

## Energiberäkning för ett 128kvm enplanshus på platta

### Allmänna indata till räkne-exemplet

- Huset är byggt på platta-på-mark med 30cm cellplast mellan betong och makadam.
- Ytterväggen består av en inre yttervägg av 12cm Leca, en yttre yttervägg av 19cm Leca, med 30cm perlit som isolering emellan.
- Vi murar ihop inre och yttre yttervägg för stabilitet mha lecablock på c:a 5% av väggytan.
- Vi har 7 fönster med 1.2m bredd och två fönster med 0.8m bredd, alla fönster är 1.4m höga.
- Vi har två dörrar på vardera 2kvm.
- Takhöjden är 2.5m.
- Vi lägger 0.5m lösull (stenull) på vinden.
- Huset är rektangulärt med en boyta på 8\*16m innanför inre ytterväggarna.
- Ventilationen sköts av ett FTX-system, dvs all inluft värmeväxlas mot utluften och läckage (dvs att luft läcker in eller ut på andra ställen) skall minimeras (åtminstone kalla dagar).
- (Varmvattenberedaren har egen luftvärmepump.)
- Ska uppfylla norm för god ventilation, dvs en strömning på 0.35l per sekund och kvm boyta
- Beräkningen utförs under antagandet att vi har -15C som dimensionerande vintertemperatur, att vi värmer på så att inomhustemperaturen är 20C, och att markmedeltemperaturen är 8C.

### Lite fysik

Om en vägg med area  $A$  och tjocklek  $d$  består av ett enda material med värmeledningsförmåga  $\lambda$ , och temperaturskillnaden mellan väggens sidor är  $\Delta T$ , ja då räknar man ut U-värdet med

$$U = \frac{\lambda}{d}$$

och därefter räknar man ut värmeförlusten  $Q$ , räknat i watt, med

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Om en vägg består av  $n$  lager, ja då räknar man ut U-värdet för varje lager för sig, och får fram ett totalt U-värde  $U^{tot}$  genom vad man skulle kunna kalla 'invers summering' innan man på samma sätt räknar ut  $Q$ . Om t.ex.  $n=3$ , och vi har räknat ut U-värden  $U_1$ ,  $U_2$  och  $U_3$  för de tre lagren, ja då gäller att

$$\frac{1}{U^{tot}} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}$$

Innebörden framstår förhoppningsvis klarare i beräkningarna längre fram.

### Lite värmeledningsförmågor:

- Cellplast, stenull, glasull och perlit har alla värmeledningsförmåga i storleksordningen 0.035
- Nyströms cement anger värmeledningsförmåga 0.2 för sina lecablock.
- H+H anger värmeledningsförmåga 0.1 respektive 0.14 för densitetsklasserna 400 och 550 i sina jumboblock av lättbetong som t.ex. kan användas att bygga solida väggar av.
- Hagentoft (byggprofessor Chalmers) anger värmeledningsförmåga på 395 för koppar, 94 för järn, 3.5 för granit, 1.7 för betong, och 0.6 för tegel.
- Trä ligger på c:a 0.14 men ökar med ökande fukthalt.
- Puts ligger på c:a 0.1

## Beräkning av värmeförlust pga värmeledning

Vi räknar på förlust genom golv, tak och vägg för sig, och delar dessutom in beräkningen för väggen i förlust genom dörrar, fönster och "själva väggen", för att se vad det är som faktiskt orsakar värmeförlust.

### Energiförlust via golv

Betongens förmåga att isolera är försumbar jämfört med cellplasten, så vi räknar ut U-värdet för 3dm cellplast. Med värmeledningsförmåga i täljaren och vägg tjocklek i nämnaren, och allt i SI-enheter, så får vi:

$$U = \frac{\lambda}{d} = \frac{0.035}{0.3} \approx 0.117$$

Ytan är 8 gånger 16 m, dvs 128 kvm, vilket ger värmeförlusten

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.117 \cdot 128 \cdot 12 = 178 W$$

eftersom vi har en temperaturskillnad på tolv grader mot marken.

### Energiförlust via taket:

Vi har 0.5m stenull på taket, vilket ger

$$U = \frac{\lambda}{d} = \frac{0.035}{0.5} \approx 0.07$$

Ytan är fortfarande 128kvm, vilket ger värmeförlusten

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.07 \cdot 128 \cdot 35 = 314 W$$

eftersom vi har en temperaturskillnad på 35 grader mot utomhusluften (vi antar ventilerad vind).

### Energiförluster via ytterväggarna:

Vi summerar energiförlusterna för

- den del av väggen som har dubbelskal
- den del av väggen som har stag mellan yttre och inre yttervägg
- fönster och dörrar.

Vi har en omkrets på 8+8+16+16m, dvs 48m. Vi har en takhöjd på 2.5m. Då får vi en totalyta på

$$48 \cdot 2.5 = 120 \text{ kvm}$$

Vi har följande fönsteryta:

$$7 \cdot 1.2 \cdot 1.4 + 2 \cdot 0.8 \cdot 1.4 = 14 \text{ kvm}$$

Vi har 4kvm dörryta.

Drar vi bort fönster och dörrar från totalytan så får vi alltså 102 kvm, varav c.a 6 kvm är genomgående leca för förstyrning av dubbelskalet, vilket gör att vi har 96 kvm isolerat dubbelskal.

Dubbelskalet består av 3 lager, yttre yttervägg (1), perlitisolering (2) och inre yttervägg (3). Vi får

$$U_1 = \frac{0.2}{0.19} = 1.05$$

$$U_1 = \frac{0.035}{0.3} = 0.117$$

$$U_1 = \frac{0.2}{0.12} = 1.67$$

Vi kör invers summering på detta för att få fram dubbelväggens U-värde vilket ger

$$\frac{1}{U^{tot}} = \frac{1}{1.05} + \frac{1}{0.117} + \frac{1}{1.67} = 10.1 \rightarrow U^{tot} = 0.099 \approx 0.1$$

Värmeförlusten genom dubbelväggen är alltså

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.1 \cdot 96 \cdot 35 = 336 W$$

eftersom temperaturskillnaden är 35 grader.

Vi har 6kvm med genomgående leca:

$$U_1 = \frac{0.2}{0.6} = 0.33$$

vilket ger en värmeförlust på

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.33 \cdot 6 \cdot 35 = 70 W$$

Vi har 14 kvm fönster, och har köpt fönster med *riktigt* bra U-värde på 0.9. Värmeförlusten är

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.9 \cdot 14 \cdot 35 = 441 W$$

Vi har 4 kvm dörrar, och har köpt dörrar med *riktigt* bra U-värde på 0.9. Värmeförlusten är

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = 0.9 \cdot 4 \cdot 35 = 126 W$$

Totalt sett får vi en värmeförlust på (126+441+70+336+314+178) W = 1465 W

Notera hur känslig värmeförlusten är för U-värdena på fönster och dörrar. Med normalbra U-värden på c:a 2 så ökar t.ex. dörr- och fönsterförlusterna till 280 och 980W, vilket ger en värmeförlust på 2158W för värmeledning genom husets s.k. klimatskal, dvs golv, väggar och tak. (Att minska U för golvet genom att minska till 2dm cellplast under platan är däremot inte speciellt kostsamt, eftersom temperaturskillnaden inte är så hög mot marken.)

Notera också att fönster och dörrar egentligen är *ännu* viktigare än vad som syns ovan, eftersom

- läckage via dörrar och fönster minskar FTX-systemets effektivitet, och
- för högt U-värde på fönster och dörrar ger kallras, vilket ofelbart leder till att man drar upp termostaten och inte längre nöjer sig med 20C i (genomsnittlig) inneluftstemperatur.

### Nu ger vi oss på att räkna på värmeförlust på ventilationssystemet:

Kravet på god ventilation är 0.35 liter per sekund och kvadratmeter boyta. Med 128kvm boyta skall vi alltså ha ett ventilationsflöde på minst  $0.35 \cdot 128 = 44.8$  l/s.

Om vi inte använder värmeväxlare (eller 'återvinningsvärmepump') så skall alltså minst 44.8 liter luft per sekund tas in och värmas upp från -15 till +20C innan den släpps ut igen !

Den vanligaste formeln för effektförlust  $P$  pga 'ventilation utan återvinning' är

$$P = 0.33 \cdot n_v \cdot V \cdot \Delta T$$

antal luft-      Total      skillnad mellan  
växlingar      volym      inne- och ute-  
per timme      i bostad      temperatur

Alltså får vi räkna om vårt ventilationsflöde till luftväxlingar per timma:

Tar vi flödet 44.8l/s, multiplicerar med 3600 för att få flödet per timma, och delar med 1000 för att gå från liter till kubikmeter så får vi  $44.8 \cdot 3.6 = 161.3$  kubikmeter/h.

Volymen i huset är boyta gånger takhöjd, dvs  $128 \cdot 2.5 = 320$  kubikmeter.

Vi byter alltså ut c.a hälften av luften i huset per timma, dvs antalet luftväxlingar per timma är

$$n_v = (161.2/320) = 0.5$$

Ventilationsförlusten blir alltså

$$P = 0.33 \cdot n_v \cdot V \cdot \Delta T = 0.33 \cdot 0.5 \cdot 320 \cdot 35 = 1850 \text{ W}$$

dvs den blir klart större än värmeledningsförlusten genom klimatskalet !

Om vi skaffar ett FTX system med 85% verkningsgrad, och får ner läckagen till 10% av totala ventilationsluften, då kommer vi att istället förlora

$$P = 0.1 \cdot 1850 + 0.9 \cdot 1850 \cdot 0.15 = 435 \text{ W}$$

10% läckage      (100-85)=15% förlust på de 90% av  
luften som kommer tilbaks till FTX.

10% läckage ger alltså ungefär en fördubbling av ventilationsförlusterna.

**Totalt får vi alltså ett effektbehov på  $(1465+435) = 1900 \text{ W}$  när det är -15C utomhus.**

Vi behöver tillföra  $1900/128 = 14.8$  W/kvm vid -15C. Räknar vi med 4kW från 'verksamhet i huset' har vi effektbehov 10.8W/kvm. Passivhusgränsen är 10W/kvm. Lyckas vi minska läckaget så fixar vi denna gräns.

**Lite känslighetsanalys som startar med 1900W en dag med -15C för “normhuset”:**

- (i) Dra ner läckaget till 2% -> -143W -> 13.7W/kvm -> 9.7W/kvm i uppvärmningsbehov
- (ii) Självdrag och bara 30 % av god ventilation -> + 120W -> 15.8 W/kvm -> 11.8 W/kvm behov.
- (iii) Självdrag och god ventilation -> +1415W -> 25.9 W/kvm -> 21.9 W/kvm behov.
- (iv) 35cm tjock lättbetongvägg, klass 550 ->  $U=0.4$  på 102 kvm vägg -> +1022W -> 22.8 W/kvm -> 18.8 W/kvm behov
- (v) 35cm tjock lättbetongvägg, klass 400 ->  $U=0.29$  på 102 kvm vägg -> +629W -> 19.8 W/kvm -> 15.8 W/kvm behov
- (vi) U-värde 2.0 på fönster och dörrar -> +693W -> 20.3W/kvm -> 16.3 W/kvm behov
- (vii) Kombinera (v) och (vi) -> +1322W -> 25.2W/kvm -> 21.2 W/kvm behov
- (viii) Kombinera (v), (vi) och (iii) -> +2737W -> 36.2W/kvm -> 32.2W/kvm