

# Övningsuppgifter till Byggnadsfysik – så fungerar hus

## Kapitel 4

### Beräkningsmodul 4A

1. Beräkna hur stort värmefflöde som går genom följande material med ytorna 5 m<sup>2</sup> där ytemperaturerna på ena sidan är 22°C och på andra sidan är -8°C:

- a) 170 mm betongskiva  $\lambda = 1.7 \text{ W/mK}$
- b) 210 mm lättbetong  $\lambda = 0.14 \text{ W/mK}$
- c) 100 mm cellplast  $\lambda = 0.033 \text{ W/mK}$
- d) 21 mm träpanel  $\lambda = 0.14 \text{ W/mK}$

### Beräkningsmodul 4B

2. För en dåligt värmeisolerad byggnad är konduktansen för väggarna inkl fönster 48 W/K, konduktansen för taket 32 W/K och konduktansen för golvet 24 W/K.

a) Beräkna värmefflödet genom byggnadens omslutningsytor då temperaturerna är 20°C inomhus och 0°C utomhus. Konduktanserna inkluderar ytornas värmeövergångskoefficienter mot luft.

b) Efter en tilläggsisolering förbättrades byggnadsdelarnas värmemotstånd så att dess totala värmemotstånd inkl övergångsmotstånd mot luft fick följande värden:

för väggarna exkl fönster och dörrar	$R_{\text{tot,vägg}} = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$
för fönster och dörrar	$R_{\text{tot,fönst,dörr}} = 0.5 \text{ m}^2\text{K/W}$
för taket	$R_{\text{tot,tak}} = 6 \text{ m}^2\text{K/W}$
för golvet	$R_{\text{tot,golv}} = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$

Byggnaden har måtten 8m x 12m x 2.4m där fönster- och dörrarean utgör 15% av väggarean. Beräkna värmefflödet genom byggnadens omslutningsytor för dessa nya förutsättningar för i övrigt samma temperaturförhållanden och jämför med tidigare värden.

3. Beräkna värmefflödet genom en flerskiktstruktur bestående av ett invändigt värmeisoleringskikt och ett utvändigt lättbetongskikt samt beräkna temperaturen i gränssnittet mellan de båda materialen. Ytemperaturerna är på betongens utsida -10°C och på isoleringskiktets insida 20°C. Väggarean är 5 m<sup>2</sup>. Följande data gäller:

100 mm	värmeisolering	$\lambda = 0.033 \text{ W/mK}$
100 mm	lättbetong	$\lambda = 0.14 \text{ "}$

4. Beräkna temperaturfördelningen genom nedan beskriven yttervägg då ytemperaturerna är 20°C på insidan och -10°C på utsidan.

120 mm	tegelfasad	$\lambda = 0.60 \text{ W/mK}$
20 mm	asfaboard	$\lambda = 0.066 \text{ W/mK}$
140 mm	mineralull	$\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$
13 mm	gipsskiva	$\lambda = 0.22 \text{ W/mK}$

## Beräkningsmodul 4C

**5.** Uppskatta värmeöverföringskoefficienten för en yta där värmeöverföringen sker från ytan till luften förorsakad av konvektion under följande förutsättningar:

- en luftström 4 m/s parallellt med ytan
  - på lovartsidan av en byggnad då vindhastigheten är 6 m/s
  - på läsidan av en byggnad då vindhastigheten är 6 m/s
  - på insidan av en vägg då temperaturskillnaden mellan vägg och luft är 3°C
  - vid golv då golvtemperaturen är 17°C och lufttemperaturen 21°C.
- f) Hur stor blir värmeöverföringen i fall c om den aktuella arean är 5 m<sup>2</sup> och temperaturskillnaden 3 grader Celsius.

## Beräkningsmodul 4D

**6.** Beräkna hur stort det resulterande värmeflödet ut blir genom fönster med ytan 2.5 m<sup>2</sup>, då dessa är av typen en-glas, två-glas resp. 3-glas fönster. Solen strålar vinkelrätt fönsterytan med intensiteten 300 W/m<sup>2</sup>. Temperaturerna är inne 20°C och ute -10°C. Transmittansen för olika fönstertyper finns angiven i en figur 4D.1, sid 67. Det totala värmemotståndet (inkl. övergångsmotstånd) för ett englasfönster är 0.17, för tvåglasfönster 0.35 och för treglasfönster 0.53 m<sup>2</sup>K/W.

## Beräkningsmodul 4E

**7.** Man vill studera strålningsutbytet mellan två väggar med olika temperaturer. Väggarna är parallella och kan anses ha stor utsträckning i yttled. Yttertemperaturerna är 20°C respektive 10°C. Beräkna nettostrålningen från den varma ytan till den kallare under följande tre förutsättningar:

- båda ytorna har emittansen 0.9
- ytornas emittans är 0.9 respektive 0.2
- båda ytorna har emittansen 0.2

Räkna med att de motstående ytorna är 10 m<sup>2</sup> vardera.

**8.** Uppvärmningen i en lägenhet sker med en radiator som är plan med ytan 0.80 m<sup>2</sup>. Rummets övriga areor (golv, väggar och tak) är sammanlagt 50 m<sup>2</sup>. Beräkna nettoutstrålningen mot rummet från en sådan radiator som har temperaturen 40°C. Rummets övriga ytor kan antas ha temperaturen 21°C. Beräkna dessutom hur mycket mer värme som lämnar radiatoren om dess temperatur ändras till 80°C. Emissionstalen är för radiatoren 0.97 och för alla övriga ytor 0.90.

## Beräkningsmodul 4F

**9.** En 4 cm bred vertikal spalt har sådana ytegenskaper att strålningsöverföringen kan försummas. Beräkna värmeöverföringen över spalten för en 8 m<sup>2</sup> yta då temperaturdifferensen mellan ytorna är 22°C. Antag att värmeledningsförmågan för stillastående luft är 0.024 W/mK och att den konvektiva värmeöverföringskoefficienten över den aktuella spalten är 1.5 W/m<sup>2</sup>K. Jämför resultatet med figur 4F.2 som visar värmeöverföringskoefficienten för ledning och konvektion.

**10.** Man vill studera värmeöverföringen över en sluten luftspalt. Beräkna för detta ändamål först värmemotståndet över en vertikal oventilerad luftspalt i en yttervägg. Spaltens vidd är 5 cm. Medeltemperaturen i spalten är  $18^{\circ}\text{C}$ .

Beräkna därefter värmemotståndet för en likadan spalt som är horisontell i exempelvis en takkonstruktion med i övrigt samma temperaturer och area. Värmeöverföringskoefficienten för konvektion och ledning i en vertikal luftspalt är  $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ , och värmeöverföringskoefficienten för konvektion i en horisontell luftspalt med stabil skiktning är  $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Luftens värmeledningsförmåga är  $\lambda = 0.026 \text{ W/mK}$ .

Ytornas emissionstal är 0.90 resp. 0.93.

Utnyttja framräknade värden för att ange respektive spalts värmemotstånd.

#### Beräkningsmodul 4G

**11. a)** Temperaturen på en yttervägg med arean  $10 \text{ m}^2$  är  $1^{\circ}\text{C}$  varmare än utetemperaturen. Uppskatta hur mycket värme som avges från väggen till omgivningen!

**b)** Uppskatta på samma sätt hur mycket värme som strömmar mot ett  $70 \text{ m}^2$  stort innertak från en innemiljö som är  $1^{\circ}\text{C}$  varmare.

Ledning: Använd schablonvärde utifrån europastandard!

#### Beräkningsmodul 4H

**12.** Beräkna den ekvivalenta utetemperaturen för ett låglutande tak med svart papptäckning ( $\epsilon = 0.97$ ) under nattetid då uteluftens temperatur är  $-5^{\circ}\text{C}$ . Den konvektiva värmeöverföringskoefficienten vid ytan är  $\alpha_k = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**13.** Under dagtid strålar solen mot ett låglutande tak med intensiteten  $600 \text{ W/m}^2$  vinkelrät takytan. Gör en värmebalans för takytan och bestäm dess ekvivalenta utetemperatur. Uteluftens temperatur är  $0^{\circ}\text{C}$ . Takytans absorptans är 0.90. Värmeöverföringskoefficienten för konvektion och strålning (dvs den långvågiga strålningen) vid takytan kan sättas till  $\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Antag att den motstrålande temperaturen är lika med utetemperaturen!)

**14.** En enkel arbetsbod blir väldigt varm sommartid. Tak och väggar är gjorda av enbart profilerade plåtar på en enkel stålstomme. Beräkna plåtarnas yttemperatur på insidan då solstrålningen är  $800 \text{ W/m}^2$  mot taket,  $600 \text{ W/m}^2$  mot söderväggen och  $200 \text{ W/m}^2$  mot övriga väggar vinkelrätt mot ytorna. Vad är plåtens temperatur? Plåtyornas absorptans är 0.85. Temperaturerna inomhus är  $26^{\circ}\text{C}$  och utomhus  $18^{\circ}\text{C}$ . Värmeövergångsmotstånden är på insidan plåten 0.13 och på utsidan plåten  $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Plåtarnas värmemotstånd är så litet att det kan försummas. (Antag att den motstrålande temperaturen är lika med utetemperaturen!)

**15.** En kallvind har ett väl värmeisolerat vindsbjälklag och yttertak av träpanel och papptäckning. Under dagtid utsätts tätskiktet för solstrålning med intensiteten  $600 \text{ W/m}^2$  vinkelrät mot takytan där absorptionskoefficienten kan antas vara 0.93, medan utomhustemperaturen är  $8^{\circ}\text{C}$ . Samtidigt är temperaturen i kallvinden  $11^{\circ}\text{C}$ . Beräkna yttertaketets yttemperatur i tätskiktet.

Yttertaketets träpanel inkl. tätskiktet har värmemotståndet  $0.20 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Den konvektiva värmeöverföringskoefficienten för utsidan av taket är  $\alpha_k = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  (räkna inte med den

långvågiga strålningen vilken kan anses vara försumbar). Den inre ytans värmeöverföringskoefficient för strålning och konvektion är  $4 \text{ W/m}^2\text{K}$  (takyta mot kallvind).

#### Beräkningsmodul 4I

**16.** En yttervägg är uppbyggd med lättbetongelement som på utsidan värmeisolerats med mineralull och därefter försetts med puts enligt beskrivningen nedan. Insidan är målad. Beräkna U-värdet för denna väggkonstruktion.

Nu vill man förbättra väggens värmeisoleringsförmåga genom att förse insidan med cellplastisolering och täcka denna med en gipsskiva.

Beräkna hur tjock denna cellplastisolering minst måste vara för att väggen ska få ett U-värde på högst  $0.240 \text{ W/m}^2\text{K}$

Väggens ursprungliga uppbyggnad var från utsidan:

15 mm	puts	$\lambda =$	1.0	W/mK
50 mm	mineralull	$\lambda =$	0.036	W/mK
150 mm	lättbetong	$\lambda =$	0.11	W/mK
Invändig målning		R=	0	$\text{m}^2\text{K/W}$

Med den extra värmeisoleringen tillkommer på väggens insida:

ett skikt cellplast		$\lambda =$	0.033	W/mK
en gipsskiva		R=	0.06	$\text{m}^2\text{K/W}$

De inre och yttre värmeövergångsmotstånd är  $R_{si} = 8$  resp.  $R_{se} = 25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

**17.** Beräkna värmetransporten genom en yttervägg under dagen då solen skiner med en intensitet som vinkelrät väggen är  $450 \text{ W/m}^2$ . Utetemperaturen är  $7^\circ\text{C}$  och inomhustemperaturen är  $20^\circ\text{C}$ . Ytterväggens absorptionstal för solstrålningen är 0.75.

Värmeöverföringskoefficienten för ytterytan kan sättas till  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , medan innerytans värmeöverföringskoefficient kan sättas till  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Gör beräkningen för en 10 kvadratmeter stor väggyta.

Uttryck därefter värmetransporten i  $\text{W/m}^2\text{K}$ , där temperaturdifferensen är skillnaden mellan inne- och utetemperaturen (ett så kallat effektivt U-värde), och jämför med väggens normala U-värde. Väggmaterialets sammanlagda värmemotstånd är  $4 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

**18.** Snö på tak medför oftast förbättrad värmeisolering. Visa därför med hjälp av beräkningar hur värmeisoleringsgraden uttryckt i U-värde förändras med ett 20 cm tjockt snölager på taket. Beräkna U-värdet för två fall med utetemperaturen  $-18^\circ\text{C}$  resp.  $-8^\circ\text{C}$  och jämför med det U-värde man normalt räknar med. Sätt inomhustemperaturen  $22^\circ\text{C}$ . Beräkna också takytans temperatur. Taket är uppbyggt av ett värmeisolerat takbjälklag och ett yttertak av träpanel med en mellanliggande luftspalt som i detta fall är oventilerad. Takbjälklagets totala värmemotstånd från luft till luft är  $3.50 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Yttertaket är av valmat typ vilket gör att takytan kan anses vara densamma som bjälklagets yta. Yttertaketets totala värmemotstånd från luft till luft är  $0.50 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Snön kan anses ha värmeledningsförmågan  $0.10 \text{ W/mK}$ . Värmeöverföringskoefficienten för konvektion och strålning på utsidan yttertaket resp. snön kan sättas till  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Fundera sedan över hur värmeförlusterna skulle förändras om taket med sitt snötäcke vore utomhusventilerat och utomhusluften var en bra bit över noll grader, säg  $5-10^\circ\text{C}$ .

## Kapitel 5 Luftflöden och ventilationssystem

### Beräkningsmodul 5A

**19.** En skruvmejsel har tryckts igenom ett lufttätt skikt som det råder en tryckskillnad på 10 Pa över. Avtrycket har en rektangulär form med bredden 9 mm och höjden 2 mm. Hur mycket luft strömmar igenom hålet på en timme respektive ett dygn?

### Beräkningsmodul 5B

**20.** En husägare upptäcker att det finns ett runt hål med diametern 10 cm genom bjälklaget mot vinden i en villa, där det tidigare gått ett rör från en spis. Hålet tätas med några glasfiberskivor med densiteten  $150 \text{ kg/m}^3$ . Tjockleken på skivorna blir tillsammans 6 cm. Tryckskillnaden över bjälklaget är 2 Pa. Hur mycket luft strömmar igenom skivan under ett dygn?

### Beräkningsmodul 5C

**21.** I en villa med två våningar är temperaturen  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  och ute är det  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  en vindstilla vinternatt. Avståndet mellan nedre våningens golv och andra våningens innertak är 5 m. Inom vilket spann ligger tryckskillnaden över ytterväggen vid höjden av a) det nedre golvet b) mellanbjälklagets höjd och c) andra våningens innertak?

### Beräkningsmodul 5D

**22.** Luftflödet från en byggnad med frånluftssystem ha mätts upp till  $95 \text{ m}^3/\text{h}$ . Hur stor värmeeffekt kräver denna ventilation? Utetemperaturen är  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  och innetemperaturen hålls vid  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hur mycket värme (energi) krävs för att täcka värmeförlusten pga. ventilation under en månad.

## Kapitel 6 Värmelagring

### Beräkningsmodul 6A

**23.** I en ny villa används på försök ett solitt trägolv med tjockleken 22 cm. Golvarean är  $120 \text{ m}^2$ . Under golvet ligger en mycket tjock värmeisolering. Hur mycket värme kan lagras i träet om innetemperaturen stiger med  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Ange svaret både i enheten Joule och kWh.

### Beräkningsmodul 6B

**24.** Innetemperaturen i villan varierar över dygnet så att skillnaden mellan natt och dagstemperatur är  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Det är varmast på dagen. Vilket inträngningsdjup uppstår i träet? Hur mycket värme lagras från dag till natt?

Antag att temperaturvariationen i ändras till att ske över vecka istället. Det är varmast på helgen. Vilket inträngningsdjup uppstår i träet? Hur mycket värme lagras från helgen till mitt i veckan?

#### Beräkningsmodul 6C

**25.** I en byggnad har man valt att göra massiva träväggar med tjockleken 0,15 m och höjden 2,4 m. Den totala längden på alla väggar är 20 m. Värmeisolering finns på utsidan av träet. Luftomsättningen i byggnaden är 0,5 l/h och det genomsnittliga U-värdet (inklusive träets egen isolerande förmåga) för klimatskalet är 0.2 W/m<sup>2</sup>K. Klimatskalets totala yta är 300 m<sup>2</sup>. Den inre ventilerade luftvolymen är 250m<sup>3</sup>. Vid en viss given tid, då uppvärmningen stängs av, är innetemperaturen 20 °C. Utetemperaturen är konstant 5°C under den aktuella tiden. Efter hur lång tid har innetemperaturen sjunkit till 15 °C? Bortse från solinstrålning och annat tillskottsvärme.

### Kapitel 7 Fukttillstånd

#### Beräkningsmodul 7A

**26.** I en lokal är temperaturen 21°C och relativa ånghalten 35%. Utomhus är temperaturen 0°C och relativa ånghalten 80%.

Beräkna:

- aktuell ånghalt inomhus
- mättnadsånghalten för inomhustemperaturen
- relativa ånghalten inomhus under natten då temperaturen sänks till 16°C
- vid vilken temperatur inomhus kondens inträffar
- skillnaden mellan inne- och uteånghalt (det sk. fukttillskottet)

#### Beräkningsmodul 7B

**27.** Granvirke som var avsett att byggas in i byggnader hade lagrats utomhus under en längre tid då temperaturen var -5 °C och relativa ånghalten var omkring 95%. Efter inbyggnad befann sig virket i en miljö som var omkring 35% relativ ånghalt. a) Bestäm materialets fukthalt och b) fuktkvot vid inbyggnaden samt c) materialets byggfukt. Denna definieras som skillnaden i fukthalt före och efter inbyggnad efter lång tid. Vilken d) fukthalt och e) fuktkvot kan man räkna med efter inbyggnad och uttorkning av byggfukten. Om materialet istället hade byggts in i källarvåningens tvättstuga där den relativa ånghalten i genomsnitt var betydligt högre, uppemot 70%, f) vad skulle då materialets byggfukt vara?

#### Beräkningsmodul 7C

**28.** Efter en provtagning av material i en byggnad läggs en 1 cm<sup>3</sup> betongbit (K40) i samma täta plastpåse med samma temperatur som en spånskiva med densiteten 610 kg/m<sup>3</sup>. Volymen på spånskivan är 5 ggr större än betongen. Tillsammans väger fukten i de två proverna 0.4 g. Vilken RF råder i plastpåsen efter lång tid? (En dominerande del av fukten finns i betongen vid start!)

## Beräkningsmodul 7D

**29.** På ett betonggolv som ligger direkt på marken monteras ett övergolv bestående av träreglar och spånskivor. Som golvbeläggning används en helt tät matta. Uppskatta fukthalten i träreglar och träfiberskivor vid jämvikt. Förutsätt att temperaturen är lika genom hela golvet. (Hjälp: RF i marken kan uppskattas till 100%, se s 183 i kap 11 om markfukt)

## Kapitel 8 Fukttransport

## Beräkningsmodul 8A

**30.** Beräkna hur mycket fukt man kan räkna med att det diffunderar genom en 200 mm tjock homogen lättbetongvägg till en industribyggnad under en kalendervecka. Väggens area är 60 m<sup>2</sup>. Inneluften har temperaturen 22 °C med relativa ånghalten 50% och uteluften har temperaturen 5 °C med relativa ånghalten 71%. Lättbetongens ånggenomsläpplighet  $\delta$  är  $4 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

## Beräkningsmodul 8B

**31.** En yttervägg har följande uppbyggnad:

120 mm	Tegel	med ånggenomsläpplighet $\delta = 4 \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s
20 mm	Asfaboard	“ $\delta = 2 \times 10^{-6}$ “
120 mm	Mineralull	“ $\delta = 25 \times 10^{-6}$ “
13 mm	Gipsskiva	ånggenomgångsmotstånd $Z = 2 \times 10^3$ s/m

Utomhus är temperaturen 5 °C och relativa ånghalten 71%. Inomhus är temperaturen 21 °C och relativa ånghalten 44%.

Beräkna ånghaltsfördelningen genom hela väggkonstruktionen (materialslikten är valda så att någon kondens inte uppstår).

Förändra därefter konstruktionen genom att placera en ångspärr med ånggenomgångsmotståndet  $Z = 3 \times 10^6$  s/m mellan gipsskivan och mineralullen, och visa hur mycket ånghalten sjunker över ångspärren i förhållande till väggen. Hur skiljer sig ångtransporten genom de båda konstruktionsalternativen?

**32.** En 200 mm tjock lättbetongvägg (densitet 500 kg/m<sup>3</sup>) är från början byggfuktig. Temperaturerna är på väggens insida 20 °C och på väggens utsida 0 °C. Ånghalten är på insidan 8 g/m<sup>3</sup> och på utsidan 4 g/m<sup>3</sup>. Beräkna fukthalten genom väggen efter det att väggen torkat ut till jämvikt med omgivningen. Dela vid beräkningen upp väggen i 4 lika stora materialskikt. Approximera ånggenomsläppligheten till att vara oberoende av lättbetongens fukthalt.

## Beräkningsmodul 8C

**33.** För en lätt takkonstruktion med cellplastisolering vill man testa en idé om att ersätta den invändiga ångspärren med en speciellt framtagen kapillärsugande filt som placeras mellan takets tätskikt och cellplasten på takets kalla sida och som drages fram till takets insida i skarvarna mellan takelementen. På insidan av taket viks filten mot takytan och bildar på så sätt avdunstningsytor för det vatten som sugas kapillärt från den kondenszon som finns alldeles under tätskiktet. Dessa avdunstningsytor är 20 mm för varje takelement som är 600

mm. Filten har sådana kapillärsugande egenskaper att vattentransporten alltid är minst lika stor som avdunstningen på ytan. Din uppgift är nu att kolla att befintliga avdunstningsytor är tillräckliga för att avleda den fukt som kondenserar alldeles under tätskiktet. Takets material är följande:

Cellplast	d= 165 mm	$\lambda = 0.033 \text{ W/mK}$	$\delta = 3.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Kapillärsugande filt	d= 4 “	$\lambda = 0.040 \text{ “}$	$\delta = 4.0 \times 10^{-5} \text{ “}$
Tätskikt	d= 20 “	$\lambda = 0.071 \text{ “}$	$\delta = 2.0 \times 10^{-9} \text{ “}$

Temperaturerna är inomhus 22 °C och utomhus 0 °C.

Relativa ånghalterna är inomhus 50% och utomhus 85%.

För avdunstningen gäller fuktövergångskoefficienten  $\beta = 0.003 \text{ m/s}$ .

Inre och yttre värmeövergångsmotstånden är 0.13 resp 0.04 m<sup>2</sup>K/W.

#### Beräkningsmodul 8D

**34.** Hur mycket fukt förs ut med hjälp av ventilationen från ett rum med volymen 50 m<sup>3</sup> och luftomsättningen 0,5 1/h om uteånghalten är 4 g/m<sup>3</sup>, innetemperaturen är 20 °C och RF inne är lika med 40%. Hur mycket fukt ventileras ut under ett dygn?

#### Beräkningsmodul 8E

**35.** Två skivor av olika material kommer vardera i kontakt med vatten på sin ena sida. Jämför med beräkningar hur lång tid det tar tills vattenfronten tränger genom respektive skiva, samt hur stor fukt som totalt sugits upp efter denna tid. Skivorna utgörs av 12 cm betong (K20) respektive tegel  $\rho = 1700$ .

**36.** I laboratoriet bestämmer man materials kapillaritetskoefficient genom att mäta uppsugen vattenmängd under 1 minut. Uppskatta en tegelstens kapillaritetskoefficient då den vid ett test sugit upp 100 g vatten under 1 minut genom flatsidan. Dimension på standard tegelsten är 12x25x6,2 cm.

#### Beräkningsmodul 8F

**37.** En lättbetongskiva med densiteten 510 kg/m<sup>3</sup> har olika ånghalter i de två motstående ytterytorna. Uppskatta fukttransporten genom den 10 cm tjocka skivan vid en ånghaltskillnad på 1 g/m<sup>3</sup> och en genomsnittlig RF i skivan på 20% respektive 80%. Vad är relationen mellan dessa två fuktflöden?

#### Beräkningsmodul 8G

**38.** En fuktig 2 m lång träregel av gran (45x180 mm) ligger på en plastfolie. Uppskatta hur mycket fukt som lämnar regeln under ett dygn genom flatsidan uppåt! Den relativa fuktigheten i träet är 90% och omgivande luft har RF=50%. Temperaturen är 15 °C. Värdet på ångövergångsmotståndet vid ytan kan uppskattas till 200 s/m.



## Beräkningsmodul 8H

**39.** Ånghalten vid ytan av en hård träfiberskiva med densiteten  $1000 \text{ kg/m}^3$  varierar över dygnet så att skillnaden mellan min- och maxvärde är  $1,5 \text{ g/m}^3$ . Temperaturen är  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vilken amplitud har ånghalten på 2 mm djup? RF i rummet är cirka 50%.

## Kapitel 10 Värmskydd

## Beräkningsmodul 10A

**40.** En sfäriskt format oventilerat utrymme har radien 2 m och ett U-värde på klimatskalet på  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Inne i sfären finns ett värmeelement på 500 W. Hur mycket varmare blir det inne i sfären än utanför?

## Beräkningsmodul 10B

**41.** Det sfäriska utrymmet i uppgiften ovan börjar ventileras med uteluft och en luftomsättning på 0,5 1/h. a) Vilken temperaturskillnad blir det då mellan insida och utsida? För att höja innetemperaturen används en värmeväxlare med temperaturverkningsgraden 0,8. b) Vilken temperaturskillnad blir det nu mellan insida och utsida?

## Beräkningsmodul 10C

**42.** Dygnsmedelvärdet av utetemperaturen över året kan beskrivas med en sinusvängning med en viss amplitud runt ett årligt medelvärde. För en viss ort är detta medelvärde  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  och säsongsamplituden lika med  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Uppskatta antalet gradtimmar över ett halvår då temperaturen ligger under årsmedelvärdet! Anta att innetemperaturen hålls till  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Beräkna också medeltemperaturen ute under det kallare halvåret.

## Kapitel 11 Fuktskydd

## Beräkningsmodul 11A

**43.** Beräkna fuktillskottet, ånghalten samt den relativa ånghalten inomhus i en bostad i Göteborg under sommartid respektive vintertid. Bostadens yta är  $125 \text{ m}^2$  med takhöjden 2.4 m. Fuktproduktionen kan sättas till  $12 \text{ kg/dygn}$  året om. Temperaturerna är utomhus under vintern  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$  och under sommaren  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , medan den är inomhus är  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  (medeltemperaturer). Relativa ånghalten är utomhus under sommaren 73% och under vintern 82%. Ventilationen är under vintern 0.5 oms/h och under sommaren 1 oms/h.

**44.** Man kan förvänta sig att fuktigheten i rum varierar över tiden. Gör en beräkning för hur den relativa ånghalten förändras i ett sovrum från det att två personer går till sängs tills det att 2, 4 resp. 8 timmar har gått. Rummets volym är  $28 \text{ m}^3$ . Fuktbelastningen för en person antas vara  $35 \text{ g/h}$  (sovande). Luftomsättningen nattetid är hälften av normal luftomsättning dagtid, dvs  $\frac{1}{2} \times 0.5 \text{ oms/h}$ . Utomhus är temperaturen  $-3 \text{ }^\circ\text{C}$  och relativa ånghalten 95%. Inomhus är temperaturen  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vid sänggåendet antas rummet vara väl vädrat så att luften har samma fuktinnehåll som utomhusluften medan temperaturen inomhus är  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Om man vill maximera den relativa ånghalten inomhus till ex.vis 50%, vilket luftomsättning måste man då ha i sovrummet efter 8 timmar?

## Kapitel 12 Ytterväggar och fönster

### Beräkningsmodul 12A

**45.** Ett sätt att öka värmeisoleringen i fönster är att förse glasytorna med lågemissionsskikt. Beräkna för ett sådant 2-glas fönster hur stor värmetransporten blir då glasytorna som vätter mot luftspalten försetts med lågemissionsskikt med emissionsfaktorn  $\varepsilon = 0.20$ . Innetemperaturen är  $20^\circ\text{C}$  och utomhustemperaturen är  $0^\circ\text{C}$ . Värmeöverföringskoefficienten för konvektion och ledning i spalten mellan glasen kan sättas till  $\alpha_{kl} = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Värmeöverföringskoefficienterna för konvektion och strålning  $\alpha_k + \alpha_s$  kan sammanfattas med  $\alpha_e = 25$  på fönstrets utsida och  $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  på fönstrets insida. Glasrutorna har inget nämnvärt värmemotstånd. Beräkna som jämförelse värmetransporten genom samma fönster men med obehandlade glasytor. Vanligt fönsterglas har emissionsfaktorn  $\varepsilon = 0.92$ .

**46.** Studera värmebalansen för ett 2-glas fönster med en spaltvidd mellan glasen på 2 cm. Fönsterarean är  $3 \text{ m}^2$ . Temperaturerna är utomhus  $-5^\circ\text{C}$  och inomhus  $20^\circ\text{C}$ . Solintensiteten mot fönstret är  $300 \text{ W/m}^2$ . Glasens värmemotstånd försummas. Emissionstalet för glas är 0.92. Beräkna värmeförlusterna genom fönstret under inverkan av solstrålningen alternativt utan solstrålning. Värmeöverföringskoefficienterna för konvektion och strålning är på utsidan  $\alpha_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  och på insidan  $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Spalten mellan glasen är så liten att luften huvudsakligen är stillastående. Luften har värmeledningsförmågan  $\lambda = 0.026 \text{ W/mK}$ . Antag att solstrålningen inte absorberas alls i glaset medan fönstrets transmissionsfaktor ligger på 0.76 (övrigt reflekteras).

### Beräkningsmodul 12B

**47.** Ytterväggarna till en industribyggnad består utifrån av en metallplåt, 15 cm mineralullsisolering med densiteten  $200 \text{ kg/m}^3$  och värmeledningsförmågan  $0.04 \text{ W/mK}$  och innerst en 19 mm tjock spånskiva. Under 3 vintermånader är utetemperaturen i snitt  $-5^\circ\text{C}$  medan innetemperaturen hålls till  $18^\circ\text{C}$ . RF utomhus är 90% och fukttilskottet i lokalen är  $2 \text{ g/m}^3$ . Hur mycket vatten kondenserar inne i väggen.

## Kapitel 13 Tak och vindar

### Beräkningsmodul 13A

**48.** Ett oventilerat yttertak som är låglutande är belagt med svart asfaltpapp på ovansidan. Beräkna hur värmeflödet genom taket och temperaturen på takytan förändras då solen skiner en tidig vårdag. Temperaturerna antas vara desamma oavsett solstrålningen och är inomhus  $22^\circ\text{C}$  och utomhus  $0^\circ\text{C}$ . Solstrålningens intensitet vinkelrätt mot takytan är  $400 \text{ W/m}^2$ . Ytans absorptionsfaktor för kortvägig strålning är  $\alpha_{sol} = 0.93$ . Taket har värmemotståndet  $4 \text{ m}^2\text{K/W}$

(från inneluft till ytteryta). Värmeövergångskoefficienten för konvektion och strålning på takets utsida är  $\alpha_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $\alpha_c + \alpha_s = \alpha_e$ ).

**49.** Man vill kontrollera lägsta yttemperatur på ett taks tätskikt under klara kalla nätter. Taket är ett låglutande ventilerat yttertak med svart asfalttäckning med emissionstalet 0.97. Gör en yttemperaturberäkning då utomhustemperaturen är  $-20^\circ\text{C}$  och temperaturen i takets ventilationsutrymme är densamma som ute. Yttertaketets värmemotstånd från luften i ventilationsutrymmet till yttertaketets ytteryta kan sättas till  $0.30 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Värmeövergångskoefficienten vid yttre ytan kan sättas till  $\alpha_k=25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**50.** Man vill för en uteluftsventilerad kallvind studera hur vindstemperaturen påverkas av solstrålning på taket. Kallvinden har planmått 8m x 14m med taklutningen  $45^\circ$ . Yttertakens och gavlarnas värmemotstånd inkl övergångsmotstånd är  $1.0 \text{ m}^2\text{K/W}$  och vindsbjälklagets värmemotstånd inkl. övergångsmotstånd är  $3.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Ingen hänsyn tas till strålningsutbyte. Luftens värmekapacitet är  $1200 \text{ Ws/m}^3\text{K}$ . Temperaturerna är utomhus  $-10^\circ\text{C}$  och inomhus  $20^\circ\text{C}$ .

Mot ena takytan som vätter mot söder förekommer det att solen skiner med intensiteten  $200 \text{ W/m}^2$  vinkelrät mot den mörka takytan som har absorptionskoefficienten 0.90. Antag att hälften av den absorberade värmeenergin tillförs vindsutrymmet.

Bestäm vindstemperaturen för luftomsättningen 5 omsättningar per timme, först för ett fall då solen skiner på takytan, sedan för det fall utan sol. Uttryck vidare värmetransporten genom hela taket (vindsbjälklag och yttertak med galvar) i form av ett U-värde för fallen utan och med sol.

### Beräkningsmodul 13B

**51.** Vindsbjälklaget är mycket välisolerat men tyvärr sker ett läckage av inneluft upp på kallvinden med 1000 liter i timmen. Fukttillskottet inomhus är  $3 \text{ g/m}^3$ . Kallvindens temperatur är approximativt lika med utetemperaturen  $0^\circ\text{C}$  under perioden. Luftomsättningen på kallvinden är 1 1/h och dess volym är  $50 \text{ m}^3$ . RF i uteluften är ca 85%. Beräkna RF på kallvinden.

**52.** Man vill uppskatta fuktförhållanden i en kallvind till en 2-plansvilla, där mellanbjälklaget är öppet mellan de båda våningarna. Det är vindstilla utomhus och ingen mekanisk ventilation förekommer. Fuktlödet till kallvinden sker huvudsakligen genom otätheter kring en lucka i vindsbjälklaget. Kallvinden är uteluftsventilerad och kan antas ha samma temperatur som uteluften som är  $-1^\circ\text{C}$ . Luften inomhus har temperaturen  $22^\circ\text{C}$  och relativa ånghalten 40%. Luftotätheterna i klimatskalet är så fördelade, att inomhustrycket är lika med utomhustrycket på höjden 1 m från golvet i nedre våningen. Höjden mellan bottenbjälklaget och vindsbjälklaget är 5 m. Relativa ånghalten utomhus är 70%.

Vindsluckan är rektangulär med måtten  $0.60\text{m} \times 0.80\text{m}$ . Otätheten kring luckans alla sidor utgörs av en 2.5 mm bred genomgående springa. Beräkna fuktlödet till kallvindsutrymmet genom otätheten som finns kring vindsluckan och visa hur det påverkar fuktbalansen i vindsutrymmet. Luftomsättningen på vinden kan vid vindstilla antas vara 0,3 omsättningar per timme. Vindens volym är  $120 \text{ m}^3$ .

Jämför också fukttransporten till vinden via konvektion och genom diffusion. Bjälklagets area är  $90 \text{ m}^2$  och dess ånggenomgångsmotstånd är  $3 \times 10^6 \text{ s/m}$ .

## Kapitel 14 Grunder

### Beräkningsmodul 14A

**53.** En till det yttre kvadratisk formad byggnaden ( $15 \times 15 \text{ m}$ ) är grundlagd med platta på mark med en heltäckande underliggande värmeisolering som har värmemotståndet  $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Det finns en mot marken oisolerad kvadratisk atriumgård i mitten på  $5 \times 5 \text{ m}$ . Vilket U-värde har byggnadens grund?

### Beräkningsmodul 14B

**54.** I en grannbyggnad, i Kristianstad, har man valt att inte ha en atriumgård utan använder hela ytan på  $15 \times 15 \text{ m}$ . Samma värmeisolering används som i ovan uppgift. Vilken marktemperatur råder under mitten av plattan? Inomhustemperaturen är  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Beräkningsmodul 14C

**55.** En kryppgrund till en äldre byggnad i Göteborg är byggd av  $300 \text{ mm}$  tjocka betonghålblock och försedd med ventiler för att vara uteluftsventilerad. Markytan i kryppgrunden är  $8 \text{ m} \times 14 \text{ m}$  och den fria medelhöjden i kryppgrunden är  $0.9 \text{ m}$ . Bjälklaget som vilar på kryppgrundsmuren har värmemotståndet  $2 \text{ m}^2\text{K/W}$  inkl. värmeövergångsmotstånd. Markens värmemotstånd inklusive övergångsmotstånden uppskattas till  $3.00 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Betonghålblockens värmeledningsförmåga är  $0.60 \text{ W/mK}$ . Värmeöverföringskoefficienterna för muren är på utsidan  $\alpha_{se} = 25$  och på insidan  $\alpha_{si} = 7.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lufttemperaturen är utomhus  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  och inomhus  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Beräkna krypprumstemperaturen för luftomsättningarna 0 resp. 5 oms/h. Beräkna även motsvarande U-värden för hela kryppgrunden (från inomhusluften till utomhusluften).

### Beräkningsmodul 14D

**56.** Man vill studera fuktförhållanden i en kryppgrund i Göteborg. Följande data gäller: medelhöjd mellan bjälklag och markyta är  $1.0 \text{ m}$  ytan är  $10 \text{ m} \times 16 \text{ m}$  grundmuren av  $250 \text{ mm}$  betonghålblock  $\lambda = 0.60 \text{ W/mK}$  -grundmuren är lufttät bottenbjälklagets totala värmemotstånd (från luft till luft)  $R = 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$  ventilationen i krypprummet är  $0.5 \text{ oms/h}$  (uteluft) på marken är utlagt  $200 \text{ mm}$  lecaskikt med  $\lambda = 0.09 \text{ W/mK}$  markens värmegenomgångskoefficient inkl. lecaskikt och övergångsmotstånd  $U_0 = 0.317 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Marken under lecaskiktet avdunstar fukt. Lecaskiktets ånggenomsläpplighet  $\delta = 25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Klimatet är utomhus  $T_u = 8.5 \text{ }^\circ\text{C}$  och  $RF_u = 80\%$ . Inomhus är  $T_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  och  $RF_i = 48\%$ . Luftens värmekapacitet  $c_p = 1200 \text{ Ws/m}^3\text{K}$ . Beräkna relativa fuktigheten i krypprummet!

### Beräkningsmodul 14E

**57.** En villa från 70-talet är uppvärmd med golvvärmslingor som är ingjutna i botten av en  $15 \text{ cm}$  tjock betongplatta. Under plattan, som är grundlagd på silt ( $\lambda = 2.3 \text{ W/mK}$ ) ligger  $10 \text{ cm}$  cellplastisolering ( $\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$ ). Golvbeläggningen utgörs av  $14 \text{ mm}$  träparkett.

Värmeövergångsmotståndet mellan parkett och rum kan uppskattas till  $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ .  
Byggnaden är rektangulär med måtten  $12 \times 8 \text{ m}$ . Väggarnas tjocklek är ca  $25 \text{ cm}$ . Det värme som lämnar golvvärmslingorna är  $15\,000 \text{ kWh}$ . Hur mycket av denna värme går upp till de ovanliggande rummen?