm (dvs täckskiktets tjocklek) och läser cirka >100 år för den regnutsatta ovansidan respektive cirka 17 år för den regnskyddade undersidan.

12.2 Betongen i föregående uppgift härdar vid konstant temperatur 10 grader i 30 dygn. Bedöm dess tryckhållfasthet.

Lösning: Använd ekvation 12.17 med värden på faktorn *k* enligt figur 12.24. Tiden t_{20} (den ekvivalenta härdningsåldern) blir då
$t_{20} = \sum k_i \cdot \Delta t_i = 0{,}45 \cdot 30 = 13{,}5$ dygn.

Vi kan nu läsa av ett rimligt värde på hållfastheten ur figuren 12.25. Dock måste vi veta vad det var tänkt att vara för hållfasthetsklass på betongen. För detta kan vi ta hjälp av tabell 12.4 där vi ser att vct=0,567 kan ge en hållfasthetsklass K40 (kräver utförandeklass 1). Tendenskurvan fig 12.25 ger nu att hållfastheten kan förväntas vara cirka 35 MPa.

18 Trä

De tre första uppgifterna avser träs fuktbetingade rörelser.

18.1 En ekbräda med måtten 3000×120×21 (måtten gäller i huvudsak i fibrernas längsriktning, i tangentiella riktningen respektive i radiella riktningen) fuktas upp från fuktkvoten u=8% till u=17%. Beräkna brädans nya mått.

Lösning:
De nya måtten = de gamla måtten + de $\Delta\ell$ som uppfuktningen ger upphov till.

För trä kan fuktbetingade rörelser inom det hygroskopiska området approximativt anses vara linjära. Rörelserna kan därför beräknas enligt ekvation 18.3 och 18.4.
$\Delta\ell$ beräknas enligt ekvation 8.1: $\Delta l = \Delta\alpha \cdot l_0 = \alpha_f \cdot l_0 \frac{u_2-u_1}{u_f}$

där l_0 = ursprunglig längd
u_2 och u_1 är slutfuktkvot respektive startfuktkvot.
u_f är fibermättnadspunkten (en *fuktkvot*, se tab 18.4)
α_f är maximal rörelse (som uppnås vid ändring av fuktkvoten från 0% till fibermättnadspunkten)

Värdet på α_f varierar med riktning i virket i förhållande till stammens riktningar. För tydlighet skull kan det vara klokt att skriva ut
$\alpha_{f,f}$: maximal rörelse i fiberriktningen (dvs i stammens riktning)
$\alpha_{f,t}$: maximal rörelse i tangentiell riktning (tangenten till årsringarna när man tittar på ett snitt vinkelrätt mot stammens riktning)
$\alpha_{f,r}$: maximal rörelse i radiell riktning, dvs i riktning med stammens radie, alltså vinkelrätt mot årsringarna

Fibermättnadspunkten för ek är ca 23% (tab 18.4).
Oavsett vilken rörelseriktning vi skall räkna på så gäller att $\frac{u_2-u_1}{u_f} = \frac{17-8}{23} = 0{,}39$

Värden på α_f i de olika riktningarna ges i tabell 18.3.
För varje riktning kan vi nu beräkna längdändringen $\Delta\ell$:

$$\Delta l_{fiber} = \alpha_{f,fiber} \cdot l_{0,fiber} \cdot 0{,}39 = 0{,}004 \cdot 3000 \cdot 0{,}39 = 4{,}7\, mm$$

$$\Delta l_{tang} = \alpha_{f,tang} \cdot l_{0,tang} \cdot 0{,}39 = 0{,}089 \cdot 120 \cdot 0{,}39 = 4{,}2\,mm$$

$$\Delta l_{rad} = \alpha_{f,rad} \cdot l_{0,rad} \cdot 0{,}39 = 0{,}045 \cdot 21 \cdot 0{,}39 = 0{,}37\,mm$$

Den nya längden blir 3000+4,7 = 3004,7 mm.
Den nya bredden blir 120+4,2 = 304,2 mm.
Den nya tjockleken blir 21+0,39 = 120,39 (120,4) mm.

Anm: De olika fiberriktningarna är sällan (aldrig) helt parallella med brädans sidor. Särskilt rörelserna i bredd- och tjockleksriktningarna kommer att bli någon sorts mellanting av rörelserna i tangentiell och radiell led.

18.2 Ett stycke furu fuktas upp från helt torrt tillstånd till fuktkvoten u=45% (genom att provet sänks ned i vatten en lång tid). Beräkna längdändringen som sker vid uppfuktningen i följande fall:

A: I riktning längs fibrerna (ursprunglig längd 2m).
B: I radiell riktning (ursprungligt mått 45mm).

Lösning:

Rörelsen beräknas enligt ekv 18.3 och 18.4.
OBS! Rörelse sker endast upp till $u = u_f$ = fibermättnadspunkten. I detta fall är alltså $u_2 = u_f \approx 30\%$ (enligt Tab 18.4). (Uppfuktning till $u > u_f$ ger inga volymsändringar.)

Beräkningarna görs på följande sätt:

$\Delta L = \Delta\alpha \times L_0$
$\Delta\alpha = (u_2-u_1)/u_f \times \alpha_f$ jfr ekvation 18.3 och 18.4
dvs $\Delta L = (u_2-u_1)/u_f \times \alpha_f \times L_0$
$u_2 = 30\%$
$u_1 = 0\%$

<u>A:</u> α_f i fiberriktningen är 0,4%. L_0 är 2m = 2000 mm.
$\Delta L = (u_2-u_1)/u_f \times \alpha_f \times L_0 = (30-0)/30 \times 0{,}4\% \times 2000 =$ <u>0,8 mm</u>.

<u>B:</u> α_f i radiell riktning är 4%. L_0 är 45mm.
$\Delta L = (u_2-u_1)/u_f \times \alpha_f \times L_0 = (30-0)/30 \times 4\% \times 45 =$ <u>1,8 mm</u>.

18.3: Nisse lägger ett trägolv av ek en dag i januari. Han mäter fuktkvoten i bräderna till 9%. Nisse är rädd för att bräderna skall svälla när sommaren kommer, och han tänker därför lämna en liten glipa just intill väggarna så att golvet kan röra sig fritt. Golvet är 5 m brett.

A: Hjälp Nisse att göra en rimlig bedömning av hur bred glipan måste vara!

Lösning:

Träet kommer att svälla och krympa i takt med fuktförändringarna. Vi kan därför använda ekv 18.3 och 18.4 för att beräkna rörelserna, se ovan. För detta behöver vi veta hur mycket fuktkvoten kan komma att variera i golvet. Detta kan vi bedöma ur sorptionsisotermen förutsatt att vi vet hur klimatet (RF) kommer att variera.

Det är RF inomhus som har betydelse för träet. Eftersom temperaturen inomhus är ungefär konstant året runt, så blir RF inomhus som högst när ånghalten utomhus är som högst. Klimatdata enligt fig 5.3 visar att högsta ånghalt nås i juli/augusti. Antag att vi befinner oss i Malmö (detta antagande ger större säkerhet för Nisse än om vi antar Östersund). Max ånghalt utomhus är då cirka 11 g/m^3. Vid inomhustemperaturen 20°C ger detta RF = 11/17,28 ≈ 64%. Enligt sorptionsisotermen fig 5.32f får *furu* då fukthalten 64 kg/m^3 (absorptions-isotermen eftersom virket startade vid 9% fuktkvot), vilket ger fuktkvoten u = 12,5%. Vi vet nu alltså följande indata till ekv 18.3: u_2= 9%, u_2= 12,5%. Fibermättnadspunkten för ek är 23% enligt Tab 18.4

Glipan måste vara så bred att golvet inte börjar trycka mot väggarna när det tar upp fukt och sväller. Rörelserna blir störst tvärs bräderna (eftersom den radiella och den tangentiella rörelsen är mycket större än den i fiberriktningen). Det blir därför i golvets breddriktning som den farliga svällningen kan uppstå. Vi skall således utgå från L_0=5 m. Eftersom det gäller tangentiell och radiell rörelse så blir α_f <u>för ek</u> enligt Tab 18.3; $\alpha_{f,tang}$ = 8,9% och $\alpha_{f,rad}$ = 4,5%. Vi utgår från att bräderna huvudsakligen har årsringarna någorlunda parallella med över- och underyta. Det är således den tangentiella riktningens värden som vi skall använda (det ger oss också värden ”på säkra sidan”).
Golvets breddökning kan nu beräknas

$\Delta L = (u_2-u_1)/u_f \times\alpha_f \times L_0$ = (12,5-9)/23×8,9%×5000 = 67,7 mm.

För att inte riskera att golvet börja trycka mot väggarna måste Nisse lämna en glipa på 34 mm runt om golvet (67,7/2≈34).

Anm 1: I beräkningen av RF inomhus har hänsyn inte tagits till att det också finns ett fukttillskott inomhus som bidrar till att höja RF.
Anm 2: I verkligheten går fuktkvotsändringarna så långsamt att det inte är säkert att hela golvmaterialet kommer upp till 12,5% innan luftfuktigheten återigen börjar sjunka.