

R'JKSGEBOUWENDIENST

VOETWARMTE BIJ VLOEREN BOVEN BUITENLUCHT

Hoe kan de oppervlaktetemperatuur van een vloer worden beïnvloed door thermische isolatie; een niet stationaire berekening.

's-Gravenhage, 6 februari 1980
Rijksgebouwendienst
Hoofdafdeling Bouw
Afdeling Warmte- en Luchttechniek
Bureau Bouwfysica

Voetwarmte bij vloeren boven buitenlucht

<u>Inhoud</u>	blz.
0 Inleiding	1
1 Voetwarmte	2
1.1 - De ongeschoeide voet	2
1.2 - de geschoeide voet	4
2 Bepaling van de mate van voetwarm zijn van een vloer	7
2.1 - Metingen	7
2.2 - Berekening	9
3 Vergelijking verloop oppervlaktetemperatuur bij verschillende vloeren	10
3.0 - Inleiding	10
3.1 - Uitgangspunten voor de berekening	10
3.2 - Berekeningsresultaten	11
3.3 - Conclusie t.a.v. de verschillende constructies	15
4 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van één vloerconstructie in verschillende vertrekken bij verschillende installaties	16
4.0 - Inleiding	16
4.1 - Het vertrekmodel	16
4.2 - De installatie, radiatorverwarming	17
4.3 - Installatie, luchtverwarming	19
4.4 - De buitenluchtcondities	19
4.5 - Berekeningsresultaten oppervlaktetemperatuur vloer	20
4.6 - Berekeningsresultaten binnentemperatuurverloop	22
5 Conclusie	23
6 Literatuur	25

figuren: 4 t/m 12

Bijlage: Berekening warmteafvoer door geleiding bij vloeren

F. Eichler, (Bauphysikalische Entwurfslehre, literatuur 5)

Voetwarmte bij vloeren boven buitenlucht

Hoe kan de oppervlaktetemperatuur van een vloer worden beïnvloed door thermische isolatie; een niet stationaire berekening.

0 Inleiding

Vloeren boven buitenlucht, onderdoorritten, overstekken en dergelijke, komen niet zo erg veel voor. Wat wel veel voorkomt is een vloer boven een parkeergarage.

Tot voor korte tijd werden deze parkeergarages veelal verwarmd doordat ze werden geventileerd met de afvoerlucht van het gebouw.

Nu er aan het energieverbruik van gebouwen meer aandacht wordt besteed, wordt de afvoerlucht van het gebouw voor een groter deel gebruikt voor recirculatie en er vindt warmte-uitwisseling plaats tussen afgevoerde en toegevoerde lucht.

De parkeergarage wordt bij voorkeur via natuurlijke weg geventileerd en niet langer verwarmd.

Hoewel de temperatuur in zo'n parkeergarage ongetwijfeld iets hoger is dan de temperatuur van de buitenlucht zal hij deze toch dicht benaderen.

Met name de geschetste ontwikkeling met betrekking tot de parkeergarages vormde binnen de Rijksgebouwendienst de aanleiding om onderzoek te verrichten naar de behaaglijkheid (voetwarmte) in vertrekken waarvan de vloer grenst aan koude (buiten)lucht.

Kan in zo'n geval volstaan worden met een goede thermische isolatie van de vloer, of is het noodzakelijk in sommige gevallen vloerverwarming te gaan toepassen.

Om op deze vragen antwoord te kunnen geven zijn berekeningen gemaakt met betrekking tot het verloop van de oppervlaktetemperatuur, met name op de maandagochtend (na het weekend), voor een aantal principieel verschillende vloerconstructies.

Voor één van deze constructies is dit verloop ook onderzocht in een viertal verschillende vertrektypes: licht, zwaar, luchtverwarming, radiatorverwarming.

Het rekenwerk is verricht door de vakgroep Bouwfysica (ir. G.L.M. Augenbroe en T.L. Lie) van de Afdeling Civiele Techniek van de Technische Hogeschool in Delft, die wij daar uiteraard zeer dankbaar voor zijn, ook voor het meedenken tijdens het onderzoek.

Voor het rekenwerk is gebruik gemaakt van het programma AFEP (A Finite Element Program) ontwikkeld door de afdeling wiskunde uitgebreid ten behoeve van gebruik voor bouwfysische problemen door de vakgroep Bouwfysica van de T.H.

Voor een concreet project van de Rijksgebouwendienst (Districtsbureau Rijkspolitie Apeldoorn) is op dit gebied ook een onderzoek verricht (1) door Cauberg-Huygen B.V. (ir. E.G.C. Coppens en ir. J. Uyttendaele). Zij komen via een grafische methode ook tot de conclusie dat isoleren van een vloer aan de buitenzijde (onderzijde) beter is dan aan de bovenkant, en dat daarmee ook een acceptabele situatie wordt bereikt. Er wordt daarbij uitgegaan van minimaal 60 mm minerale wol als thermische isolatie en op zijn minst een normaal tapijt als vloerbedekking. Bij sterke nachtverlaging (tot 10 °C) is een dik tapijt noodzakelijk. Dit onderzoek betrof één concrete situatie met betonvloeren van 500 en 1000 mm dikte. In het nu voorliggende rapport wordt in meer algemene zin op de materie ingegaan.

In het navolgende wordt eerst gesproken over de eisen die men thermisch gezien aan vloeren boven buitenlucht moet stellen waarbij eerst nog wordt ingegaan op het begrip voetwarmte.

Tevens worden enkele in Duitsland gehanteerde criteria besproken. Daarna volgt een verslag van de uitgevoerde berekeningen en kunnen enkele conclusies worden getrokken.

1 Voetwarmte

1.1 De ongeschoeide voet

Onderzoek naar de voetwarmte van vloeren betreft meestal metingen die betrekking hebben op de ongeschoeide voet (2).

In dat geval blijkt de contacttemperatuur, dat is de temperatuur die zich zal instellen op het contactvlak direct nadat twee materialen tegen elkaar zijn gebracht, maatgevend te zijn.

De contacttemperatuur kan worden berekend met:

$$T_c = \frac{b_1 T_1 + b_2 T_2}{b_1 + b_2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

hierin is: $b_1 = \lambda_1 \rho_1 c_1$ de contactcoëfficiënt van materiaal 1 in $\text{J/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{1/2}$

λ_1 de warmtegeleidingscoëfficiënt in $\text{W/m} \cdot \text{K}$

ρ_1 de dichtheid van het materiaal in kg/m^3

c_1 de soortelijke warmte in $\text{J/kg} \cdot \text{K}$

b_2 idem materiaal 2

T_1 temperatuur materiaal 1 in $^{\circ}\text{C}$

T_2 temperatuur materiaal 2 in $^{\circ}\text{C}$

Uit onderzoeken is vast komen te staan dat, bij kortdurend contact (lopen), een houten vloer met een temperatuur van 17 tot 18 $^{\circ}\text{C}$ vrijwel altijd als voetwarm wordt gekwalificeerd terwijl vloeren met een temperatuur lager dan 17 $^{\circ}\text{C}$ vrijwel altijd aanleiding geven tot klachten.

Uitgaande van de contactcoëfficiënt voor de blote voet $b_{\text{voet}} = 1128 \text{ SI}$ bij een huidtemperatuur van 30 $^{\circ}\text{C}$ en voor de houten vloer $b_{\text{houten vloer}} = 700 \text{ SI}$ en $T_{\text{vloer}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ volgt een contacttemperatuur van:

$$T_c = 25,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Wanneer deze contacttemperatuur wordt aangehouden als minimum, kan worden berekend welke temperatuur andere materialen moeten bezitten om even voetwarm te zijn als de houten vloer, zie tabel 1.

Materiaal	b ($\text{J/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{1/2}$)	$T_{\text{vloer min.}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
beton	1680	22
hardgebakken tegels	1420	22
hout	700	18
linoleum	525	15
rubber	490	15
bouclé-tapijt	220	2

tabel 1: Voor voetwarme oppervlakken minimaal benodigde temperaturen bij kortdurend contact voor verschillende materialen.

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat steenachtige vloeren vrijwel altijd als "koude" vloer zullen worden ervaren.

Nu gelden deze waarden alleen bij kortstondig contact, lopen over een vloer. Aan de Technische Hogeschool van Denemarken zijn door Olesen (3) experimenten verricht, zij het met een beperkt aantal personen, waarbij de subjectieve comfort beoordeling van de vloertemperatuur werd geregistreerd na 1, respectievelijk 10 minuten staan op de proefvloer.

In tabel 2 wordt voor een aantal vloeroppervlakken de optimale temperatuur voor een contacttijd van 1 en 10 minuten gegeven en het aanbevolen temperatuurgebied wanneer voor 1 minuut contacttijd 10% ontevreden wordt toegelaten en voor 10 minuten 15%.

Vloertype	Optimale vloertemperatuur (°C)		Aanbevolen temperatuurgebied (°C)
	1 min.	10 min.	
hout ¹⁾	26,5	25,5	23-28
beton ¹⁾	28,5	27	26-28,5
linoleum (2,5 mm) op hout ²⁾	28	26	24-28
linoleum (2,5 mm) op beton ²⁾	28	27	26-28,5
wollen tapijt ²⁾	21	24,5	21-28

tabel 2: Optimale en aanbevolen oppervlaktetemperatuur van vloeren, voor blote voeten, door Olesen (2). Het aangeven van een bovengrens is interessant in het geval van vloerverwarming

1) experimenten van Olesen

2) andere onderzoekers.

1.2 De geschoeide voet

Bij goed geschoeide voeten is feitelijk alleen de oppervlaktetemperatuur van de vloer maatgevend, ongeacht de voor de vloer en vloerbedekking gebruikte materialen.

De temperatuur van het vloeroppervlak en de lucht vlak boven de vloer moet volgens Bobran boven de 17 à 18 °C liggen, ook bij voetwarme afwerkingen (4), terwijl tocht langs de vloer snel aanleiding geeft tot klachten.

Niettemin moet men oppassen met sterk geleidende vloeren en vloerafwerkingen (5), vooral wanneer de contacttijd groot wordt (werken aan een bureau, staan bij een of andere machine enz.).

De schoen vertraagd in wezen alleen de afkoeling van de voet door luchtstroming en kan in het contact met de vloer alleen worden gezien als een extra laagje vloerbedekking.

Aan de andere kant kan een schoen ook een negatief effect hebben omdat door de enigszins knellende werking hiervan de bloedcirculatie door de voet wordt bemoeilijkt.

Nevins en Olesen (3a, 3b) vinden uit experimenten dat bij geschoeide voeten de optimale vloeroppervlaktetemperatuur voor staande en lopende personen 24°C bedraagt bij een proefduur van 3 uur; het optimale percentage ontevreden proefpersonen bedraagt daarbij 6%. Uit hun experimenten, en uit vroegere experimenten van Muncey en Hutson, Frank, Munroe en Chrenko kwam verder naar voren dat de dikte van de schoenzolen nauwelijks invloed heeft op de subjectieve beoordeling van de oppervlaktetemperatuur van de vloer. Hetzelfde geldt voor het materiaal waaruit de bovenlaag van de vloer bestaat.

Zittende personen verkiezen een vloertemperatuur die 1 tot 3°C hoger ligt. Zo komt men tot de volgende aanbeveling. Bij extreme buitencondities (ontwerpcondities) zou de oppervlaktetemperatuur niet lager dan 17°C moeten zijn (12% ontevredenen); dit komt echter maar korte tijd per jaar voor.

Voor het grootste deel van het stookseizoen zou een minimum temperatuur van 20°C moeten worden aangehouden (8% ontevredenen). De maximaal toelaatbare waarden (vloerverwarming) liggen op 28°C onder dezelfde voorwaarden.

Al deze getallen gelden voor staande of zich verplaatsende personen. Voor zittende personen raad men aan de genoemde temperaturen met 2°C te verhogen.

Dit zou kunnen betekenen dat de oppervlaktetemperatuur van vloeren in kantoorgebouwen (zittend werk) bij voorkeur meer dan 22°C zou moeten bedragen. Het is echter irreëel om voor de oppervlaktetemperatuur van vloeren waarden te vragen die de luchttemperatuur dichter dan 1 à 2°C benaderen:

Immers in een gebouw waar 's nachts en in het weekeinde de binnentemperatuur met 5 tot 10 °C wordt verlaagd zullen ook de oppervlaktetemperaturen van tussenvloeren vrijwel nooit de waarde van de overdag ingestelde luchttemperatuur bereiken.

Voor kantoorruimten van rijksgebouwen wordt gestreeft naar een binnenuittemperatuur gedurende de winter van gemiddeld 20 °C (6); een waarde van 18 °C mag slechts incidenteel worden onderschreden.

Een redelijke waarde waaraan de oppervlaktetemperatuur van de vloer gedurende het grootste deel van de tijd zou moeten voldoen lijkt daarom 17 - 19 °C.

Wat betreft de toe te laten onderschrijdingen het volgende.

In de aanbevelingen van de Rijks Geneeskundige Dienst (7), waarop (6) is gebaseerd, wordt, uitgaande van de behaaglijkheidstheorie van Fanger gedurende 10% van de arbeidstijd (ca 100 uur per winter) meer dan 10% ontevreden toelaatbaar geacht tot maximaal 26% ontevreden. Hierbij moet men echter bedenken dat dit voor alle binnenklimaatfactoren tezamen geldt.

Voor het beoordelen van één aspect zoals de oppervlaktetemperatuur van de vloer zal men daarom niet van 100 uur moeten uitgaan maar van bijvoorbeeld 30 à 50 uur.

Uitgaande van de gegevens van Olesen (3) betekent dit dat de gewenste waarde van de vloertemperatuur zou mogen worden onderschreden tot 14 °C voor staande en 15 à 17 °C voor zittende mensen, en wel voor het hiervoor genoemde aantal uren.

Uit het voorgaande zou men de volgende eisen voor de oppervlaktetemperatuur van vloeren in kantoorgebouwen kunnen formuleren.

- Het grootste deel van de tijd moet de oppervlaktetemperatuur van de vloer minimaal liggen tussen 17 en 19 °C.
- Gedurende 30 à 50 uur per winter mag de oppervlaktetemperatuur tussen 15 en 17 °C liggen, waarbij er naar moet worden gestreefd dat de temperatuur van 17 °C uiterlijk ca 3 uur na aanvang van de kantoor tijd wordt bereikt.

2 Bepaling van de mate van voetwarm zijn van een vloer

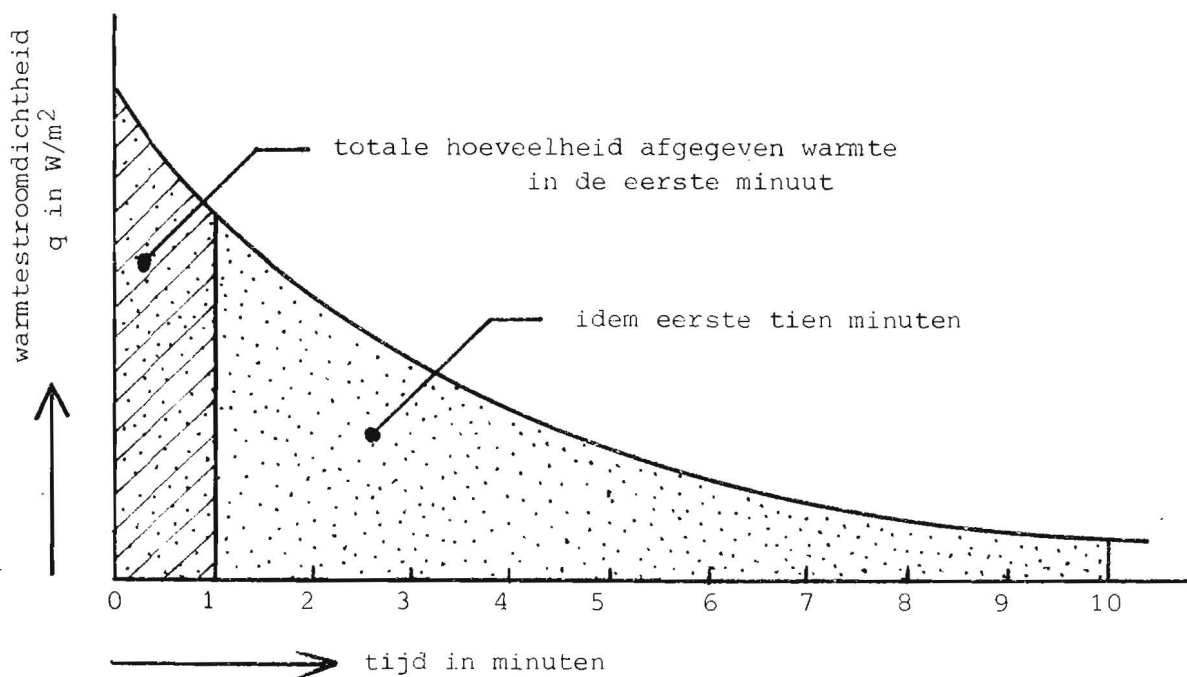
2.1 Metingen

In Duitsland (B.R.D.) heeft men in een normblad (8) een methode vastgelegd om het voetwarm zijn van een vloer via metingen te beoordelen.

Aan de onderzijde van een rond bakje, met een diameter en een hoogte beide van 150 mm, is een rubbervel aangebracht van 0,3 à 0,4 mm dik waarop een folie-warmtestroommeter is bevestigd. In dit bakje wordt water op een temperatuur van 33 °C gehouden.

Het verloop van de warmtestroom ziet er in principe uit zoals weergegeven in figuur 1.

De totale hoeveelheid afgegeven warmte over de eerste minuut en over de eerste 10 minuten is een maatstaf voor de beoordeling van het voetwarm zijn van de vloer, zie tabel 3.



figuur 1: verloop warmtestroom naar vloer bij meting voetwarmte.

Beoordeling	Warmteverlies in kJ/m^2 1 min. 10 min.	Voorbeelden
bijzonder voetwarm	≤ 40 ≤ 200	dik tapijt, dik kurklinoleum, enz.
voldoende voetwarm	40-50 200-300	houten delen, parket, p.v.c./linoleum/naaldvilt op isolerende afwerkvloer
niet voldoende voetwarm	≥ 50 ≥ 300	p.v.c./linoleum/naaldvilt enz. rechtstreeks op beton, alle steenachtige oppervlakken.

tabel 3: Beoordeling voetwarmte volgens meetmethode DIN 52614.

2.2 Berekening van de mate van voetwarm zijn van een vloer

In de D.D.R. bestaat een rekenmethode (5a) waarmee men de toch wel moeilijk toepasbare meetmethode van de DIN 52614 kan omzeilen.

Hierbij wordt een kengetal (B) voor de warmteafvoer berekend dat voor een vloer uit één laag overeenkomt met de contactcoëfficiënt b , maar waarbij voor vloeren uit meer lagen (vloerbedekking, afwerkvloer, isolatielaag enz.) wordt bekeken of de diepere lagen gedurende de contacttijd (aangehouden op 720 s ofwel 0,2 uur) invloed hebben op de warmteafvoer, waarna ze in de berekening worden betrokken.

Aan het kengetal B worden afhankelijk van het gebruik van de ruimte eisen gesteld.

De berekeningsmethode is als bijlage bij dit rapport te verkrijgen.

Voor kantoorgebouwen gelden de volgende waarden:

$$B < 700 \text{ J/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}} \text{ (onderbreken verwarming)}$$
$$B < 1000 \text{ J/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}} \text{ (continue verwarming)}$$

Voor de verderop te bespreken vloeren zal ook het kengetal B worden berekend.

Een beoordeling van vloeren met behulp van deze methode die overeenkomt met de DIN 52614 (zie tabel 3) leidt tot de in tabel 4 gegeven indeling.

Beoordeling	Kengetal B
	$\text{J/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}}$
bijzonder voetwarm	< 350
voldoende voetwarm	350-700
niet voldoende voetwarm	> 700

tabel 4: Beoordeling voetwarm zijn van vloeren m.b.v. kengetal B (5a).

3 Vergelijking verloop oppervlaktetemperatuur bij verschillende vloeren

3.0 Inleiding

Zoals al eerder is betoogd is voor het voorkomen van klachten over koude voeten in kantoorgebouwen, waar men over het algemeen met redelijk geschoeide voeten te maken heeft, een van de belangrijkste factoren de oppervlaktetemperatuur van de vloer.

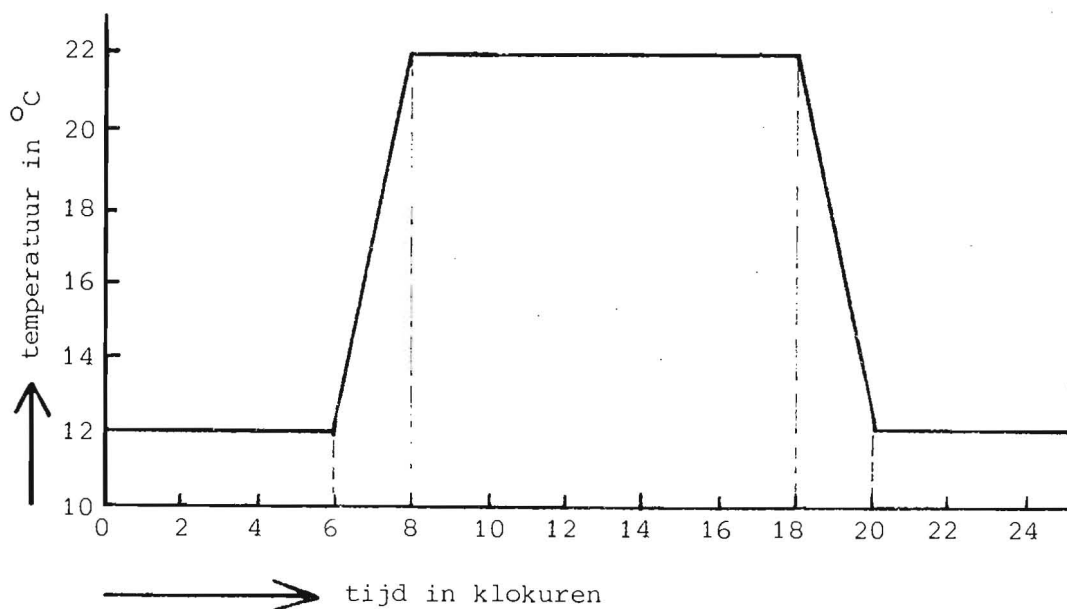
Om een indruk te krijgen van het dynamisch gedrag van een aantal verschillende opgebouwde vloeren is het temperatuurverloop in deze vloeren berekend bij een sterk geschematiseerd binnen- en buitenklimaat.

3.1 Uitgangspunten voor de berekening

Beschouwd is een situatie met een constante buitentemperatuur van:

$$T_a = - 8 ^\circ\text{C}$$

en een binnentemperatuur van $22 ^\circ\text{C}$ tijdens werkuren met een nacht- en weekendverlaging tot $12 ^\circ\text{C}$ (zie figuur 2).



figuur 2: Aangenomen verloop van de binnentemperatuur.

Voor de overgangscoefficienten is aangehouden:

$$\alpha_i = 6,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_a = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Bij de start van de berekening is een bepaalde temperatuurverdeling in de constructie aangenomen. Om het systeem voldoende tijd te geven om "in te slingeren" zijn als maatgevende dagen de 11e (een vrijdag) en de 14e dag (een maandag) van de berekening gekozen.

3.2. Berekeningsresultaten

De beschouwde constructies worden gegeven in figuur 3. Het berekende verloop van de oppervlaktetemperatuur op vrijdag- en maandagmorgen bij het onder 3.1 beschreven verloop van de binnentemperatuur wordt gegeven in de figuren 4 t/m 6 en samengevat in tabel 5.

Constructie				Oppervlaktetemperatuur op tijdstip							
nr.	B	R_c ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	T_{st} ($^{\circ}\text{C}$)	maandagochtend				vrijdagochtend			
				8.00	9.00	12.00	18.00	8.00	9.00	12.00	18.00
1	621	0,16	9,1	6,5	7,2	8,0	8,7	6,8	7,5	8,2	8,8
2	621	1,66	19,6	13,7	14,4	15,2	16,1	15,4	16,0	16,6	17,2
3	188	1,77	19,7	16,1	16,5	16,9	17,3	17,1	17,5	17,8	18,1
4	188	2,06	20,0	17,7	18,5	18,7	18,9	18,1	18,9	19,1	19,2
5	188	2,77	20,5	16,7	17,1	17,5	17,9	17,7	18,1	18,4	18,7
6	188	1,92	19,9	16,6	17,0	17,3	17,7	17,1	17,5	17,8	18,1
7	188	2,77	20,5	16,5	17,2	18,4	19,5	17,0	17,6	18,7	19,7
8	188	1,77	19,7	15,9	16,5	17,8	19,0	16,3	17,0	18,0	19,1
9	188	1,92	19,9	16,0	16,7	17,9	19,1	16,5	17,1	18,2	19,2

tabel 5: Oppervlaktetemperatuur bij verschillende constructies op diverse tijdstippen.

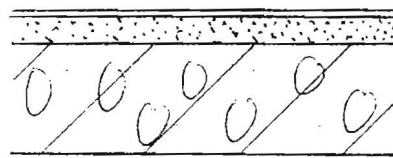
B kengetal volgens 2.2

R_c warmteweerstand van de constructie

T_{st} oppervlaktetemperatuur in een stationaire situatie met buiten -8°C en binnen 22°C .

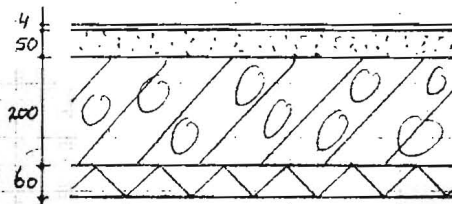
figuur 3: Overzicht van de beschouwde vloerconstructies

1



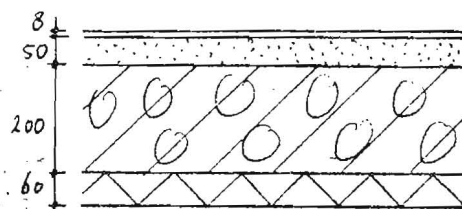
linoleum	$R = 0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ ''}$
beton	$R = 0,10 \text{ ''}$
	$R_c = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$

2



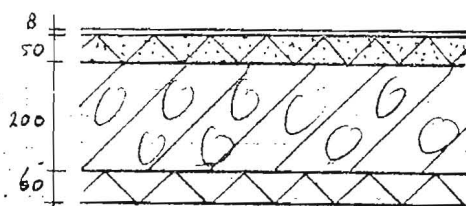
linoleum	$R = 0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ ''}$
beton	$R = 0,10 \text{ ''}$
min. wol	$R = 1,50 \text{ ''}$
	$R_c = 1,66 \text{ m}^2\text{K/W}$

3



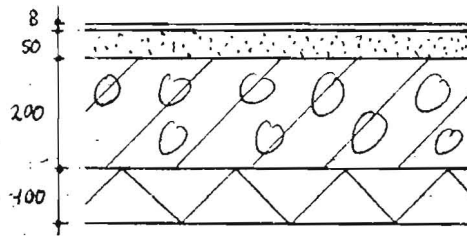
tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ ''}$
beton	$R = 0,10 \text{ ''}$
min. wol	$R = 1,50 \text{ ''}$
	$R_c = 1,77 \text{ m}^2\text{K/W}$

4



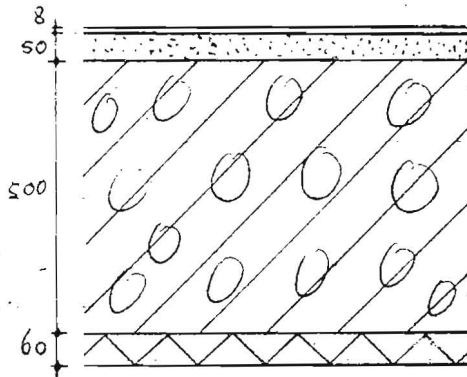
tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
is. estrich	$R = 0,33 \text{ ''}$
beton	$R = 0,10 \text{ ''}$
min. wol	$R = 1,50 \text{ ''}$
	$R_c = 2,06 \text{ m}^2\text{K/W}$

5



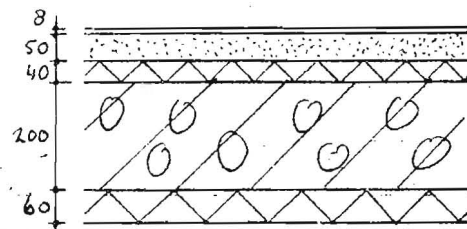
tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ "}$
beton	$R = 0,10 \text{ "}$
min.wol	$R = 2,50 \text{ "}$
$R_c = 2,77 \text{ m}^2\text{K/W}$	

6



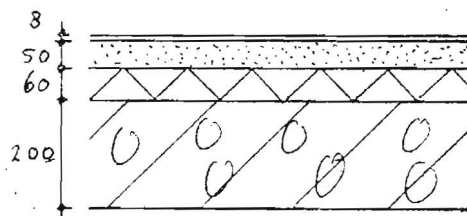
tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ "}$
beton	$R = 0,25 \text{ "}$
min.wol	$R = 1,50 \text{ "}$
$R_c = 1,92 \text{ m}^2\text{K/W}$	

7



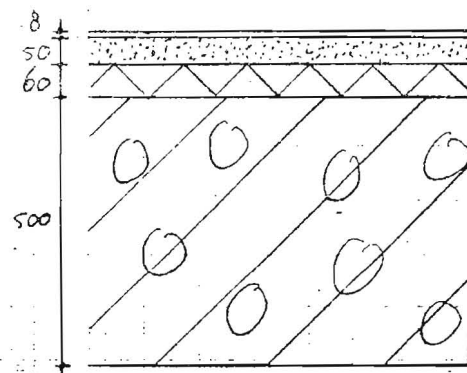
tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ "}$
foamglas	$R = 1,00 \text{ "}$
beton	$R = 0,10 \text{ "}$
min.wol	$R = 1,50 \text{ "}$
$R_c = 2,77 \text{ m}^2\text{K/W}$	

8



tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ "}$
foamglas	$R = 1,50 \text{ "}$
beton	$R = 0,10 \text{ "}$
$R_c = 1,77 \text{ m}^2\text{K/W}$	

9



tapijt	$R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
estrich	$R = 0,04 \text{ "}$
foamglas	$R = 1,50 \text{ "}$
beton	$R = 0,25 \text{ "}$
$R_c = 1,92 \text{ m}^2\text{K/W}$	

In tabel 5 is tevens voor iedere constructie het kengetal B aangegeven (zie 2.2).

Het blijkt dat voor constructie 1 en 2 deze waarde bepaald wordt door het linoleum en de daar onder gelegen estrich laag. De vloer kan worden beoordeeld als voldoende voetwarm, zie tabel 4.

Zodra de vloerbedekking veranderd wordt in tapijt (hier: $\lambda = 0,06 \text{ W/m.K}$, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$; $c = 1470 \text{ J/kg.K}$) is alleen deze bovenste laag maatgevend en kan de vloer als bijzonder voetwarm worden beoordeeld.

Alle negen beschouwde vloerconstructies voldoen wat betreft beperking van warmteafvoer door geleiding aan de te stellen eisen, zodat er geen problemen zullen bestaan als de oppervlaktetemperatuur maar 17 à 19°C bedraagt of, zij het voor niet meer dan 30 à 50 uur per winter, minimaal 15 à 17°C .

Maatgevend is de temperatuur aan het begin van de maandagochtend. Opvallend is, dat isoleren van de vloer aan de bovenzijde (geval 8 en 9) geen betere resultaten geeft dan isoleren aan de onderzijde (geval 3 en 6).

Pas in de loop van de dag wordt dit het geval, figuur 4.

De oorzaak hiervan moet worden gezocht in het feit dat de warmte die in de vloer wordt geaccumuleerd bij isolatie aan de bovenzijde veel geringer is waardoor de afkoeling 's nachts en in het weekeinde groter is.

Het tweede dat opvalt is dat vervangen van linoleum door tapijt aan het begin van de maandagochtend niet minder dan 2°C hogere oppervlaktetemperaturen tot gevolg heeft (geval 3 t.o.v. 2).

De oplossing die over de gehele dag de hoogste oppervlaktetemperaturen geeft is die waar bij het normale cement-estrich vervangen wordt door een isolerende afwerklaag. Geval 4 levert op de maandagmorgen nog weer 2°C betere resultaten dan geval 3, figuur 5.

Verschil tussen isolatie onder (geval 5) en het geval waarbij deze isolatie is verdeeld tussen boven en onderzijde (geval 7) is er op maandagmorgen de eerste uren van de kantoortijd niet, figuur 6.

Nog een paar conclusies die voor de hand liggen.

Vergroten van de isolatie (geval 5 t.o.v. 3) geeft vanzelfsprekend ook een hogere oppervlaktetemperatuur, maar iets minder dan men op grond van een stationaire berekening zou verwachten, figuur 6.

Een dikkere betonvloer geeft in geval van isolatie aan de onderzijde, door de grotere warmte-accumulatie, een grotere verbetering van de oppervlaktetemperatuur dan op grond van een stationaire berekening zou volgen (geval 6 t.o.v. geval 3), figuur 4.

Bij isolatie aan de bovenzijde is de invloed van de dikte van de betonvloer verwaarloosbaar (geval 9 t.o.v. geval 8), figuur 4.

3.3 Conclusie t.a.v. de verschillende constructie

Thermische isolatie aan de onderzijde geeft de eerste helft van de maandagochtend hogere oppervlaktetemperaturen dan isolatie aan de bovenzijde.

Vervangen van linoleum ($R = 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; $\rho_{cd} = 70 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$) door tapijt ($R = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; $\rho_{cd} = 47 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$) geeft een verbetering van ca 2°C .

Vervangen van de normale zand-cement afwerklaag ($R = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; $\rho_{cd} = 85 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$) door een isolerende afwerklaag met perlite, vermiculite of dergelijke als hoofdbestanddeel ($R = 0,33 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; $\rho_{cd} = 21 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$) geeft nog weer een verbetering van ca 2°C .

De voorgaande berekeningen zijn heel goed bruikbaar voor het vergelijken van een aantal constructies; het doen van betrouwbare voorspellingen m.b.t. de absolute waarde van de oppervlaktetemperatuur is niet mogelijk omdat het verloop van de binnentemperatuur sterk afhankelijk is van het gebouw als totaal (glaspercentage, lichte of zware binnenwanden, wel of niet verlaagde plafonds enz.) en van de soort installatie, die voor een groot deel bepalend is voor de wijze waarop warmte aan de vloer wordt overgedragen.

Om deze reden is een van de constructies (geval 4) ondergebracht in een totaal vertrekmodel waarin diverse gebouw en installatie parameters zijn gevarieerd.

4 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van één vloerconstructie in verschillende vertrekken bij verschillende installaties

4.0 Inleiding

Teneinde een meer betrouwbare voorspelling te kunnen doen omtrent de absolute waarde van de oppervlaktetemperatuur van één van de hiervoor besproken vloerconstructies zijn vier variaties van een compleet vertrekmodel doorgerekend. Het betreft:

- een zwaar vertrek met radiatorverwarming
- een zwaar vertrek met luchtverwarming
- een licht vertrek met radiatorverwarming
- een licht vertrek met luchtverwarming.

4.1 Het vertrekmodel

De inwendige vertrekafmetingen zijn die van een gemiddeld kantoorvertrek:

breedte 4,8 m

diepte 4,2 m

hoogte 2,8 m

De gevel bestaat voor 40% uit dubbelglas.

De overige constructies zijn weergegeven in tabel 6.

constructie	zwaar vertrek	licht vertrek
gevel 40%	dubbel glas	dubbel glas
60%	geïsoleerde spouwmuur	sandwich paneel
plafond	beton	verlaagd plafond
gang- en zijwanden	halfsteens metselwerk	gipskartonwanden
vloer	constructie 4	constructie 4

tabel 6: Uitvoering zwaar- en lichtvertrek.

In het model is de warmtestraling en de convectieve warmteoverdracht gesplitst.

Beide worden in rekening gebracht via coëfficiënten (α) en een temperatuurverschil, terwijl bij de straling daar nog de zichtfactoren bijkomen.

De gebruikte coëfficiënten zijn weergegeven in tabel 7.

warmteoverdracht tussen	radiotorverwarming	luchtverwarming
wanden onderling (straling)	$\alpha_{sw} = 5,1$	$\alpha_{sw} = 5,1$
radiator en wanden (straling)	$\alpha_{sr} = 5,8$	----
lucht en vloer (convectie)	$\alpha_c = 1,6$	$\alpha_c = 1,6$
lucht en plafond (convectie)	$\alpha_c = 2,6$	$\alpha_c = 3,0$
lucht en wand	$\alpha_c = 2,6$	$\alpha_c = 2,6$
lucht en glas	$\alpha_c = 2,6$	$\alpha_c = 3,5$

tabel 7: Gebruikte warmteoverdrachtscoëfficiënten α in $W/m^2 \cdot K$ in het vertrek.

Uit tabel 7 mag blijken dat het verschil in luchttemperatuur en de sterkte van de luchtstroming bij de verschillende oppervlakken in rekening is gebracht door het aanpassen van de overdrachtscoëfficiënt. Immers in het model wordt met één uniforme vertrekluchttemperatuur gerekend, hetgeen niet overeenkomstig de werkelijkheid is.

Verder is aangenomen dat vanuit de borstwering de lucht wordt ingeblazen.

Wat betreft de ventilatie is gerekend met een constant ventilatievoud van $n = 0,5$ dag en nacht waarin dus ook de onwillekeurige infiltratie is begrepen.

4.2 De installatie, radiatorverwarming

De grootte van de radiator is bepaald volgens de bij de afdeling Warmte- en Luchttechniek van de Rijksgebouwendienst geldende uitgangspunten. De resultaten zijn vermeld in tabel 8.

transmissie ($\Delta T = 30^\circ C$)	969 W
toeslag voor bedrijfsonderbreking en koude vlakken 7%	
toeslag voor oriëntatie (N)	5%
	12%
warmteverlies door ventilatie (spleet-verliezen)	317 W
te installeren radiatorvermogen	1402 W

tabel 8: Uitkomst transmissieberekening.

Gekozen is een enkelplaatsradiator van 1800 x 600 mm, waarvan bij een kamertemperatuur $T_i = 22^\circ\text{C}$ en een gemiddelde watertemperatuur $T_{\text{rad}} = 80^\circ\text{C}$ de afgifte $Q = 1478\text{ W}$ bedraagt.

Exclusief de toeslag voor opwarmen enz. (7%) is overdag echter slechts een vermogen van $Q = 1337\text{ W}$ nodig ($\Delta T = 30^\circ$). Op basis hiervan en uit gegevens van de radiatorfabrikant volgen voor de benodigde gemiddelde radiatortemperatuur (bij een bepaalde buitentemperatuur en een binnentemperatuur $T_i = 22^\circ\text{C}$) en voor de afgifte van de radiator de volgende formules:

$$T_{\text{rad}} = 63,6 - 1,5 T_a \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

$$Q_{\text{rad}} = 7,52 (T_{\text{rad}} - T_i)^{1,3} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

hierin is: T_a de buitentemperatuur
 T_i de binnentemperatuur
 T_{rad} gemiddelde radiatortemperatuur
 Q_{rad} totale warmte-afgifte radiator

De warmte-afgifte van de radiator vindt deels plaats door straling, in het model berekend aan de hand van radiator- en wandtemperaturen en zichtfactoren, deels door convectie waarvoor is aangehouden 50% van het in formule 2 gegeven vermogen.

Regeling / te handhaven binnentemperaturen.

In het gebouw is een optimalizeringsinstallatie verondersteld.

Dit houdt in dat om 18.00 uur de installatie volledig wordt uitgescha-
keld en pas weer inkomt als 's nachts of het weekeinde de binnentemperatuur
daalt onder $T_i = 15^\circ\text{C}$ (zwaar gebouw) of $T_i = 12^\circ\text{C}$ (licht gebouw).
Het tijdstip van starten van de verwarming wordt in het computerprogramma
zodanig gekozen dat om 8.00 uur 's morgens de luchttemperatuur in het
vertrek $T_i = 20^\circ\text{C}$ bedraagt.

Tijdens het opwarmen is de gemiddelde radiatortemperatuur $T_{\text{rad}} = 85^{\circ}\text{C}$ deze temperatuur wordt gehandhaafd totdat ergens op de dag een luchttemperatuur in het vertrek wordt bereikt van $T_i = 22^{\circ}\text{C}$.

Op dat moment wordt in het programma de binnentemperatuur vastgehouden op 22°C , terwijl de gemiddelde radiatortemperatuur (T_{rad}) volgt uit formule 1.

Tijdens het vasthouden van de minimale nachttemperatuur wordt de gemiddelde radiatortemperatuur aangehouden op $T_{\text{rad}} = 40^{\circ}\text{C}$.

Bij het afkoelen is de radiatortemperatuur vrij en wordt derhalve bepaald door zijn omgeving en zijn eigen warmte-capaciteit waarvoor is aangehouden $C_{\text{rad}} = 67 \text{ kJ/K}$.

4.3 Installatie, luchtverwarming

De luchthoeveelheid en de maximale inblaastemperatuur zijn ook verkregen uit de in tabel 8 vermelde transmissieberekening.

Als luchthoeveelheid is aangehouden $\dot{V} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$, de maximale inblaas-temperatuur is $T_{\text{max, inbl.}} = 35^{\circ}\text{C}$.

De criteria voor de regeling zijn in principe dezelfde als hiervoor onder 4.2 genoemd.

Dat houdt in dat tijdens het opwarmen de hiervoor genoemde luchthoeveelheid en inblaastemperatuur in het programma worden ingevoerd. Zodra een luchttemperatuur van 22°C is bereikt wordt deze vast verondersteld en worden luchthoeveelheid en inblaastemperatuur niet langer gebruikt in het programma. Ditzelfde geldt gedurende de nacht- en weekeindeperioden wanneer de temperatuur wordt vastgehouden op 15°C respectievelijk 12°C .

4.4 De buitenluchtcondities

Voor de buitentemperatuur is een sinusvormingverloop aangehouden van:

$$T_a = -5 \pm 3^{\circ}\text{C}$$

De hoogste temperatuur treedt op 's middags om 14.00 uur.

Een temperatuur van -5°C wordt overigens ca 180 uur per jaar onderschreden waarvan ca 45 uur tijdens kantoortijd vallen.

Er wordt geen rekening gehouden met zoninstraling (oriëntatie noord).

Aan alle buitenoppervlakken wordt gerekend met een gecombineerde convectieve- en stralingsoverdracht volgens:

$$\alpha_a = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

4.5 Berekeningsresultaten oppervlaktetemperatuur van de vloer

In de figuren 7 t/m 10 zijn de berekende temperatuurverlopen gegeven voor een viertal situaties (licht en zwaar vertrek, radiator- en luchtverwarming) voor de vrijdagmorgen en de maandagmorgen.

Het betreft in drie gevallen de 11e respectievelijk de 14e dag in de berekening, voor één geval (zwaar vertrek, radiatorverwarming) de 25e respectievelijk de 28e dag.

In tabel 9 zijn de resultaten samengevat.

geval	maandagmorgen					vrijdagmorgen				
	t _{aan}	T _{8.00}	T _{9.00}	T _{12.00}	T _{18.00}	t _{aan}	T _{8.00}	T _{9.00}	T _{12.00}	T _{18.00}
ZR	0.20	16,7	16,9	17,4	18,2	5.00	17,0	17,2	17,8	18,5
ZL	6.30	14,0	14,3	14,9	15,7	7.35	14,0	14,5	15,2	16,0
LR	5.30	15,9	17,0	17,8	18,0	6.00	16,0	17,2	18,1	18,4
LL	6.30	13,3	14,4	15,8	16,2	6.50	13,1	14,5	16,0	16,4
EM	6.00	17,7	18,5	18,7	18,9	6.00	18,1	18,9	19,1	19,2

tabel 9: Temperatuur vloeroppervlak bij verschillende vertrekmodellen op diversen tijdstippen.

In deze tabel betekent

ZR zwaar vertrek, radiatorverwarming

ZL zwaar vertrek, luchtverwarming

LR licht vertrek, radiatorverwarming

LL licht vertrek, luchtverwarming

EM eenvoudig model zie 3 (vloer alleen)

t_{aan} tijdstip waarop de installatie in bedrijf komt

T_{8.00} enz. oppervlaktetemperatuur van de vloer op het aangegeven tijdstip.

Uit de tabel blijkt duidelijk dat het verwarmingssysteem grote invloed uitoefent op de mate waarin het vloeroppervlak wordt opgewarmd.

Dit ligt ook voor de hand.

In het geval van luchtverwarming vindt de overdracht van warmte op de vertrekomwandingen alleen maar plaats via het mechanisme van convectie. Juist ter plaatse van de vloer is deze warmteoverdracht zeer gering omdat boven de vloer de koudste lucht aanwezig is, met een temperatuur lager dan de gemiddelde vertrek-luchttemperatuur; ook de snelheid van de luchtstroming, en daarmee de mate waarin de convectie plaatsvindt, is langs de vloer kleiner dan langs bijvoorbeeld gevel en plafond.

Met name geldt dit in het geval, zoals in het gebruikte model, waarbij de lucht bij de gevel wordt ingeblazen.

Overigens bestaat er natuurlijk nog wel een stralingsuitwisseling tussen de verschillende omwandingen onderling, waardoor de vloer mee profiteert van de hogere temperatuur van het plafond, maar veel helpt dit niet.

In het geval van radiatorverwarming ontvangen de vertrekomwandingen ongeveer de helft van de warmtetoevoer rechtstreeks via straling. Dit heeft een snellere stijging van de oppervlaktetemperatuur tot gevolg, waarbij eventueel door meubilair enz. van rechtstreeks zicht op de radiator verstoken vloergedeelten toch door de snel stijgende temperatuur van, onder andere, het plafond meer warmte krijgen toegevoerd door stralingsuitwisseling dan in het geval van luchtverwarming.

Het blijkt dat bij een vertrek met radiatorverwarming aan de criteria voor de gewenste oppervlaktetemperatuur wordt voldaan zie 1.2.

Bij luchtverwarming is het verschil met de gewenste oppervlaktetemperatuur ook aan het eind van de dag nog 2 à 3 °C.

Hierbij moet nog worden bedacht dat dit de meest gunstige vloerconstructie betreft (zie 3). Bij vloeren met een normale zand-cement afwerklaag om nog niet te spreken van vloeren met linoleum of dun naaldvilt inplaats van tapijt is een goede oppervlaktetemperatuur in het geheel niet haalbaar.

Van grote invloed is echter ook nog het "stookgedrag", daarom ook hierover nog enige woorden.

4.6 Berekeningsresultaten binnentemperatuurverloop

Uit oogpunt van energiebesparing zal men in ieder geval een nachtverlaging van de ruimte- (of water)temperatuur toepassen en in veel gevallen (optimaliseringsinstallatie) zal de verwarming 's nachts en in het week-einde geheel uit zijn, totdat een bepaalde van te voren ingestelde minimale temperatuur in de ruimte dreigt te worden onderschreden. Vaak wordt voor deze minimale temperatuur 10 à 12 °C aangehouden.

Bij de berekeningen bleek voor het zware vertrek 12 °C een te lage temperatuur te zijn, althans voor het weekeinde, de verwarming (radiatoren) moest reeds halverwege de zondag in (opstook)bedrijf komen om op maandagmorgen een acceptabele luchttemperatuur te verkrijgen.

Verder bleek het ook niet mogelijk om (bij alle vertrektypen) aan het begin van de dag (8.00 uur) een luchttemperatuur van 22 °C te hebben zonder enorm vroeg met opstoken te beginnen.

Daarom is het criterium gesteld van 20 °C om 8.00 uur en mocht 22 °C in de loop van de dag bereikt worden, dan is dat meegenomen.

Het verloop van de binnentemperatuur zoals dat daarmee is ontstaan is weergegeven in de figuren 11 en 12, en samengevat in tabel 10.

geval	maandagmorgen					vrijdagmorgen				
	t _{aan}	T _{8.00}	T _{9.00}	T _{12.00}	T _{18.00}	t _{aan}	T _{8.00}	T _{9.00}	T _{12.00}	T _{18.00}
ZR	0.20	20,02	20,3	20,9	21,6	5.00	20,08	20,4	21,2	22,0
ZL	6.30	19,99	20,2	20,8	21,5	7.35	20,05	20,4	21,0	21,7
LR	5.30	20,17	21,4	22,0	22,0	6.00	20,04	21,5	22,0	22,0
LL	6.30	20,32	21,3	22,0	22,0	6.50	20,07	21,2	22,0	22,0
EM	6.00	22,00	22,0	22,0	22,0	6.00	22,00	22,0	22,0	22,0

tabel 10: Luchttemperatuur bij verschillende vertrek/verwarmingsmodellen op diverse tijdstippen.

Voor verklaring symbolen zie tabel 9.

5 Conclusie

Bij een normaal energie-bewust stookgedrag (optimaliseringssystemen, nachtverlaging enz.) zijn problemen met betrekking tot een tekort aan voetwarmte alleen te voorkomen met een zeer gunstige vloeropbouw:

- niet te dun tapijt
- isolerende afwerklaag
- flinke thermische isolatie aan buitenzijde.

Dit geldt dan nog alleen maar voor ruimten die voor een deel via straling worden verwarmd, zoals bij radiatoren het geval is.

In alle andere gevallen blijft de oppervlaktetemperatuur van de vloer bij lage buitentemperaturen altijd te laag.

Om de oppervlaktetemperatuur op de gewenste waarde te krijgen zal men in die gevallen de binnentemperatuur 's nachts en in het weekeinde minder ver moeten laten wegzakken, of eerder met opstoken moeten beginnen. Dit is trouwens toch al nodig als men gaat "stoken op behaaglijkheid" in plaats van "op binnenluchttemperatuur".

Het is namelijk niet alleen de oppervlaktetemperatuur van een vloer boven buitenlucht die bij lage binnentemperaturen in de nacht en in het week-einde problemen veroorzaakt.

Tijdens het weekeinde is het gehele gebouw afgekoeld. Aan het begin van de maandagmorgen kan dan de luchttemperatuur de gewenste waarde hebben bereikt, terwijl de oppervlaktetemperatuur van de buitenwanden, maar ook van binnenwanden, vloeren en plafonds nog dermate laag kan zijn dat er klachten kunnen voorkomen omdat voor de thermische behaaglijkheid nu eenmaal ook (onder andere) een stralingstemperatuur nodig is die niet al te veel van de luchttemperatuur afwijkt.

Dit betekent dat de laagste temperatuur die voor nacht en weekeinde wordt ingesteld bepaald moet worden in relatie tot het gebouw (massa) en het verwarmingssysteem.

Men hoeft daarbij niet al te bang te zijn voor het verloren gaan van de besparing op brandstof die bij toepassing van een optimaliseringssysteem kan worden bereikt.

Alleen bij zeer lage buitentemperaturen zal de binnenluchttemperatuur te laag kunnen wegzakken.

Bij een goed geïsoleerd gebouw met een "dichte" gevel (9) zal de binnentemperatuur maar een beperkt aantal uren per jaar onder 15°C willen zakken, zodat het instellen van een nacht/weekeindtemperatuur van 15°C in plaats van 10 à 12°C ook maar een beperkte toename van het energieverbruik zal betekenen.

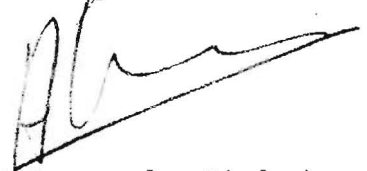
Met betrekking tot de vloeren boven buitenlucht wordt nog opgemerkt dat te lage oppervlaktetemperaturen natuurlijk ook kunnen worden voorkomen, en in sommige gevallen zal dat ook nodig zijn, door het toepassen van vloerverwarming.

In de meeste gevallen is dat echter niet nodig wanneer een gunstige vloeropbouw wordt gecombineerd met een goede thermische isolatie en wanneer er wordt gestookt "op behaaglijkheid" in plaats van op binnentemperatuur zoals hierboven beschreven.

In een goed geïsoleerd gebouw kan een vloerverwarming overigens wel een aantrekkelijk systeem betekenen. Er zijn ook goede combinaties mogelijkheden van dit "lage temperatuursysteem" met zonne-energie en warmtepompen.

Naast het voldoen aan een bepaalde oppervlaktetemperatuur moeten de vloerconstructies ook voldoen aan een criterium met betrekking tot het afvoeren van warmte door geleiding (contacttemperatuur), zie onder 2. Bij aanwezigheid van enige vloerbedekking (linoleum, naaldvilt, tapijt) vormt dit echter vrijwel nooit een probleem.

's-Gravenhage, 6 februari 1980



(ir. A.C. van der Linden)

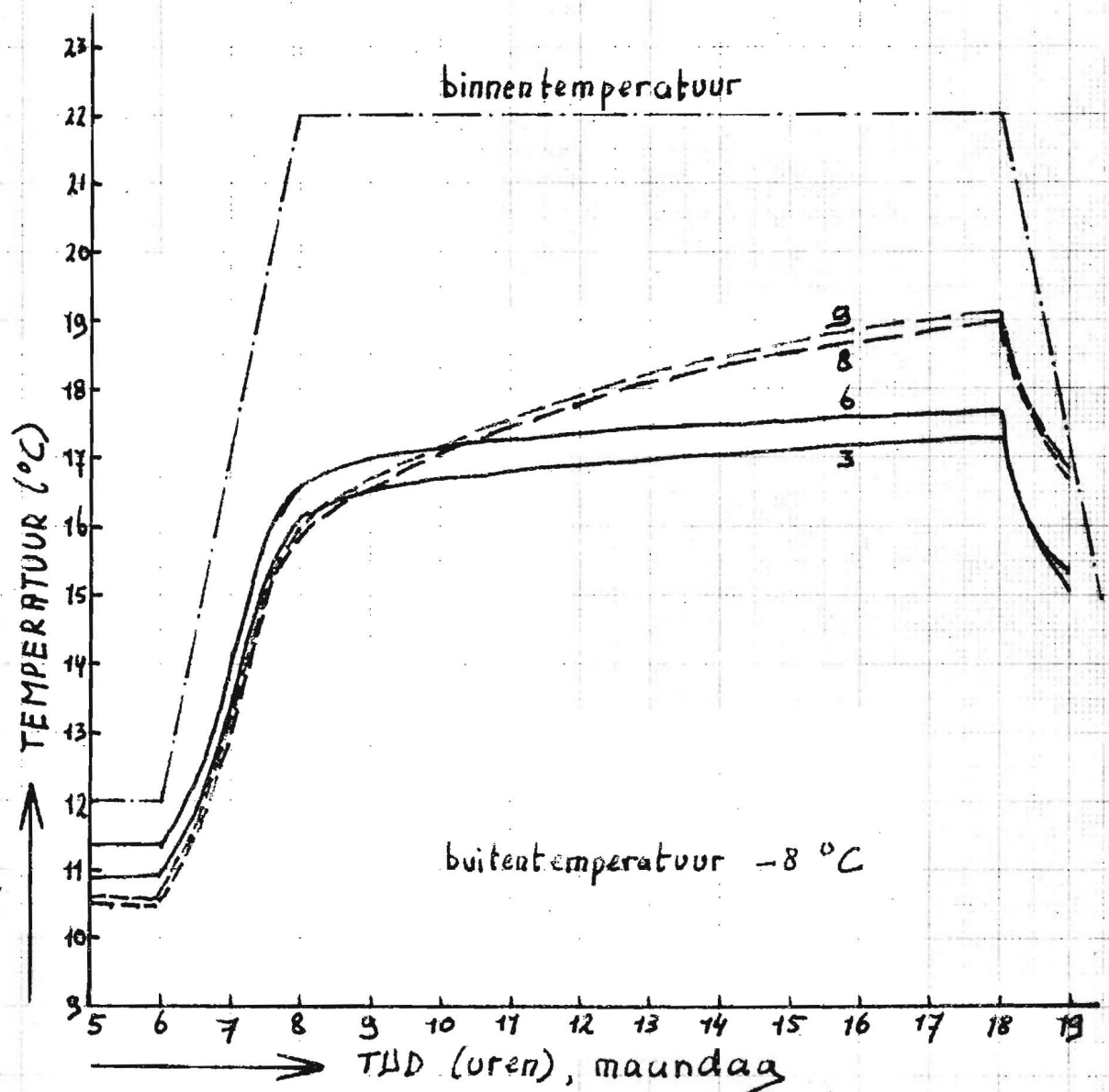
6 Literatuur

- 1 Coppens, E.G.C. en J. Uyttendaele: Districtsbureau Rijkspolitie Apeldoorn; Vloeren boven buitenlucht. Rapport 4581-2 Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V. Rotterdam 2-10-1978.
- 2 Verhoeven, A.C.: Collegediktaat Bouwfysica Gc 45. Technische Hogeschool Delft, september 1977.
- 3 Olesen, Bj.W.: Thermische comfort eisen voor vloeren. W.T.C.B.-Tijdschrift, december 1977.
 - a Olesen, Bj.W.: Thermal comfort requirements for floors. Technical University of Denmark 1975.
 - b Nevins, R.H., A.M. Feyerherm, K.B. Michaels, W.E. Springer: Effect of floor surface temperature on comfort (4 delen). ASHRAE Transactions vol. 70,72,73 (1964,1966,1967).
- 4 Bobran, H.W.: Handbuch der Bauphysik 1976, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mBH, Braunschweig.
- 5 Eichler, F. en I. Pohnert, Bauphysikalische Entwurfslehre band 1. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen 1975.
 - a TGL 28706/01 tot 10: Bautechnische Wärmeschutz. Entwurf oktober 1973.
Bearbeiter: Bauakademie der DDR, Central-institut Einheits-system Bau.
- 6 Bodewes, W.A.C.: Binnenklimaatcondities in kantoorruimten van nieuwe gebouwen.
's-Gravenhage, Rijksgebouwendienst, januari 1979.
- 7 Aanbevelingen voor de arbeidsomstandigheden in kantoren en gelijksoortige ruimten voor de huisvesting van Burgerlijk Rijksoverheidspersoneel.
's-Gravenhage, Rijks Geneeskundige Dienst, januari 1978.

- 8 Norm DIN 52614: Bestimmung der Wärme-ableitung von Fuszböden.
Berlin, Beuth Vertrieb, 1963.
- 9 Linden, A.C. van der: Richtlijnen betreffende de aan de lucht-
doorlatendheid van gevels te stellen eisen.
's-Gravenhage, Rijksgebouwendienst, 8 januari 1980.

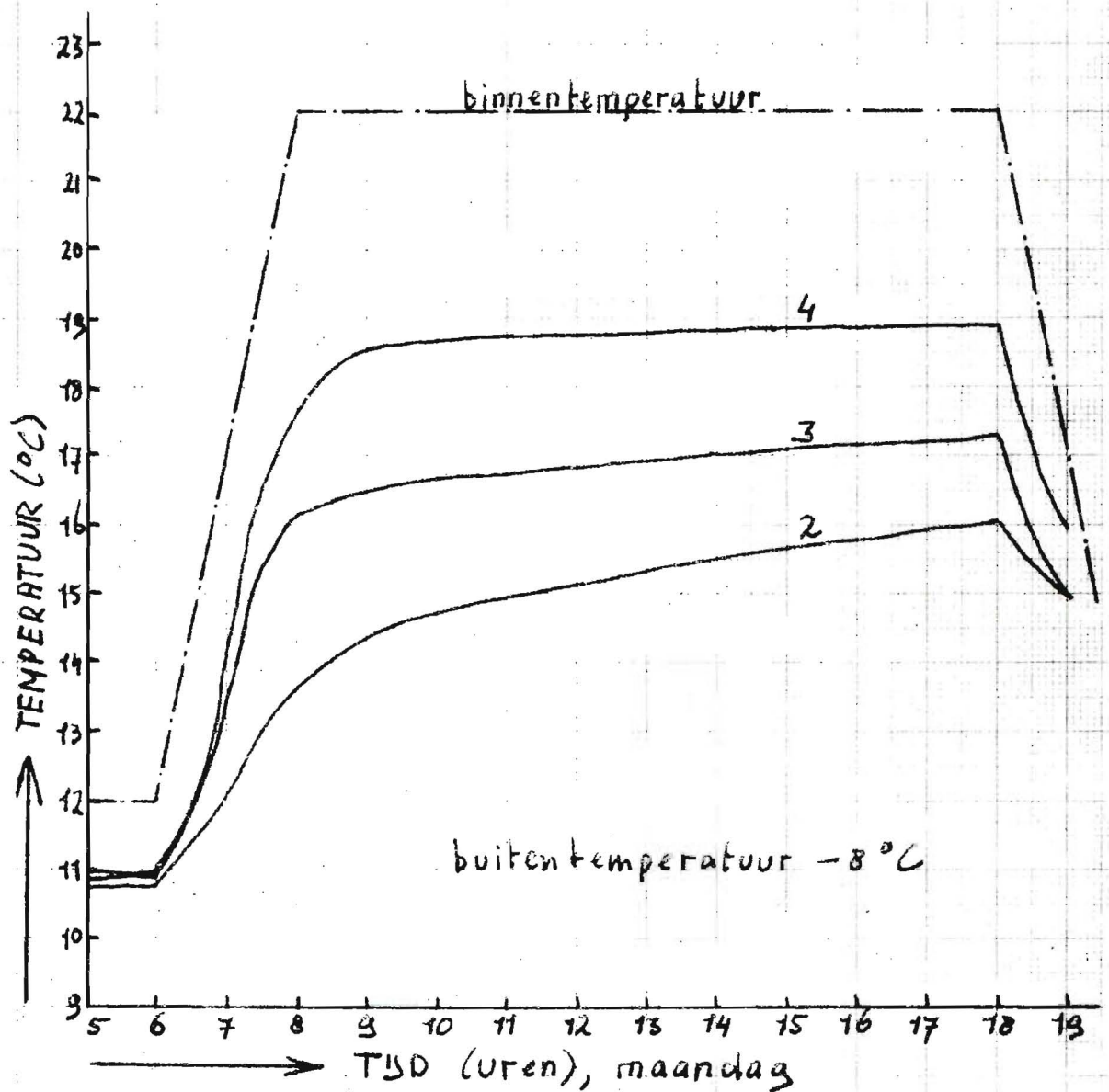
figuur 4: Verschil in verloop oppervlakte temperatuur
bij isolatie aan boven- en onderzijde van
de vloer

----- isolatie aan bovenzijde
————— isolatie aan onderzijde

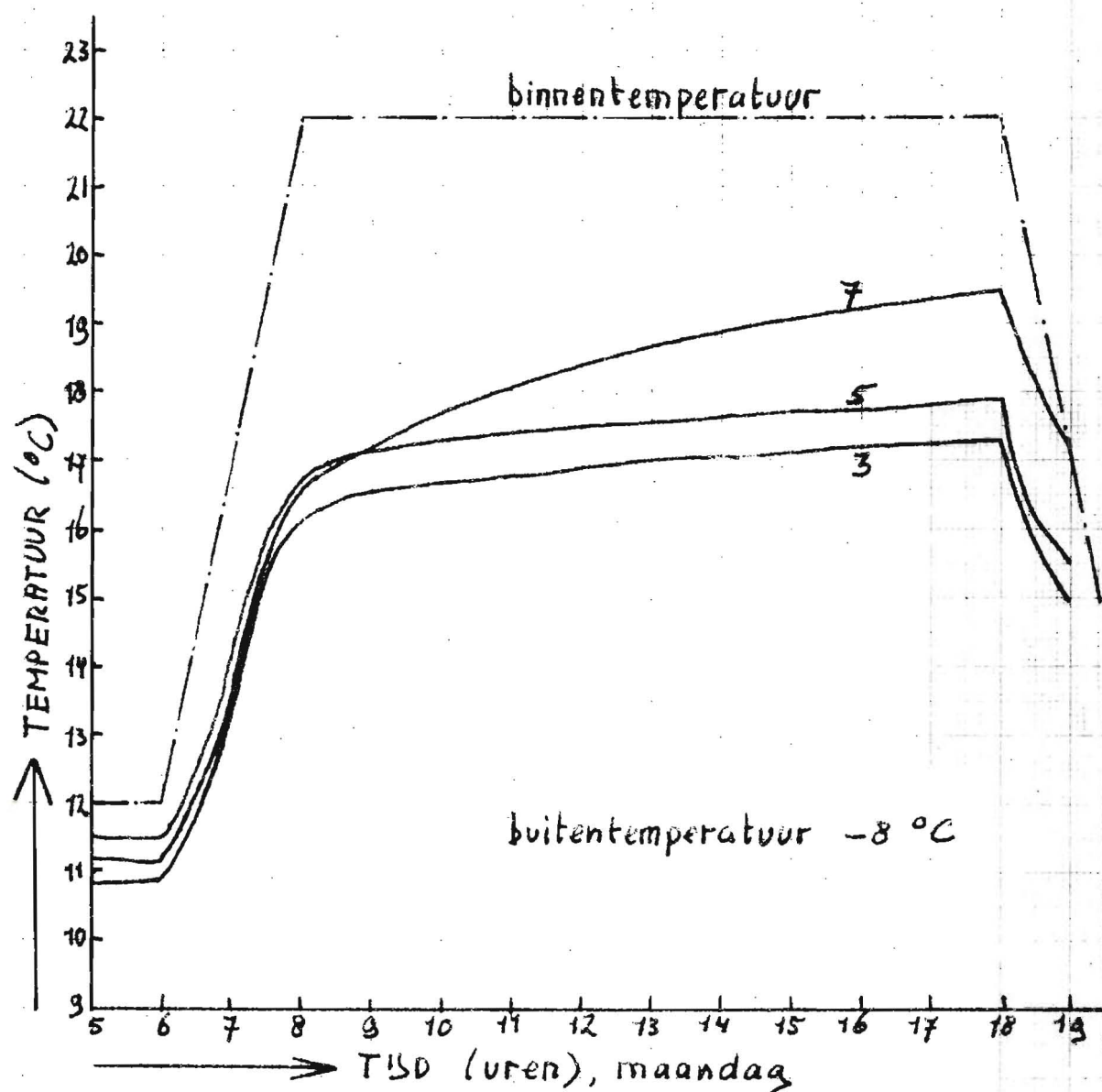


Figuur 5: Verbeteren oppervlaktetemperatuur door

- toepassen tapijt i.p.v. linoleum
- toepassen isolerende afwerklaag i.p.v. zand-cement estriich

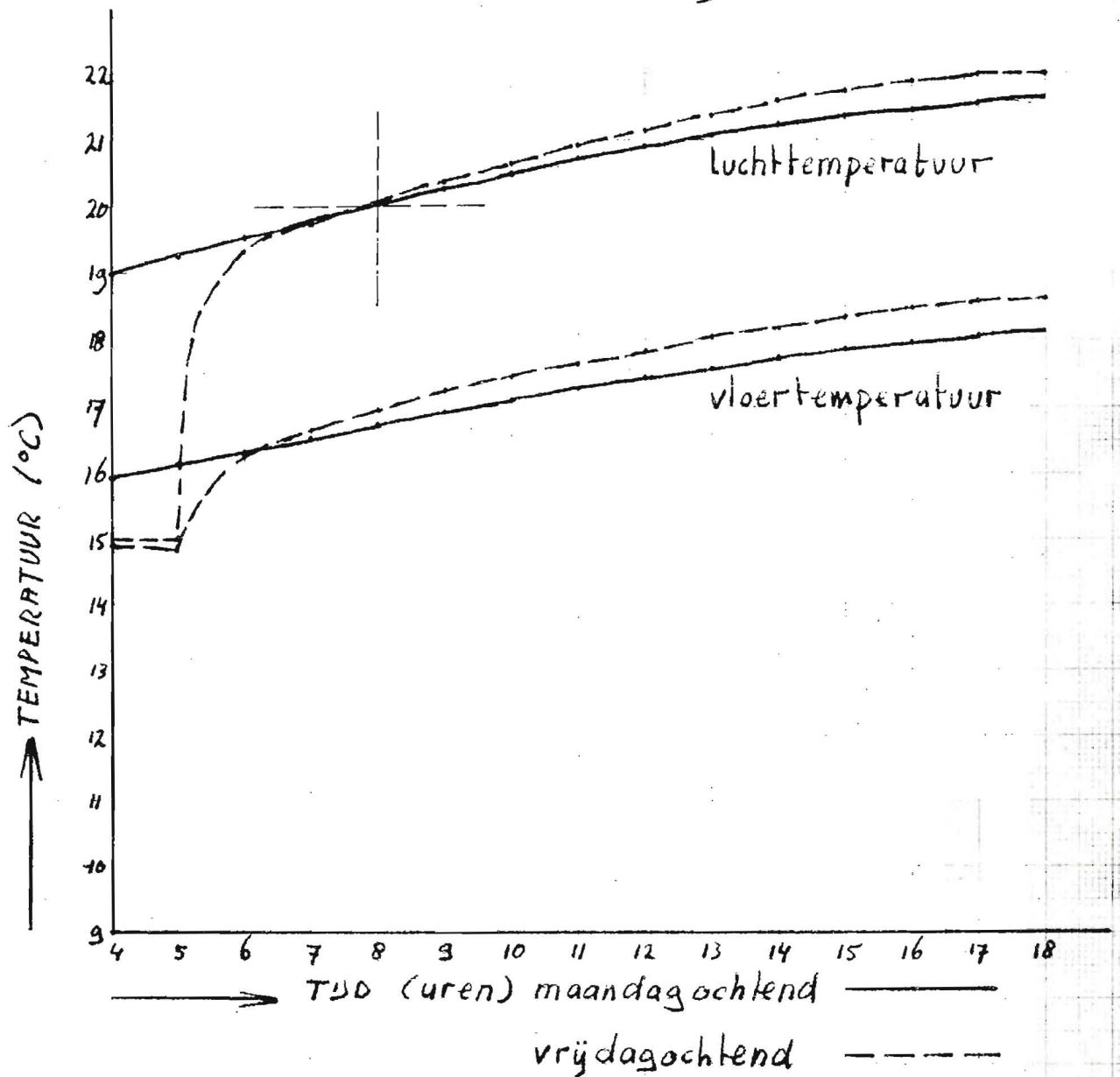


Figuur 6: Invloed vergroten isolatie dikte $3 \rightarrow 5$
 Invloed verdelen isolatie tussen boven-
 en onderzijde $5 \rightarrow 7$



Zwaar vertrek Radiatorverwarming

Figuur 7

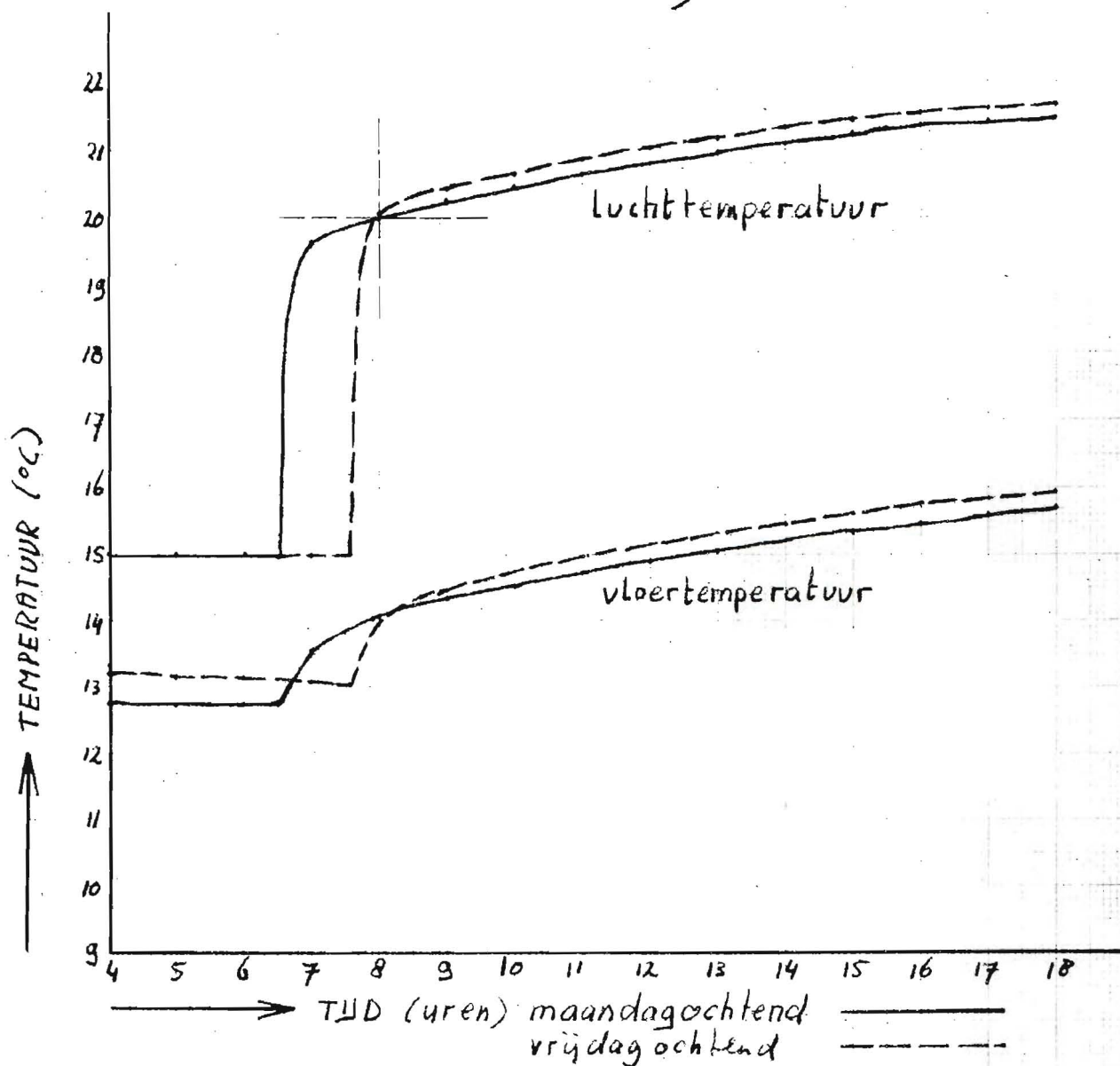


Installatie in bedrijf: maandagochtend 0.20 uur
vrijdagochtend 5.00 uur

figuur 7: Verloop temperatuur binnenlucht en vloeroppervlak bij een zwaar vertrek met radiatorverwarming

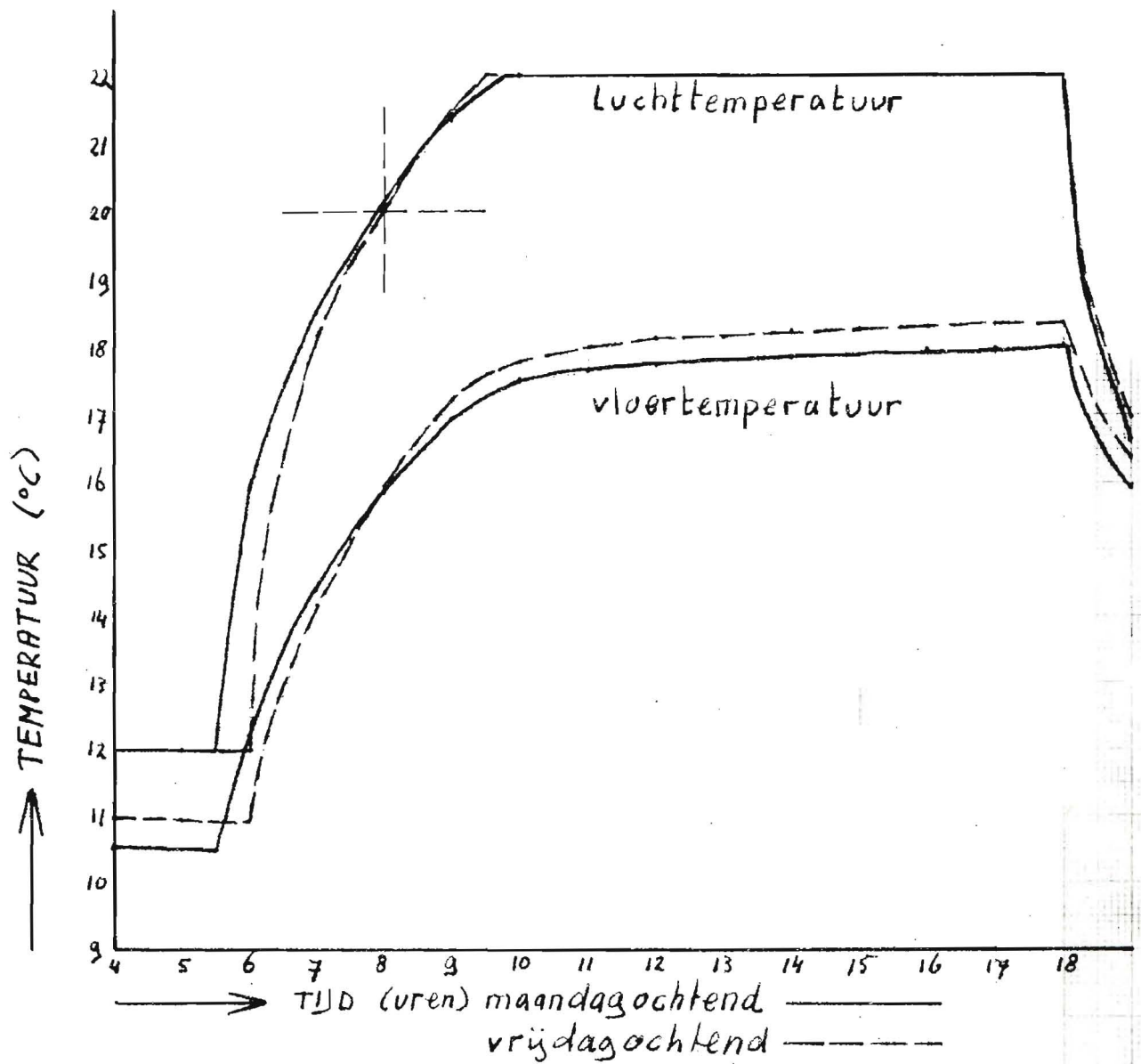
Zwaar vertrek
Luchtverwarming

figuur 8



Installatie in bedrijf : maandagochtend 6.30 uur
vrijdagochtend 7.35 uur

figuur 8: Verloop temperatuur binnenlucht en vloeroppervlak bij een zwaar vertrek met luchtverwarming

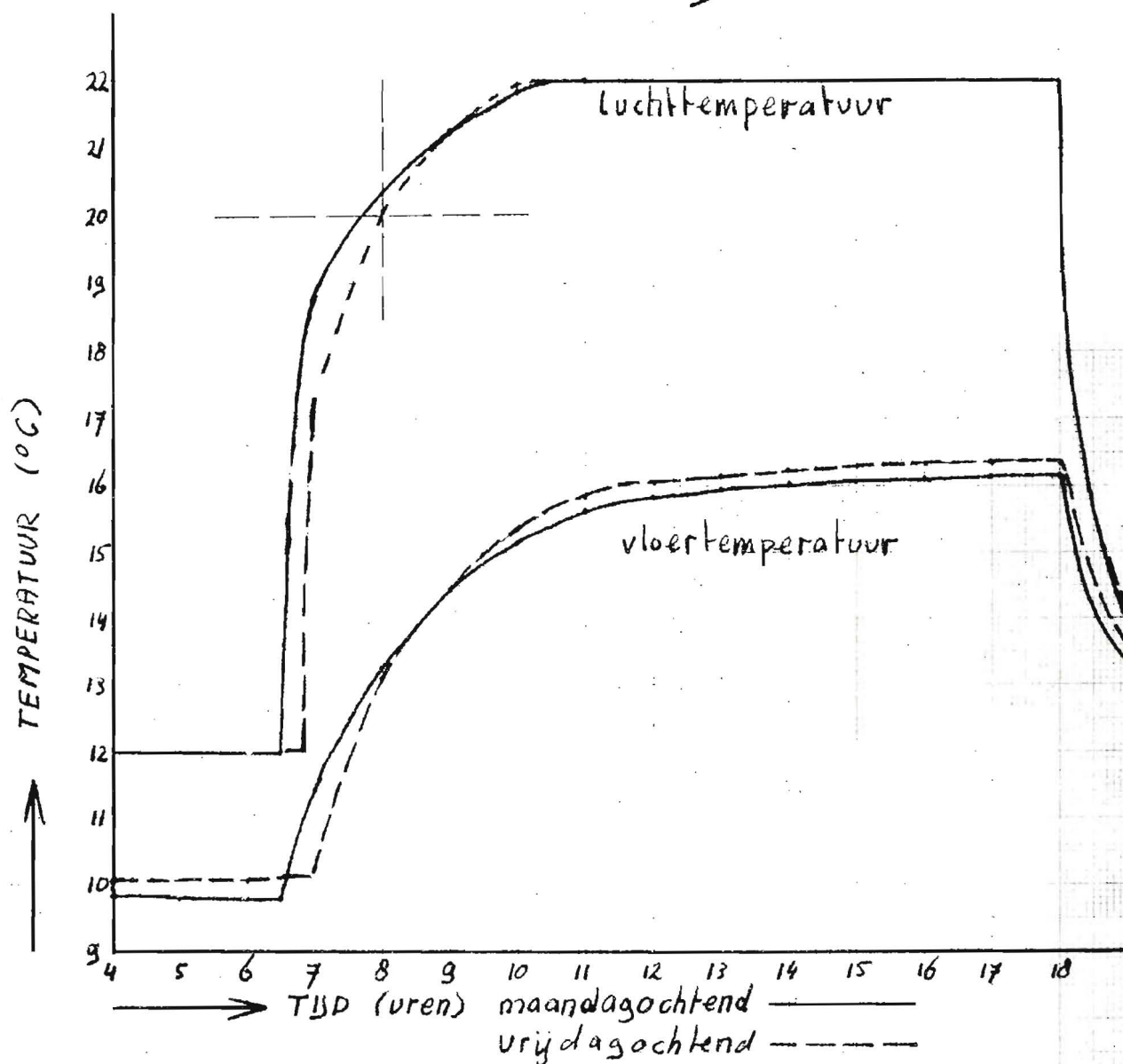


Installatie in bedrijf: maandagochtend 5.30 uur
vrijdagochtend 6.00 uur

figuur 2: Verloop temperatuur binnen lucht en vloeroppervlak bij een licht vertrek met radiatorverwarming.

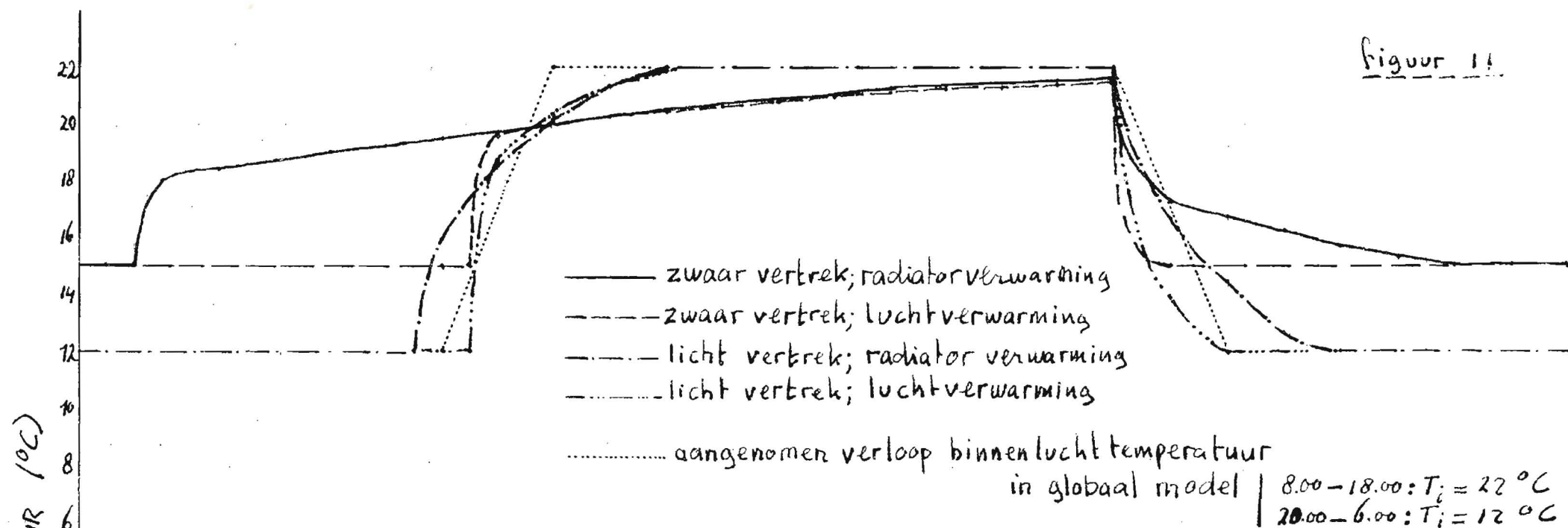
Licht vertrek
Luchtverwarming

figuur 10

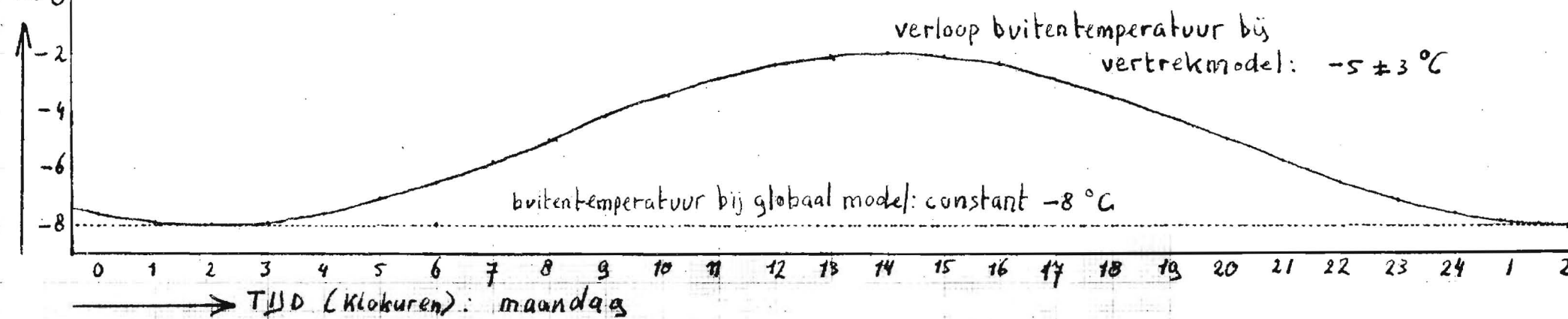


Installatie in bedrijf: maandagochtend 6.30 uur
vrijdagochtend 6.50 uur

figuur 10: Verloop temperatuur binnenlucht en vloeroppervlak bij een licht vertrek met luchtverwarming.



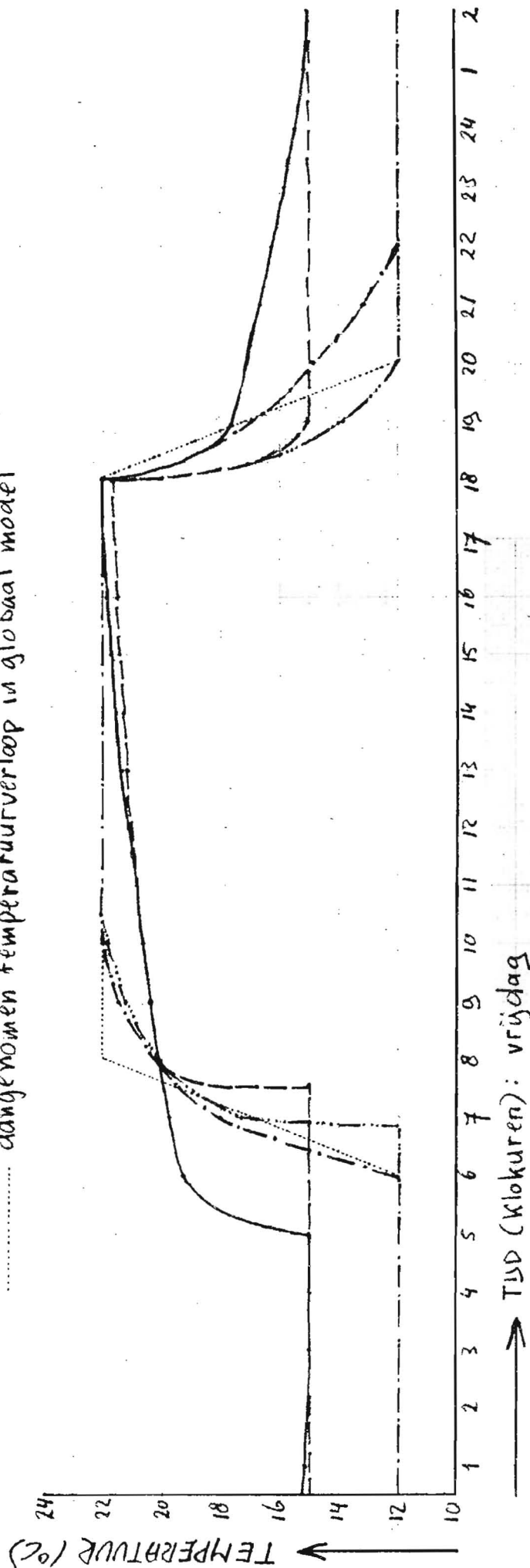
Figuur 11: VERLOOP LUCHTTEMPERATUUR
 BINNEN EN BUITEN OP DE MAANDAG.



Figuur 12: VERLOOP LUCHTTEMPÉRATUUR BINNEN OP DE VRIJDAG

- zwaar vertrek; radiatorverwarming
- - - zwaar vertrek; luchtverwarming
- · - · - licht vertrek; radiatorverwarming
- · - · - licht vertrek; luchtverwarming

..... dangenomen temperatuurverloop in globaal model



figuur 12

