

## 8. Energiebalans

### 8.1.1 Inleiding

De bedoeling is inzicht te krijgen in de energiebalans van een woning, wat komt er in, wat gaat er uit. De energie die binnenkomt wordt enerzijds opgewekt door verbranding van energiedragers, anderzijds door kosteloze instraling van de zon en uitstraling van de mens zelf.

Omdat we bouwen om in te wonen staat de mens centraal. Zo zal bekeken moeten worden wat wij zelf uitstralen en wat wij toe moeten voegen om ons prettig te voelen.

De relatieve vochtigheid van lucht is daarbij een zeer belangrijke schakel. Energetisch heeft hij echter weinig invloed, zolang hij binnen dit hoofdstuk stationair gehouden wordt op ongeveer 50%.

Voor het opwekken van de benodigde energie worden aannames gedaan. In een afzonderlijk hoofdstuk wordt de CV-installatie besproken, zodat wij ons op dit moment kunnen bezighouden met transmissie van energie door constructies.

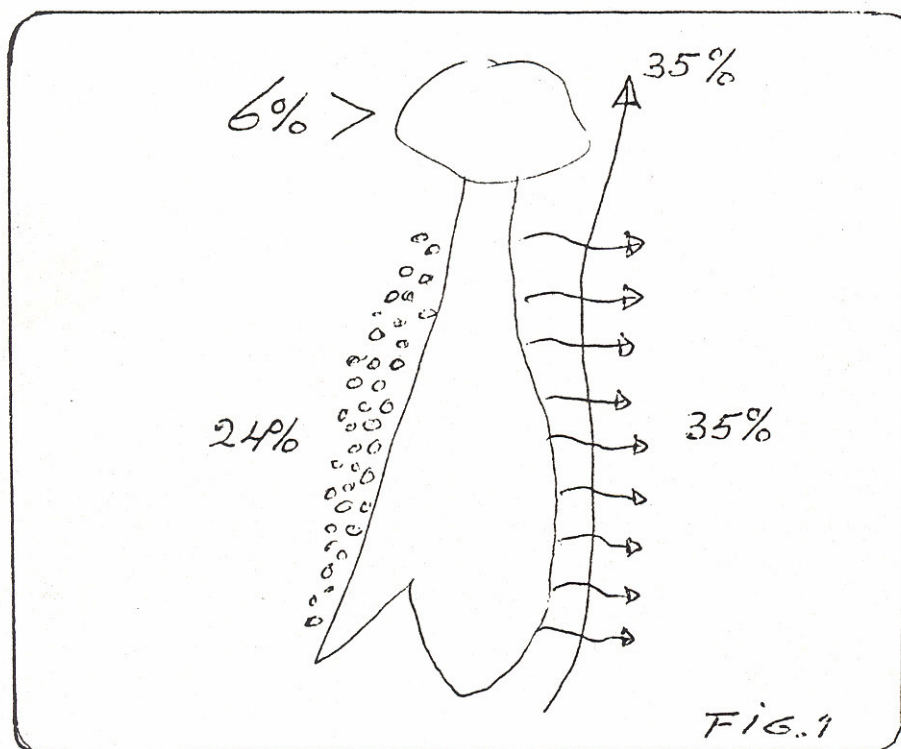
### 8.1.2 Energiebalans van de mens

De lichaamstemperatuur van een gezond mens is constant 37°C.

De huidtemperatuur ligt ongeveer 5°C lager en komt daarmee op 32°C uit. Deze temperatuur die ongeveer 12°C hoger ligt dan de gemiddelde omgevingstemperatuur binnenshuis (20°C) is uiteraard sterk afhankelijk van de dikte van de huid en de onderliggende vetlagen.

Door het temperatuurverschil geeft ons lichaam constant energie af.

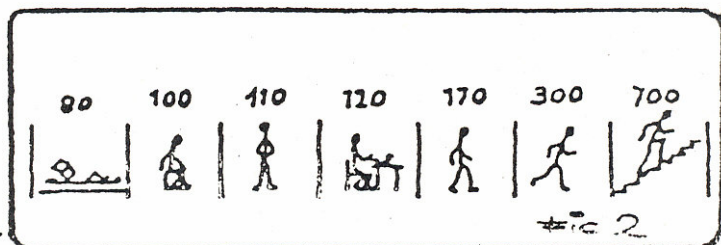
|                 |     |
|-----------------|-----|
| Door geleiding  | 35% |
| Door straling   | 35% |
| Door verdamping | 24% |
| Door ademhaling | 6%  |





Is de lichaamstemperatuur constant, de hoeveelheid energie die door het lichaam wordt uitgestraald is dat zeker niet. Afhankelijk van de bewegingen die men maakt wordt de volgende hoeveelheid energie afgegeven (gemiddelde oppervlakte van de mens is 1,6m<sup>2</sup>).

|           |       |
|-----------|-------|
| Liggen    | 80 W  |
| Studeren  | 120 W |
| Lopen     | 170 W |
| Traplopen | 700 W |



We kunnen dit uitrekenen middels de wet van Stefan Boltzmann, die uitgaande van grijze stralers, komt tot een stralingsdichtheid van

$$m = \varepsilon * G * t^4$$

$\varepsilon$  = emissiefactor (geaardheid van het oppervlak)

G = constante van Boltzmann

De *stralingsuitwisseling* van een persoon met een huidtemperatuur van 35,6°C bij een kamertemperatuur van 18°C is:

$$1 * 57,6 * (10)^9 \{ (307,6)^4 - (219)^4 \} = 102 \text{ W/m}^2$$

(Gemeten met de thermoflow meter was dat 113 Watt/m<sup>2</sup>)

$$\varepsilon_{\text{glas}} = 0,2$$

Thermoflow™ Energy Meter  
Owner's Manual

#### Features:

- Direct reading in watts/sq. meter)
- Heat loss measurement without contact
- Large digital display
- No moving parts
- Stable with time and temperature
- Fast response for scanning
- Long-life 9-volt battery power
- Automatic reference

## 1. Introduction:

The ThermoFlow™ Energy Meter is an infrared radiometer designed to detect insulation defects and to measure heat loss (or gain) through building walls and windows without contact. In addition, ThermoFlow™ is used to estimate the thermal conductance (K-factor) of exterior walls. Since it rapidly and conveniently measures heat loss and K-factor, this instrument is very useful for performing energy audits, for post-installation inspection, and general plant maintenance. ThermoFlow™ indicates heat loss (or gain) directly in Watts/m<sup>2</sup> so that energy cost analysis is simplified.

When there is a temperature difference across an exterior wall, the heat flow through the wall depends on its insulation conductance or K-factor. Therefore, a measure of radiant emission and heat flow, using the ThermoFlow™ Energy Meter, provides a rapid indication of insulation defects and an estimate of K-factor. The procedure for performing these measurements is detailed in Section 3.



## 2. Operation and maintenance

The ThermoFlow™ consists of a collecting mirror infrared sensor, low noise amplifier, processing circuitry and a liquid crystal display. This instrument has been designed for ease of operation and maintenance.

### Operating Trigger Switch

There are two operating trigger switch positions. For the first position (figure 1), the trigger is depressed about half of its full travel. In this first position, the meter should read between 390 and 450 Watts/m<sup>2</sup> for the normal range of room temperatures. This operating position is used to rapidly locate insulation defects and to measure the difference in radiant emission across exterior building walls for the estimation of K-factor as described in Section 3.

Deze stralingsenergie wordt samen met de energie t.g.v. transpireren (evaporatie) afgegeven aan de omgeving.

De gevonden waarden komen globaal overeen met de alom gehanteerde waarde van 100 W/m<sup>2</sup>.

Beschouwen we het lichaam als een grijze straler dan wordt de volgende hoeveelheid energie uitgezonden.

$$M = 0,9 * 57,6 * 10^9 (307,6)^4 = 464 \text{ W/m}^2$$



Meest voorkomende z.g. grijze stralers

Oppervlakte menselijke huid is ongeveer 1,6 m<sup>2</sup>

Totale stralingsenergie 464 \* 1,6 = 742 Watt (Dit is géén stralingsuitwisseling)

Bij dit voorbeeld is uitgegaan van een grijze straler.

De meeste bouwmaterialen zijn te beschouwen als grijze stralers met een emissiefactor van ongeveer 0,9.

Enkele uitzonderingen zijn; elektrisch goed geleidende stoffen en geverfde materialen. Zie verder punt 2.2.

Wanneer heeft men het nu koud?

Evenals de mens energie uitstraalt, stralen ook de materialen (muren, meubels, enz.) energie uit. Wordt nu de energie die men uitstraalt niet gecompenseerd door energie die men ontvangt, dan krijgt men het koud. Anderzijds, als men geen warmte kan afgeven voelt men zich eveneens onbehaaglijk en gaat transpireren.

Hoe groot is dat stralingsverschil dan, waarbij we ons behaaglijker voelen?

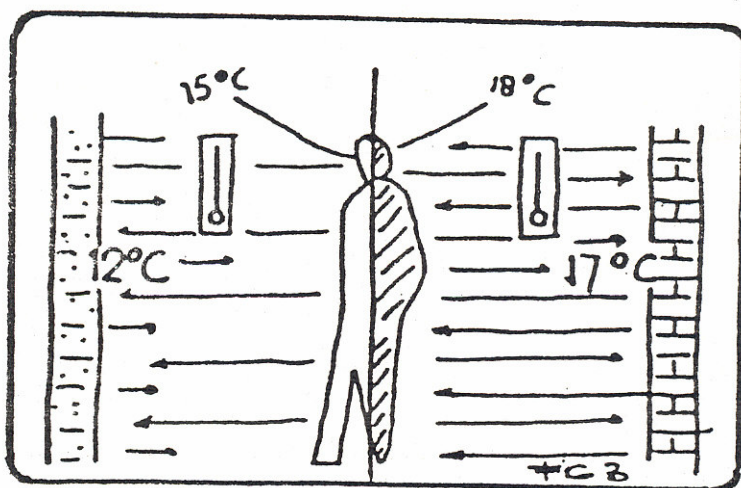
Deze vraag is niet direct te beantwoorden. We dienen onderscheid te maken tussen de wandtemperatuur en de luchttemperatuur.

In het algemeen is het zo dat t.g.v. straling van wanden de ruimtetemperatuur duidelijk een andere waarde heeft dan de "ondervonden" temperatuur.

We komen hiermee op het moeilijke terrein van de fysica, n.l. de behaaglijkheid.

Deze "behaaglijkheid" kan per persoon onder wisselende omstandigheden verschillend worden gewaardeerd.

Rekenen we het voorbeeld in fig. 3 terug.



$$0,9 * 57,7 * 10^{-9} \{(305)^4 - (290)^4\} = 82 \text{ W}$$

$$0,9 * 57,7 * 10^{-9} \{(305)^4 - (285)^4\} = 106 \text{ W}$$

(huidtemperatuur van 32°C)  
(Wandtemperatuur van 12°C)

Als er dus een stralingsuitwisseling tussen onze huid en bijv. Een wand van 106 Watt plaatsvindt, dan ervaren we dit als onbehaaglijk. (82 Watt is kennelijk niet hinderlijk)  
Een aantal factoren maken de vorige uitspraak onbetrouwbaar. We kunnen daarbij denken aan:

- De kleding die we dragen
- Verschillende uitstraling aan de voor- en achterkant van het hoofd

De Deense wetenschapper Fanger heeft hier zeer uitvoering studie van gemaakt. We behandelen uit zijn studie de volgende factoren:

- Warmteafvoer van huid naar de buitenzijde van de kleding
- Warmteafvoer t.g.v. straling

*De warmteafvoer naar de buitenzijde van de kleren t.g.v. (geleiding)*

Deze zeer gecompliceerde energietransmissie is proefondervindelijk vastgesteld en kan als volgt worden gedefinieerd:

$$I = R / 0,155$$

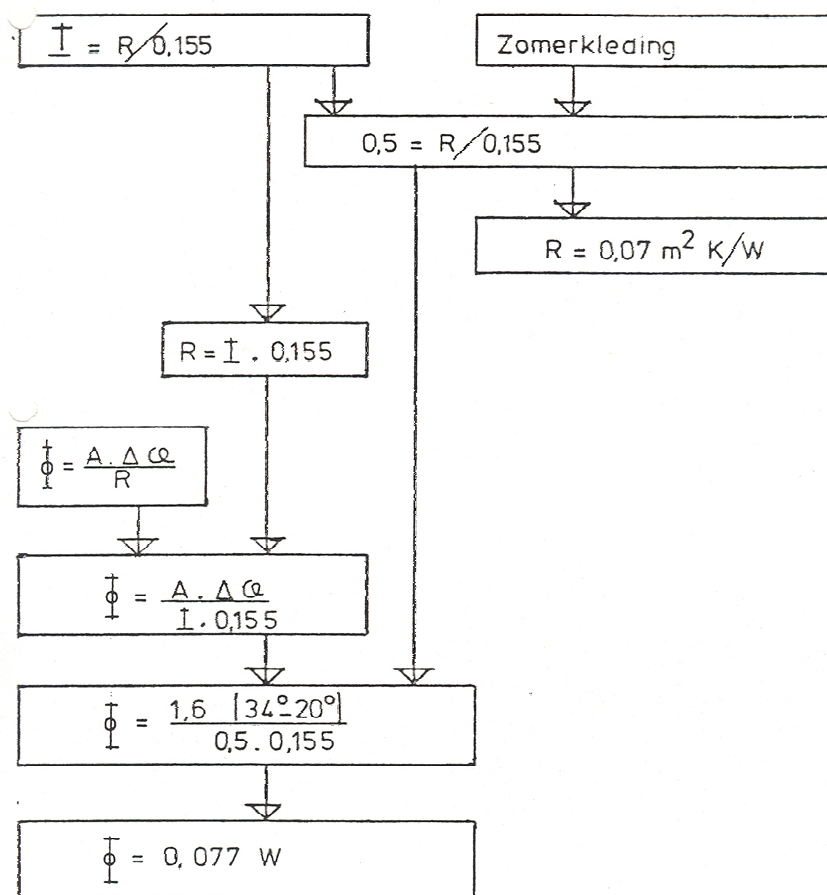
I = de warmteafvoer door kleren

R = totale warmteweerstand van de huid tot aan het buitenoppervlak van de kleding.

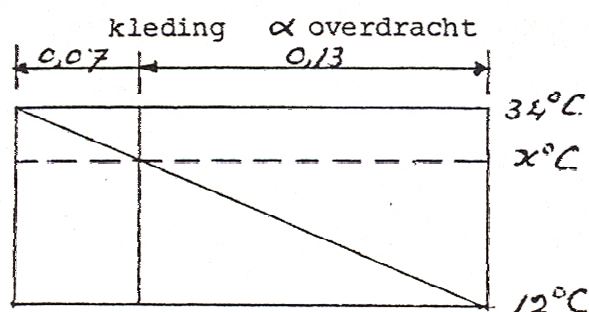
Voor bijv. zomerkleding geldt:

$$I = 0,5 \rightarrow 0,5 = R / 0,155 \rightarrow R = 0,07 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Substitueren we deze waarde in de formule die de totale warmtestroom weergeeft, dan vinden we  $\Phi = 0,077 \text{ W}$ .



Gaan we terug naar fig. 3, dan vinden we een oppervlaktetemperatuur van  $26,3^\circ\text{C}$ .



De uitstraling van het bedekte lichaam is dan:

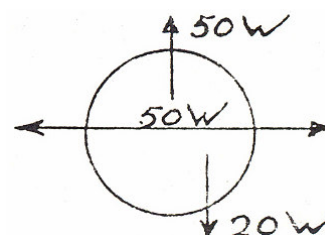
$$0,9 \cdot 57,7 \cdot 10^{-9} \{(273 + 26,3)^4 - (273 + 12)^4\} = 74 \text{ W.}$$

Als nu het stralingsverschil tussen een gekleed persoon en een wand nu 74 Watt is, dan is dit een ondergrens van de behaaglijkheid.

Rekening houdend met wat de "gemiddelde" mens als behaaglijk ervaart, komt Fanger tot de volgende waarden:

*In woorden:*

- De uitstraling van het hoofd naar boven mag niet meer dan 50 W bedragen.
- Verschil tussen de uitstraling van de voor- en achterkant van het hoofd mag niet meer dan 50 W bedragen.
- De uitstraling van het hoofd naar beneden mag niet meer dan 20 W bedragen.





### Energiebalans van een woning, na toepassing van energiebesparende maatregelen

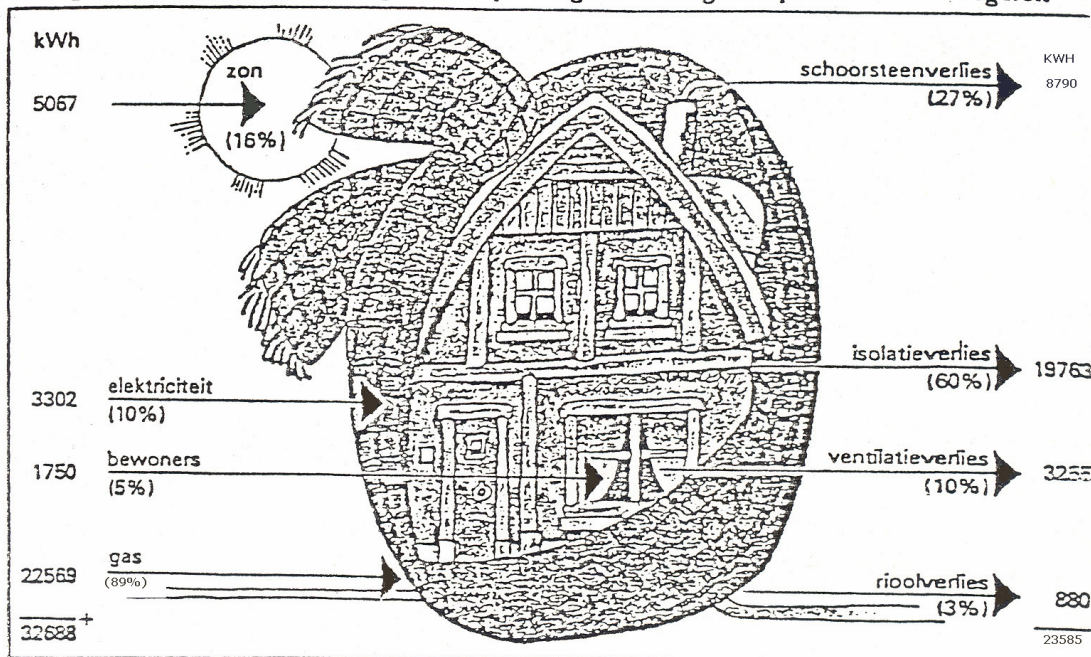
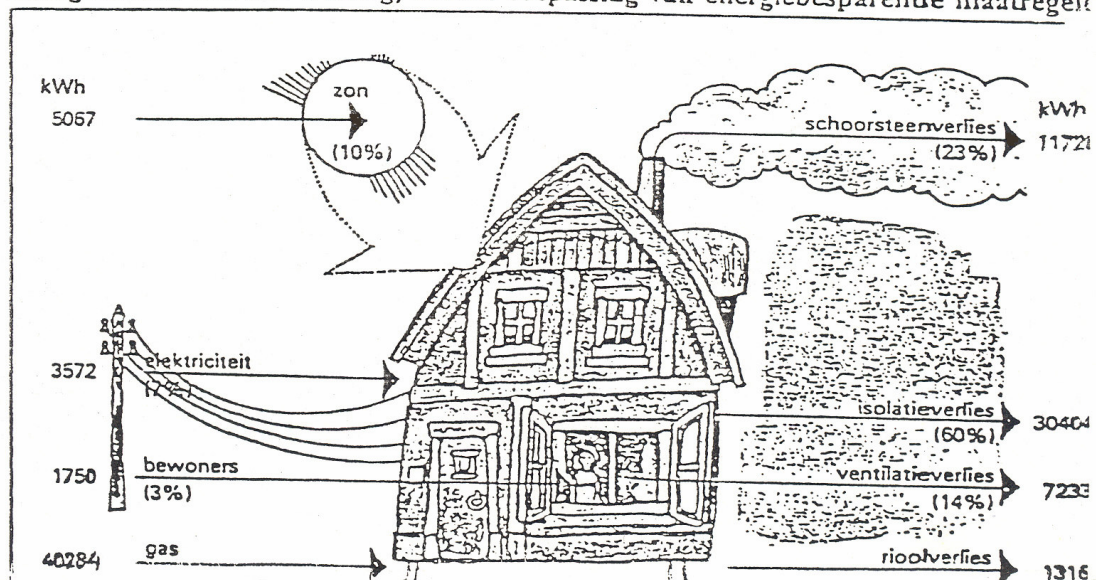
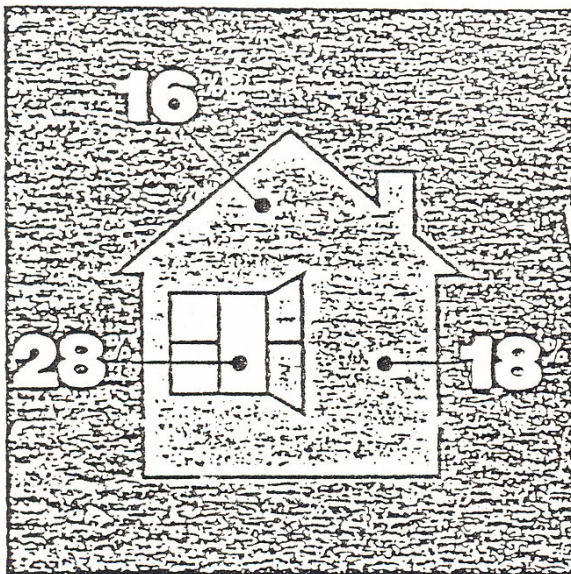
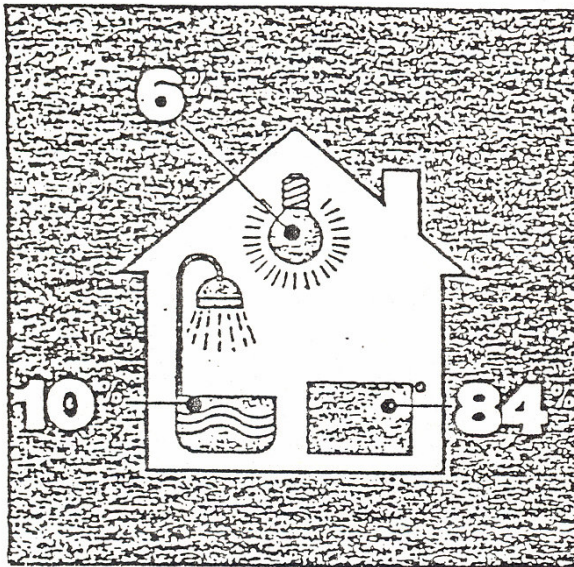


Fig. 5

### Energiebalans van een woning, zonder toepassing van energiebesparende maatregelen





## "ENERGIE VERLIES IN EEN WONING"

#107

Alvorens de energiebalans meer theoretisch te behandelen, wordt ingegaan op de warmte-transport mechanismen.