



HOGESCHOOL ROTTERDAM

IBB

Module ribNAT01
Natuurkunde - Bijspijker
Week 06



1

Week 06



- **Theorie:** Warmtetransport en temperatuurverloop in een constructie.

2

Warmtetransport

- **Warmtestroom**

- Het verplaatsen van de warmte door bijv. een wandconstructie veroorzaakt door een temperatuurverschil tussen twee plaatsen.
- De warmte stroomt van een hoge temperatuur naar een lage temperatuur.
- Middels het aanbrengen van isolatie wordt er een weerstand gecreëerd die de warmtestroom vertraagt.

3

Warmtetransport

- **Warmtestroomdichtheid**

- De warmtestroom die per vierkante meter (m^2) door de constructie gaat.
- De warmtestroomdichtheid (q) wordt uitgedrukt in W/m^2 .
- $1 \text{ Watt} = 1 \text{ J/s}$

4

Warmtetransport

- **Warmtetransport door stroming (Convectie)**
 - Transport van warmte door een medium, bijv. water en lucht.
 - De mate van overbrenging van warmte is afhankelijk van het transportmedium (bijv. lucht- of windsnelheid) en het temperatuurverschil tussen het voorwerp en het langsstromend medium.

5

Warmtetransport

$$q_c = \alpha_c * (T1 - T2)$$

q_c warmtestroomdichtheid in W/m²

α_c de warmteovergangscoefficient voor convectie in W/m².K

$T1 - T2$ het temperatuurverschil tussen bijv. het oppervlak van de constructie en de langsstromende lucht.

6

Warmtetransport

- Veelgebruikte waarden voor α_c zijn:
 - Binnenhuis $\alpha_c = 2$ a $2,5$ W/m².K
 - Buitenhuis:
 - Gemiddelde wind $\alpha_c = 19$ a 20 W/m².K
 - Sterke wind $\alpha_c = 100$ W/m².K

7

Warmtetransport

- **Warmtetransport door straling (radiatie)**
 - Een warm voorwerp straalt warmte uit naar koudere voorwerpen.
 - Alle voorwerpen stralen warmte uit. Pas bij 0 K (ca. -273° C) is dit niet meer het geval.
 - Koudere voorwerpen zenden alleen mindere warmtestraling uit dan warme voorwerpen.

8

Warmtetransport

- Overdracht van warmte tussen twee voorwerpen met een verschillende temperatuur.
- Beide voorwerpen absorberen en reflecteren een deel van elkaars warmtestraling.
- Per saldo zal warmte stromen van het voorwerp met de hoogste temperatuur naar het voorwerp met de laagste temperatuur.

9

Warmtetransport

- Het warmtetransport door straling kan men uitdrukken m.b.v. een warmteovergangscoefficient:

$$q_s = \alpha_s * (T1 - T2)$$

Q_s het warmtetransport door straling in W/m²

α_s het warmteovergangscoefficient voor straling in W/m².K

$T1-T2$ het temperatuurverschil tussen beide vlakken

Voor de normale bouwpraktijk wordt veelal gewerkt met een waarde van $\alpha_s=4.7$ a 5.2 w/m².K

10

Warmtetransport

- De hoeveelheid warmte die door een oppervlak wordt afgestraald kan men berekenen met de onderstaande formule.

$$q_s = \varepsilon * 56,7 * 10^{-9} * T^4 = \varepsilon * q_{sz}$$

q_s	de warmtestroomdichtheid van de afgegeven straling in W/m ²
ε	de emissiecoëfficiënt van het materiaaloppervlak
T	de absolute temperatuur in K
q_{sz}	de warmtestraling van het 'zwarte lichaam' (Wet van Stefan- Boltzmann)

11

Warmtetransport

- Voor de meeste bouwmaterialen is de emissiecoëfficiënt $\varepsilon =$ ca. 0,9 a 0,95
- Dit geldt ook voor alle kleuren verf.
- Voor metaalhoudende verven geldt: $\varepsilon =$ ca. 0,35 a 40
- Voor geanodiseerd aluminium $\varepsilon =$ ca. 0,4 a 0,5
- Voor blank aluminium met een glad afgewerkt oppervlak geldt $\varepsilon =$ ca. 0,07 a 0,09
- Straling welk op een oppervlak valt wordt voor een deel gereflecteerd en voor een deel geabsorbeerd (Ook glas is ondoorlaatbaar voor warmtestraling, behalve infra-rood)
- In het algemeen is het deel dat wordt geabsorbeerd gelijk aan de emissiecoëfficiënt.

12

Warmtetransport

- **Warmtetransport door geleiding (conductie)**
 - Het verplaatsen van de warmte door een voorwerp heen bij een zekere temperatuurverschil.

13

Warmtetransport

- **Warmtegeleidingscoefficient (λ)**
 - Het warmtegeleidend vermogen van een materiaal.
 - Het warmtegeleidingscoefficient geeft aan hoeveel warmte er stroomt door een laag materiaal met een dikte van 1 meter en een oppervlak van 1 m² bij een temperatuurverschil van 1 K.
 - Hoe groter λ hoe beter het materiaal warmte geleidt.
 - λ in W/m.K

14

Warmtetransport

Tabel 19.1 Waarden voor warmtegeleidingscoëfficiënt λ

<i>materiaal</i>	<i>soortelijke massa ρ</i>	<i>warmtegeleidings- coëfficiënt λ</i>
	kg/m ³	$\frac{W}{m \cdot K}$
kunststofschuim	15... 60	0,025... 0,035
geëxpandeerde kurk	100... 200	0,040... 0,045
minerale wol	35... 250	... 0,041
schuimglas	... 150	... 0,05
houtwolcement	... 300	... 0,18
cellenbeton	... 670	... 0,36
naaldhout	... 500	... 0,14
hardhout	... 800	... 0,20
baksteen	... 1900	... 1,00
gewapend beton	... 2500	... 2,00
staal	... 7800	... 50,00

15

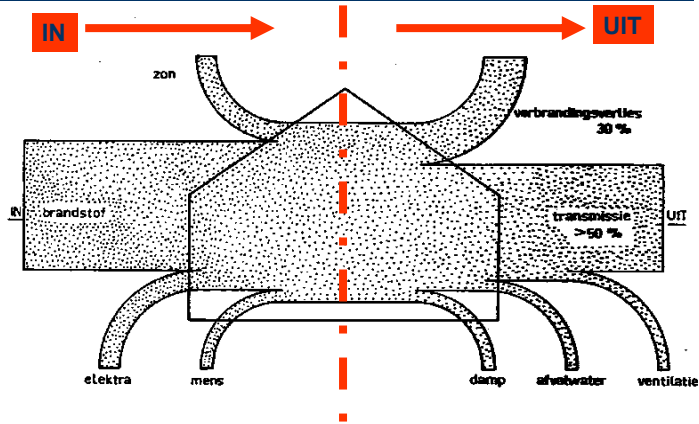
Warmtetransport

• Warmtebalans

- Transmissieverlies = warmteverlies door gevels en daken.
- Transmissieverlies kan men verminderen door het aanbrengen van warmteisolerende materialen.
- Warmteisolerende materialen verhogen de **warmteweerstand** van een constructie

16

Warmtetransport



17

Warmtetransport

- **Warmteweerstand (R)**

- De warmteweerstand van een laag materiaal van een bepaalde dikte wordt gevonden door het omgekeerde van de warmtegeleidingscoëfficiënt ($1/\lambda$) te vermenigvuldigen met de dikte (d).

$$r = \frac{1}{\lambda} * d = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 * K}{W} \right]$$

18

Warmtetransport

- Verband tussen warmteweerstand (R) en warmtestroomdichtheid (q).

$$q = \frac{\Delta T}{R} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- q de warmtestroomdichtheid
 ΔT het temperatuurverschil over de beschouwde constructie
R de warmteweerstand

19

Warmtetransport

• Warmteweerstand van constructies

- Bijgaand worden van enkele materialen met een veel voorkomende toegepaste dikte de warmteweerstand berekend.

Tabel 2.1 Voorbeeld warmteweerstanden

materiaal	warmte-geleidings-coëfficiënt λ (W/M · K)	dikte d (m)	warmte-weerstand $R = d/\lambda$ ($m^2 \cdot K/W$)
beton	2,0	0,18	$\frac{0,18}{2,0} = 0,09$
spaanplaat	0,2	0,018	$\frac{0,018}{0,2} = 0,09$
kunststofschuim	0,035	0,06	$\frac{0,06}{0,035} = 1,71$

20

Warmtetransport

- **Warmteweerstand van gelaagde constructies**
 - Meestal bestaat een constructie uit meer dan 1 laag.
 - Voor iedere laag kan de warmteweerstand worden berekend.
 - De totale warmteweerstand (R_c) wordt gevonden door de weerstanden van de afzonderlijke lagen bij elkaar op te tellen.
 - $R_c = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

21

Warmtetransport

- Onderstaand tabel geeft de totale warmteweerstand van een dak.

Tabel 2.2 Warmteweerstanden dakconstructie

laag	warmteweerstand ($m^2 \cdot K/W$)
dakbedekking	0,04
isolatie	1,71
beton	0,09
	<hr/>
	$R_c = 1,84$

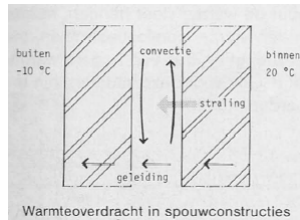
22

Warmtetransport

- **Warmteoverdracht in spouwconstructies**

- Bij een spouwconstructie komen alle vormen van warmteoverdracht aan de orde:

- Geleiding
- Straling
- Convectie



23

Warmtetransport

- Lucht is een goede isolator, voor stilstaande lucht geldt:

$$\lambda = 0,025 \text{ W/m.K}$$

- Voor een luchtlaag van 50 mm geldt dan:
 $R = d / \lambda = 0,05 / 0,025 = 2 \text{ m}^2\text{.K/W}$, dat is erg veel.
- De lucht in een spouw staat echter niet stil, er vindt een stroming, dus convectie plaats.
- Door verschil in oppervlaktetemperaturen van de spouwbladen vindt ook warmteoverdracht door straling plaats.
- Door straling en convectie (en ventilatie) wordt de grote warmteweerstand van de lucht in stilstaande toestand sterk verminderd.
- In het algemeen wordt gerekend met warmteweerstand voor een (verticale) spouw van $0,17 \text{ m}^2\text{.K/W}$

24

Warmtetransport

- **Warmteovergangsweerstanden**

- Overgang van lucht op materiaal en omgekeerd door convectie en straling brengt een zekere warmteweerstand met zich mee.
- Windsnelheid en oppervlaktetemperatuur veranderen steeds. Daarom wordt gewerkt met genormaliseerde waarden voor de zogenaamde warmteovergangsweerstanden
- $r_a = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (buiten)
- $r_i = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (binnen)

25

Warmtetransport

- Bij het berekenen van het warmteverlies door een constructie moet men rekening houden met de warmteweerstand lucht op lucht die is samengesteld uit de warmteweerstand van de constructie en de beide overgangsweerstanden.

$$R_i = r_i + R_c + r_a$$

26

Warmtetransport

• Warmtedoorgangscoefficient (k-waarde)

- Om de warmteverliezen naar buiten te berekenen werkt men in de verwarmingswereld veel met de zogenaamde k-waarde.
- De k-waarde is het omgekeerde van de warmteweerstand lucht op lucht.
- De k-waarde geeft aan hoe groot de warmtestroomdichtheid is door een constructie bij een temperatuurverschil van 1° C

$$k = \frac{1}{R_i} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad \text{EN} \quad q = k * \Delta T \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

27

Warmtetransport

Tabel 2.3 Voorbeeld warmteweerstand (R_c en R_i) en warmtedoorgangscoefficient van enkele constructies

	R_c ($m^2 \cdot K/W$)	R_i ($m^2 \cdot K/W$)	k ($W/m^2 \cdot K$)
enkelglas 4 mm	0,005	0,175	5,7
dubbelglas (4-12-4 mm)	0,16	0,33	3,0
spouwmuur 50 mm (ongeleerd)	0,35	0,52	1,9
spouwmuur 50 mm (geïsoleerd)	1,43	1,60	0,6
spouwmuur 100 mm (geïsoleerd)	2,68	2,85	0,35

$$R_i = r_i + R_c + r_a \rightarrow R_i = 0,13 + 0,005 + 0,04 = 0,175 \frac{m^2 * K}{W}$$

$$k = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{0,175} = 5,7 \frac{W}{m^2 * K}$$

Bij een ΔT van 30°C (buiten -10°C en binnen 20°C) is de warmtestroomdichtheid door enkelglas van 4mm:

$$q = k * \Delta T = 5,7 * 30 = 171 \frac{W}{m^2} \quad \text{OF} \quad q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{30}{0,175} = 171 \frac{W}{m^2}$$

28

Warmtetransport

• Temperatuurverloop in constructies.

- De warmtestroomdichtheid (q) in iedere laag van de constructie is even groot.
- Er blijft geen warmte achter in de constructie en er wordt ook geen warmte bijgemaakt (in stationaire toestand).
- Voor iedere laag geldt:

$$q = \frac{\Delta T}{R} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Bovenstaand betekend bij gelijke waarde voor q dat het temperatuurverschil over een laag met een grotere warmteweerstand ook groter moet zijn dan bij een laag met een kleine warmteweerstand.

29

Warmtetransport

• Temperatuurverloop in constructies.

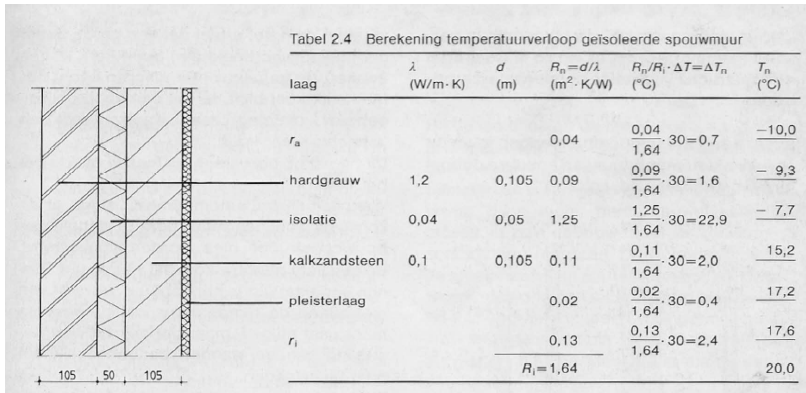
- Het temperatuurverschil over een constructie verdeelt zich evenredig aan de warmteweerstand van de verschillende lagen over die lagen.
- De temperatuursprong over een laag volgt uit de formule:

$$\Delta T_n = \frac{R_n}{R_i} * \Delta T [^{\circ}C]$$

ΔT_n	de temperatuur over laag n
R_n	de warmteweerstand van laag n
ΔT	het temperatuurverschil tussen de lucht aan weerszijden van de constructie
R_i	de warmteweerstand lucht op lucht van de totale constructie.

30

Warmtetransport



31

Warmtetransport

- Grafische weergave bepaling temperatuurverloop

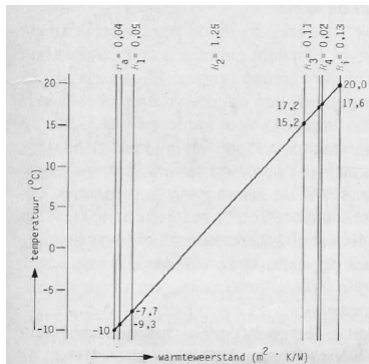
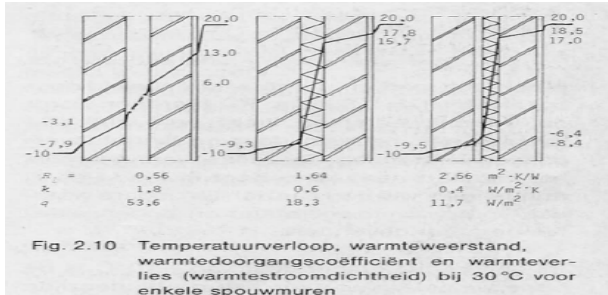


Fig. 2.9 Grafische bepaling temperatuurverloop

32

Warmtetransport



Achtereenvolgens ziet men als oppervlaktetemperatuur 13°C, 17.8°C en 18,5°C voor de ongeïsoleerde spouw, de spouwmuur met 50mm minerale wol en de spouwmuur met 60mm geextrudeerd polystyrenschuim bij een temperatuurverschil van 30°C

33

Warmtetransport

Gegeven:

In een vertrek staat een gaskachel die in staat is om bij een buitentemperatuur van -10°C een binnentemperatuur van +20°C te onderhouden. De oppervlakte van de steens buitenmuur, waartegen de kachel staat is 7,5 m², deze buitenmuur is gemetseld van hardgrauw en heeft een dikte van 220 mm waarvoor geldt: $\lambda=1.0 \text{ W/m.K}$ (warmtegeleidingscoëfficiënt).

Gevraagd:

Bereken de k-waarde van deze muurconstructie ?

Bereken het temperatuurverloop ?

De verloren energie indien 1 kWh ca. euro 0,30,- kost en de temperatuur 10 uur lang constant blijft ?

34

Warmtetransport

Olossing:

a. De warmteweerstand van de muurlaag:

$$R_c = d / \lambda = 0,22 / 1 = 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

b. De warmteweerstand van de constructie rekening houdend met de beide overgangsweerstanden (warmteweerstand lucht op lucht)

$$R_i = r_a + R_c + r_i = 0,04 + 0,22 + 0,13 = 0,39 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

c. De k-waarde bedraagt dan:

$$k = 1 / R_i = 1 / 0,39 = 2,56 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

d. Temperatuur aan de binnenzijde van de wand:

$$T_i - R_n / R_i \cdot \Delta T = 20 - 0,13 / 0,39 \cdot 30 = 10^\circ \text{C}$$

e. Temperatuur aan de buitenzijde van de wand:

$$T_i - R_n / R_i \cdot \Delta T = 20 - (0,13 + 0,22) / 0,39 \cdot 30 = -7^\circ \text{C}$$

f. Verloren energie is:

$$k \cdot A \cdot \Delta T = 2,56 \cdot 7,5 \cdot 10 \cdot 30 = 5760 \text{ Wh} = 5,76 \text{ kWh}$$

$$5,76 \cdot 0,3 = \text{euro } 1,73$$

35

EINDE

Docent: M.J.Roos

36