

Warmte- en vochttransportsimulatie met blokdiagram programma's

A.W.M. van Schijndel en J.L.M. Hensen

Technische Universiteit Eindhoven, Vakgroep FAGO

Samenvatting

Na een korte inleiding over computersimulatie, wordt ingegaan op een type programma dat men in 'bouwfysische kringen' niet zo vaak tegenkomt: de zogenaamde 'blokdiagram-georiënteerde simulatieprogramma's'. Toepassing in de praktijk wordt gedemonstreerd aan de hand van een dynamisch warmte- en vochtprobleem. Tenslotte worden een aantal voor- en nadelen samengevat.

Symbolenlijst

T	= temperatuur [K]
p_v	= partiële dampspanning [Pa]
p'	= verzadigingsdampspanning [Pa]
q	= warmtestroom [J/s]
g	= vochtstroom [kg/s]
G	= warmtegeleiding [J/K.s]
G	= vochtgeleiding [kg/Pa.s]
C	= warmtecapaciteit [J/K]
C	= vochtcapaciteit [kg/Pa]
λ	= warmtegeleidingscoëfficiënt [W/m.K]
μ	= diffusieweerstandsgetal [-]
α	= warmteoverdrachtscoëfficiënt [W/m ² .K]
β	= waterdampoverdrachtscoëfficiënt [s/m]
ρ	= specifieke dichtheid [kg/m ³]
γ	= vochtinhoud materiaal bij een bepaalde relatieve vochtigheid [kg/m ³]
c	= soortelijke warmte [J/kg.K]
δ	= waterdampgeleidingscoëfficiënt van lucht (= $0,185 \cdot 10^{-9}$) [s]
A	= oppervlak [m ²]
d	= dikte [m]

Inleiding

Het totaal van een gebouw, installaties en gebruikers/bewoners, vormt in feite een zeer gecompliceerd dynamisch systeem dat wordt 'gedreven' door buiten- en binnenklimaatrandvoorwaarden. Om zo'n systeem te kunnen analyseren moet je doelmatig gereedschap hebben.

De hiervoor het meest voor de hand liggende technieken zijn modellering en simulatie.*

Dit zijn onmisbare ingenieurstechnieken geworden op het gebied van ontwerp (van bijvoorbeeld gebouwen, installaties en onderdelen daarvan), beheer (regeling van installaties) en

* Modellering is de kunst om een model te maken dat een complex systeem waarheidsgetrouw weergeeft. Onder simulatie wordt verstaan; het gebruik van het model voor analyses en voorspellingen met betrekking tot het reële systeem. In de huidige context gaat het over numerieke modellen respectievelijk computersimulatie.

(beter) begrijpen van de interacties tussen binnen-, buitenklimaat, gebouw, installaties en bewoners. Als belangrijkste reden hiervoor kan worden aangevoerd dat modellering en simulatie belangrijke voordelen (ten opzichte van bijvoorbeeld experimenteel onderzoek) bieden met betrekking tot:

- financiële aspecten; in een steeds groeiend aantal gevallen is computersimulatie sneller, beter en goedkoper dan experimenteel onderzoek;
- voorspellende waarde; computersimulatie maakt het mogelijk om een (model van een) systeem te analyseren voordat het überhaupt bestaat;
- educatieve mogelijkheden; de modellen zijn gemakkelijk aan te passen en goedkoop in het gebruik. Bovendien biedt simulatie de mogelijkheid om 'onmogelijke' omstandigheden na te bootsen en kan het zelfs als een kennisoverdrachtmiddel worden gebruikt.

Simulatie en experimenteel werk zijn feitelijk complementair: Experimenten om nog onbekende fenomenen/eigenschappen te 'ontdekken' en modellen te valideren, simulatie voor het analyseren/begrijpen van interacties tussen bekende onderdelen van het totale systeem.

Qua 'gereedschap' zijn voor computersimulatie in principe verschillende benaderingen mogelijk. Men kan uitgaan van:

- een meer algemene programmeertaal (Pascal, FORTRAN, C, C++, etc.) of een specifieke computersimulatietaal (SIMULA, ADA, etc) en het voorliggende probleem/model daarin tot uitdrukking brengen;
- een algemeen simulatieprogramma (bijvoorbeeld TUTSIM, EASY5, SIMULAB, SPICE, DESIRE, etc.) dat geschikt is voor het type probleem (discreet of continu, stochastisch of deterministisch, stationair of dynamisch) en daarmee vervolgens een model opstellen en simuleren;
- een simulatieprogramma dat specifiek geschikt is voor het betreffende probleem.

Het zal duidelijk zijn dat de 'algemeenheid' afneemt in de hier geschetste volgorde. Dit geldt echter ook voor de moeite die men moet doen om tot resultaten te komen. Dikwijls is het laatst genoemde alternatief in de praktijk niet reëel, omdat er (nog) geen simulatieprogramma beschikbaar is. Daarnaast heeft iedere aanpak nog een aantal specifieke voor- en nadelen. Overigens moet opgemerkt worden dat 'geautomatiseerde handberekeningen' (bijvoorbeeld voor warmteverliesberekening, het Fanger-model, etc.) in principe geen simulatieprogramma's zijn.

Een type dat men in 'bouwfysische kringen' niet zo vaak tegenkomt zijn de zogenaamde 'blokdiagram-georiënteerde simulatieprogramma's'. Hiervan wordt eerst een korte omschrijving gegeven. Vervolgens wordt toepassing in de praktijk aan de hand van een voorbeeld gedemonstreerd.

Blokdiagram-georiënteerde simulatieprogramma's (BSP's)

Een BSP zou men kunnen beschrijven als een soort object-georiënteerd programma. In dit geval is het object (of blok) echter niet iets fysieks als een wand of een vochtbron, maar één of andere input-output-relatie zoals: integraal, differentiaal, klok, bronterm, etc. Aan een differentiaalblok kun je bijvoorbeeld een temperatuur als input koppelen, waarna de afgeleide naar de tijd eruit komt. Alle blokuitgangen worden vervolgens verbonden met blokinputen. Het blokdiagram wat zo ontstaat is dan de modelrepresentatie van het probleem.

Bij sommige BSP's kun je het model ook in termen van bondgraafen beschrijven en invoeren. Beschrijving en invoer met blokdiagrammen is echter voor niet-ingewijden eenvoudiger en bovendien bij de meeste BSP's de standaard manier. Daarom gaan we hier alleen in op blokdiagrambeschrijvingen. Enkele BSP's bieden de mogelijkheid om de blokken op grafische wijze (bijvoorbeeld door aan te wijzen met de muis) te koppelen; in dat geval kan men zelfs spreken van grafisch programmeren. Vrijwel alle BSP's hebben als kenmerk dat uitgebreide invoer- en (grafische) uitvoerfaciliteiten standaard aanwezig zijn. Het voordeel hiervan is dat snel een prototype in het model kan worden gemaakt en geanalyseerd ('rapid prototyping'). Soms zijn echter niet alle gewenste typen blokken aanwezig. Een ander nadeel is, dat, in de praktijk, het model niet al te uitgebreid mag zijn omdat het blokdiagram dan te onoverzichtelijk wordt. BSP's zijn er overigens zowel voor PC's als voor (UNIX) workstations.

BSP's kunnen ook worden gebruikt voor het beschrijven van warmte- en damptransportproblemen [1]. Het principe van deze twee transportmechanismen is hetzelfde: de aanwezigheid van een gradiënt in de drijvende kracht (temperatuur, partiële dampspanning) die een bepaalde (fysische) stroom (warmtestroom, dampstroom) teweeg brengt. Verschillende grootheden spelen daarbij een rol (zie tabel 1).

Opstellen blokdiagram voor RC-analoon

Omdat de meeste bouwfysici bekend zijn met het RC-analoon, kan dit dienen als hulpmiddel voor het opstellen van een blokdiagram voor warmte- en damptransport.

Tabel 1. Analogie tussen damp- en warmtetransport voor een wand

warmtetransport			vochttransport		
grootheid	eenheid	formule	grootheid	eenheid	formule
temperatuur T	K		dampspanning p_v	Pa	
warmtestroom q	J/s		vochtstroom g	kg/s	
warmtegeleiding G	J/K.s	$A \cdot \lambda / d$	vochtgeleiding G	kg/Pa.s	$A \delta / \mu \cdot d$
warmteoverdracht G	J/K.s	$A \cdot \alpha$	vochtoverdracht G	kg/Pa.s	$A \cdot \beta$
warmtecapaciteit C	J/K	$\rho \cdot c \cdot A \cdot d$	vochtcapaciteit C	kg/Pa	$\gamma \cdot A \cdot d / p_v$

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt [W/m.K]
 α = warmteoverdrachtscoëfficiënt [W/m².K]
 ρ = specifieke dichtheid [kg/m³]
 c = soortelijke warmte [J/kg.K]
 A = oppervlak [m²]
 d = dikte [m]

μ = diffusieweerstandsgetal [-]
 β = waterdampoverdrachtscoëfficiënt [s/m]
 γ = vochtinhoud materiaal bij een bepaalde relatieve vochtigheid [kg/m³]
 δ = waterdampgeleidingscoëfficiënt van lucht (= 0,185.10⁻⁹) [s]

In het volgende gedeelte wordt in het kort de kern van het gebruik van BSP's met behulp van een 'RC-analoon' beschreven. Beschouw een dunne plaat met oppervlakte-temperaturen T_{oi} en T_{oe} zoals schematisch weergegeven in figuur 1.

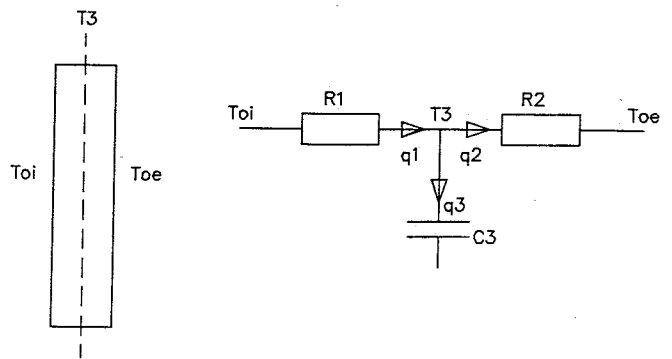


Fig. 1. RC-analoon voor een dunne plaat met een temperatuurverschil.

Voor temperatuur T_3 geldt:

$$T_3 = 1/C \cdot \int q_3(t) dt = 1/C \cdot \int (q_1(t) - q_2(t)) dt$$

Dit komt overeen met een 'C-blok' in BSP's. Een C-blok bestaat uit een INT-blok (= integrator) en een GAI-blok (GAIN = vermenigvuldiging met een parameter, in dit geval $1/C$). De invoervariabelen van het C-blok zijn de warmtestromen q_1 en q_2 en de uitgang is een temperatuur T_3 . Een blokdiagram voor deze formule is weergegeven in figuur 2.

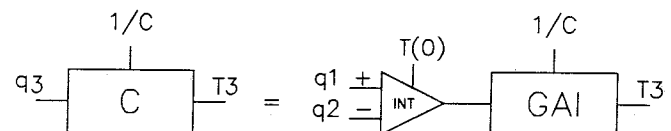


Fig. 2. Blokdiagram voor een capaciteit.

Bovendien geldt:

$$q_1 = (T_{oi} - T_3)/R_1 = G_1 \cdot (T_{oi} - T_3) \text{ waarbij } G_1 = 1/R_1 \text{ (= Geleidingselement)}$$

en

$$q_2 = (T_3 - T_{oe})/R_2 = G_2 \cdot (T_3 - T_{oe}) \text{ waarbij } G_2 = 1/R_2 \text{ (= Geleidingselement)}$$

Dit komt overeen met een 'G-blok' in BSP's. Het G-blok bestaat uit een GAI-blok (=vermenigvuldiging met een parameter, in dit geval G). De invoervariabelen van het G-blok zijn de temperaturen T_{oi} en T_3 en de uitgang de warmtestroom q_1 . Een blokdiagram voor deze formule is weergegeven in figuur 3.

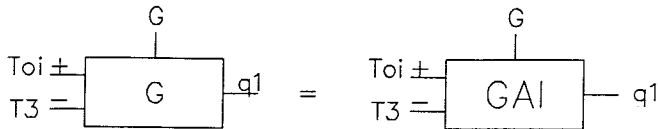
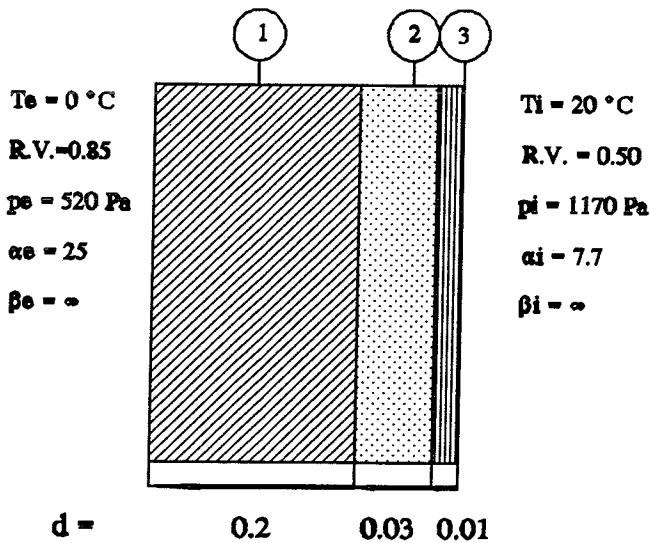


Fig. 3. Blokdiagram voor een geleiding.

Bij gebruik van BSP's gebruikt men dus meestal het geleidingselement G in plaats van het weerstandelement R . Na vervanging van de weerstanden door hun geleidingen verkrijgt men, wat men zou kunnen noemen, een GC-analogon.

De volgende stappen kunnen verder worden onderscheiden bij het opstellen van een blokdiagram:

- Diskretiseer de constructie in plaatsstappen (Δx). Het Fouriergetal F_0 is gedefinieerd als: $F_0 = \lambda \cdot \Delta t / \rho \cdot c \cdot \Delta x^2$. Bij de meeste BSP's is er als het ware sprake van een expliciete benadering voor de Fouriervergelijking. Indien er voor wordt gezorgd dat $F_0 < 1/2$, dan blijft de oplossing numeriek stabiel. Met behulp van Tabel 1 kunnen waarden voor de parameters $G = A \cdot \lambda / \Delta x$ en $C = \rho \cdot c \cdot A \cdot \Delta x$ worden bepaald. Invullen levert: $F_0 = G \cdot \Delta t / C$.



	1	2	3
Soort materiaal	Beton	P.U.R.	Pleister
Dichtheid ρ [kg/m ³]	2000	40	1500
Warmtegeleidingscoëf. λ [W/m.K]	1	0.03	1
Soortelijke warmte c [J/kg.K]	840	1470	840
Oppervlak A [m ²]	1	1	1
Diffusieweerstandsgetal μ [-]	20	33	100
Dampspanning p_v bij bepaling van γ	700	850	1000
Vocht per m ³ materiaal γ [kg/m ³]	60	1	10

- Geef het RC-analogon weer.
- Vereenvoudig serie-geschakelde weerstanden tot één vervangingsweerstand.
- Vervang de weerstanden door geleidingen, zodat een GC-analogon wordt verkregen.
- Stel het blokdiagram op uit bovenstaande gegevens.
- Bepaal parameters zoals de grootte van de geleidingen, capaciteiten en de tijdstap (zodanig dat $F_0 < 1/2$).

Het blokdiagram kan nu worden ingevoerd in een BSP. Over de wijze waarop het blokdiagram en de parameters worden ingevoerd in BSP's wordt hier niet verder ingegaan omdat de invoer per programma zal verschillen.

Voorbeeld gebruik BSP's bij simulatie instationair gedrag constructie

Warmtetransport

Als voorbeeld gaan we uit van de constructie zoals weergegeven in figuur 4. In deze figuur zijn ook de randvoorwaarden binnen en buiten, en waarden voor de verschillende parameters aangegeven. Tevens is in deze figuur weergegeven het verloop van de temperatuur en partiële dampspanning over de constructie als men uit zou gaan van stationaire omstandigheden.

Bepaling diskretisatie

Voor het bepalen van de diskretisatie wordt uitgegaan van een tijdstap Δt uitgedrukt in de eenheid uur en een warmtestroom q uitgedrukt in kW. Voor de bepaling van de G 's en C 's betekent dat:

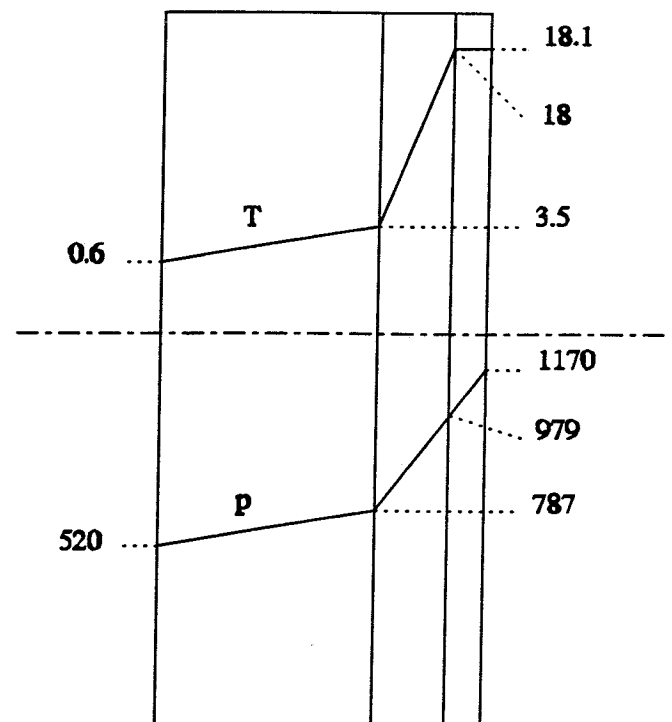


Fig. 4. Voorbeeld van een te simuleren constructie met randvoorwaarden binnen/buiten en materiaalconstanten; verloop van temperatuur en partiële dampspanning over de constructie onder stationaire omstandigheden.

$$G \text{ [kJ/Kuur]} = 3,6 G \text{ [J/K.s]}$$

$$C \text{ [kJ/K]} = 1/1000 C \text{ [J/K]}$$

Het aantal segmenten wordt gekozen: 4 segmenten voor het beton en 1 segment voor de PUR-isolatie en 1 voor het pleisterwerk. Het Fouriergetal, dat gelijk was aan $\lambda \cdot \Delta t / \rho \cdot c \cdot \Delta x^2$, ($= 3600 \cdot \lambda \cdot \Delta t / \rho \cdot c \cdot \Delta x^2$ met t in uren en q in kW) voor de diverse lagen is dan gelijk aan:

$$F_{0,\text{beton}} = 3600 \cdot 1 \cdot \Delta t / (2000 \cdot 840 \cdot (0,05)^2) = 0,9 \cdot \Delta t$$

$$F_{0,\text{PUR}} = 3600 \cdot 0,03 \cdot \Delta t / (40 \cdot 1470 \cdot (0,03)^2) = 2,0 \cdot \Delta t$$

$$F_{0,\text{pleister}} = 3600 \cdot 1 \cdot \Delta t / (1500 \cdot 840 \cdot (0,01)^2) = 29,0 \cdot \Delta t$$

Als nu $\Delta t < 1/60$ uur wordt gekozen, dan is elk Fouriergetal $< 1/2$ en mogen we dus een numeriek stabiele oplossing verwachten.

Opstellen GC-Analoon

Bij het toepassen van de indeling in segmenten wordt het in Figuur 5 weergegeven GC-analoon verkregen. Dit GC-analoon kan vervolgens worden vertaald naar een blokdiagram zoals ook is weergegeven in figuur 5.

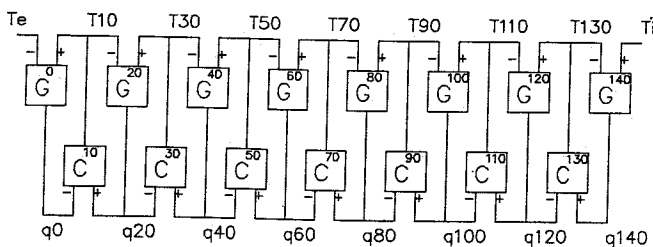
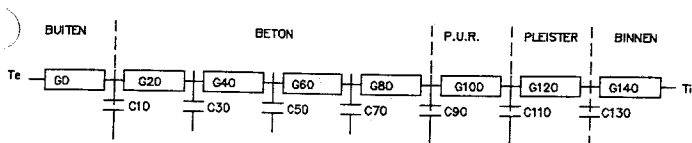


Fig. 5. GC-analoon en blokdiagram van de voorbeeldconstructie.

Bepaling parameters

Tabel 2 zijn de waarden voor de verschillende parameters weergegeven. Deze waarden zijn ontleend aan de gegevens in tabel 1 en in figuur 4.

Simulatie stapresponsie

Alle initiële temperaturen (binnen, buiten en in de constructie) worden op 0°C gesteld. Op tijdstip $t = 0$ wordt de binnentemperatuur plotseling op 20°C gebracht. De buitentemperatuur blijft 0°C . In figuur 6 zijn de met een BSP verkregen simulatieresultaten weergegeven.

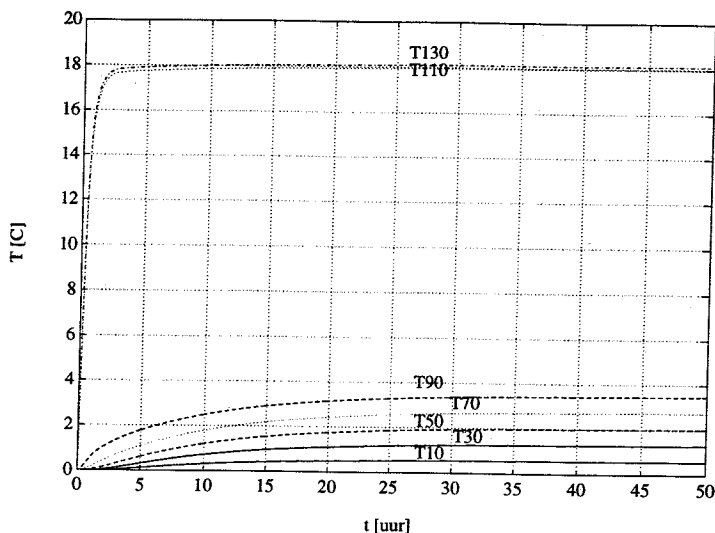


Fig. 6. Resultaten van de simulatie van het warmtetransport, T_{10} / m T_{130} zijn temperaturen op de diverse lokaties.

Damptransport

Bij het damptransport zijn er een aantal duidelijke verschillen ten opzichte van het warmtetransport. Als we ons beperken tot de verschillen die van belang zijn voor de simulaties, kunnen deze als volgt worden samengevat:

1. Zowel de warmtecapaciteit als de dampcapaciteit zijn afhankelijk van respectievelijk de temperatuur en de relatieve vochtigheid. Omdat de warmtecapaciteit van de meeste bouwmaterialen nauwelijks verandert bij temperaturen van -20 tot 40°C , wordt bij berekeningen een vaste waarde aangehouden. De dampcapaciteit kan echter vrij sterk variëren met de relatieve vochtigheid in een materiaal. Als de dampcapaciteit vermenigvuldigd wordt met de lokaal aanwezige partiële dampspanning p_v , moet een hoeveelheid vocht (kg) uit dit produkt komen. Er geldt: $C = \gamma \cdot A \cdot d / p_v$. Omdat zowel γ als p_v variabel zijn, zal C

Tabel 2. Parameterwaarde voor warmte- en damptransportmodel uitgaande van een constructie met een oppervlak van 1 m^2

capaciteit	grootte warmte [kJ/K]	vocht [kg/Pa]	geleiding	grootte warmte [kJ/K · uur]	vocht [kg/Pa · uur]
C10	42,0	$2,14 \cdot 10^{-3}$	G0	90,0	∞
C30	84,0	$4,29 \cdot 10^{-3}$	G20	72,0	$6,67 \cdot 10^{-7}$
C50	84,0	$4,29 \cdot 10^{-3}$	G40	72,0	$6,67 \cdot 10^{-7}$
C70	84,0	$4,29 \cdot 10^{-3}$	G60	72,0	$6,67 \cdot 10^{-7}$
C90	42,9	$2,16 \cdot 10^{-3}$	G80	72,0	$6,67 \cdot 10^{-7}$
C110	7,2	$4,26 \cdot 10^{-5}$	G100	3,6	$6,67 \cdot 10^{-7}$
C130	6,6	$2,50 \cdot 10^{-5}$	G120	360,0	$6,67 \cdot 10^{-7}$
			G140	27,7	∞

eigenlijk geen constante zijn. Ter vereenvoudiging wordt C hier echter wel constant verondersteld. Bij de bepaling van C worden de in figuur 4 weergegeven aannamen gehanteerd.

2. De partiële dampspanning p_v in een materiaal kan nooit hoger worden dan de verzadigingsdampspanning $p'(T_{\text{materiaal}})$. De uitgangen van de dampcapaciteiten (die een p_v geven) moeten dus begrenst worden met $p'(T_{\text{materiaal}})$. Om dit verder in het model in te bouwen kan men als volgt te werk gaan:

- uit het warmtetransportgedeelte wordt voor lokatie x de temperatuur gehaald;
- m.b.v. deze temperatuur kan men voor lokatie x de verzadigingsdampspanning berekenen;
- indien de dampdruk groter dreigt te worden dan de verzadigingsdampspanning, moet de dampdruk begrensd worden tot de verzadigingsdampspanning. Er treedt dan condensatie op. De totale hoeveelheid condens kan bepaald worden. Er wordt echter in dit voorbeeld geen rekening gehouden met de gevolgen van het mogelijk optredende water(vloeistof)transport.

De begrenzing van de partiële dampspanning p_v kan eenvoudig worden vertaald in een blokdiagram. Omdat de uitvoering hiervan per BSP anders zal zijn, wordt hier niet verder op in gegaan.

Bepaling diskretisatie

Er wordt dezelfde diskretisatie (eenheid van tijd is uur) genomen als bij het warmtetransport. Omdat het Fouriergetal evenredig is met de verhouding G/C en in het algemeen veel kleiner (=gunstiger) is bij damptransport dan bij warmtetransport, mag verwacht worden dat de numerieke stabiliteit geen problemen op zal leveren.

Opstellen GC-Analoon

Het GC-analoon voor het damptransport is identiek aan het GC-analoon voor het warmtetransport. Ook de beide blokdiagrammen komen overeen.

Simulatie stapresponsie

Als dit damptransportblokdiagram en de bijbehorende parameters in een BSP worden ingevoerd, waarbij nu op de partiële waterdampspanning binnen een stap wordt gezet en er rekening mee wordt gehouden dat de dampspanning begrenst is met de maximale dampspanning, kan eenvoudig een resultaat zoals weergegeven in figuur 7 worden verkregen.

De middelste curve vertoont een knik. Bij het knikpunt treedt de hiervoor genoemde begrenzing in werking hetgeen op condensatie duidt. De resultaten uit de figuren 6 en 7 komen in stationaire toestand precies overeen met een berekening volgens de Glaser-methode, ook voor wat betreft de condensatie hoeveelheid.

Simuleren op basis van klimaatgegevens

Bij het simuleren met een klimaatfile kunnen bijvoorbeeld de temperatuur en partiële dampspanning binnen constant worden gehouden en kunnen bijvoorbeeld de buitencondities worden gevarieerd. De buitencondities worden daartoe

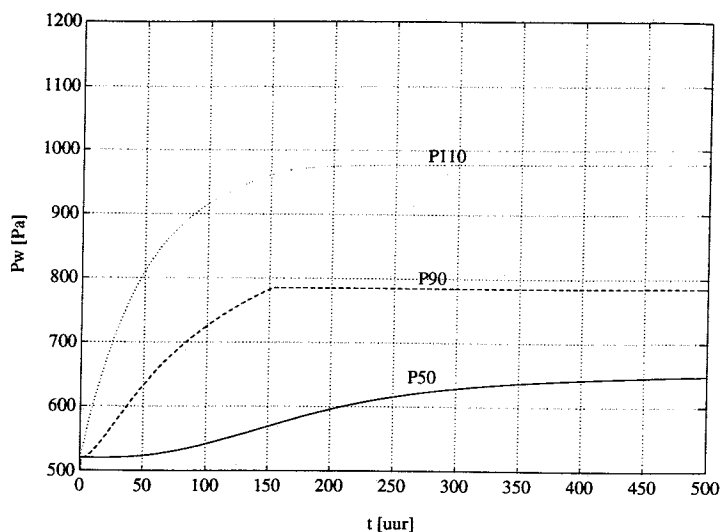


Fig. 7. Resultaten van de simulatie van het damptransport, P_{50} t/m P_{110} zijn partiële waterdampspanningen op de diverse lokaties.

beschreven in een zogenaamde klimaatfile, die per tijdstap (van bijvoorbeeld een referentiejaar) de volgende informatie bevat: tijdstip (uur), temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en relatieve vochtigheid (%) voor de betreffende tijdstap. Uit deze gegevens kunnen we de partiële dampspanning buiten bepalen. Het aanpassen van het blokdiagram is vrij eenvoudig: de twee blokken, die een constante waarde geven voor de temperatuur en partiële dampspanning buiten, worden vervangen door twee blokken die de data uit de klimaatfile inlezen. In figuur 8 is het resultaat weergegeven van een jaarsimulatie van de voorbeeldconstructie. Bij deze simulatie is overigens een inslingertijd van één jaar genomen; d.w.z. er zijn in feite twee jaren doorgerekend, maar de simulatie van het eerste jaar (=inslingerperiode) diende er alleen voor om onafhankelijk van de aangenomen begin-condities (constructie = 0°C en 0 Pa partiële dampspanning) te worden.

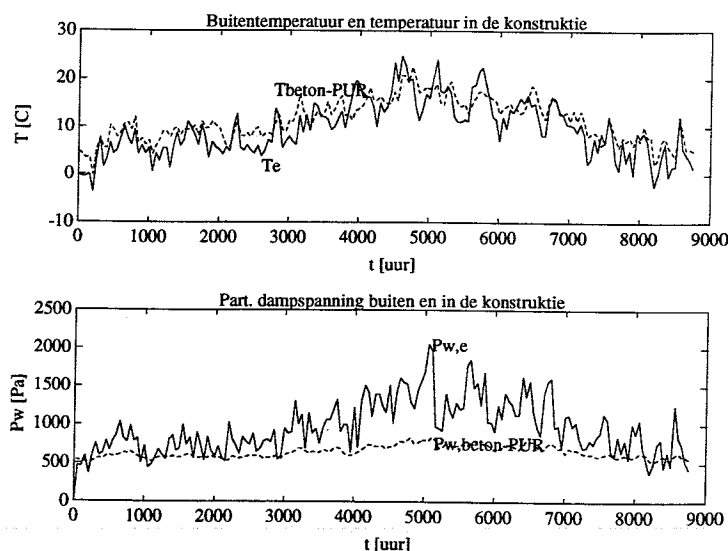


Fig. 8. Resultaat van simulatie met gebruik van een klimaatfile. Weergegeven zijn de temperatuur en dampspanning buiten en op de beton-PUR grenslaag.

Op deze manier kunnen we dus de volgende grootheden op iedere willekeurige plaats in een constructie, gedurende een geheel jaar simuleren:

- De temperatuur;
- De warmtestroom;
- De dampstroom;
- De partiële dampspanning;
- De condensatiehoeveelheid.

Conclusies

Uit het voorafgaande moge duidelijk zijn geworden dat blok-georiënteerde computerprogramma's zeer nuttig kunnen zijn bij het simuleren van fysische processen zoals het warmte- en damptransport. Uiteraard zijn er ook typische nadelen respectievelijk voordelen aan dit type simulatiegereedschap. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

Nadelen:

- BSP's lossen een groot aantal vergelijkingen op. Bij het simuleren van ingewikkelde geometriën kan het aantal vergelijkingen zo hoog oplopen dat het zeer lang kan duren voor dat de simulatie ten einde is;
- Bij ingewikkelde geometriën heb je kans op 'administratieve problemen' door het grote aantal blokken/verbindingen, en/of 'spaghetti'-structuur;
- BSP's geven geen simultane oplossing van het stelsel input-output relaties. Men moet dan ook aandacht besteden aan de diskretisatie (in verband met de numerieke stabiliteit) en aan het voorkomen van 'algebraic loops' (uitgang terugkoppelen);
- Het programma is in zo verre gebruiksonvriendelijk dat men eerst moet leren hoe het programma te gebruiken en vervolgens welke tools (blokken) er allemaal beschikbaar zijn.

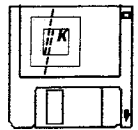
Voordelen:

- Bij een niet te ingewikkeld probleem kan men snel tot een proto-type simulatiemodel komen inclusief invoer en (grafische) uitvoermogelijkheden (rapid-prototyping);
- Een RC-model kan op eenvoudige wijze zowel stationair als instationair gesimuleerd worden;
- Men heeft inzicht in de rekenwijze en de werking van het model, waardoor men meer inzicht kan krijgen in de werkelijke fysische processen;
- Aangezien een blok in feite alleen een input-output relatie beschrijft, is het aantal mogelijkheden in principe onbegrensd: niet-lineair, algorithmisch, interpolatietabel, combinatie van kleinere blokken, etc;
- Het is mogelijk om simulaties te doen met betrekking tot het binnenklimaat, naast de al genoemde elementen/blokken worden daarbij elementen gebruikt als straling en ventilatie;
- De mogelijkheid tot het simuleren van niet-lineair gedrag van elementen zoals de afhankelijkheden van de warmte- en dampgeleidingen en capaciteiten van de temperatuur en de relatieve vochtigheid, maar ook bijv. het afhankelijk zijn van de warmte-overdrachtcoëfficiënt van de luchtsnelheid binnen en buiten;
- Er zijn BSP's commercieel verkrijgbaar voor zowel PC's als voor bijvoorbeeld Unix workstations.

Referentie

1. Schijndel, A.W.M. van, 1992.: 'Het simuleren van warmte- en vochttransport in constructies m.b.v. de Bondgraaftechniek en TUTSIM', TU Eindhoven, Intern rapport Vakgroep FAGO.

WARMTEVERLIESBEREKENING VOOR GEBOUWEN NEN 5066 & ISSO 4

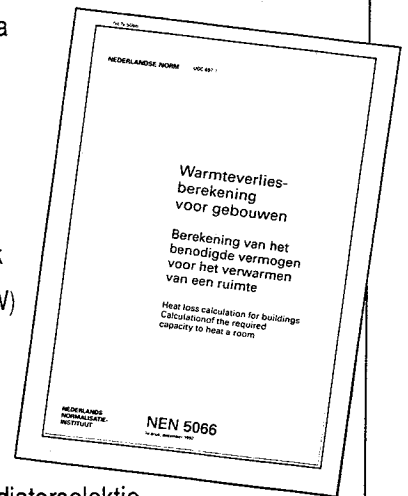


Nieuw computerprogramma

- konform de norm
- overzichtelijk
- v.a. f 1.000,- (ex. BTW)
- optie: U-waarde, biblioth.
- demonstratie op afspraak
- demodisk f 25,- (ex. BTW)

Het computer programma
maakt deel uit van

BINK programmatuur (Radiatorselectie,
Leidingnet, It index, U-waarde, Glaser, Akoestiek, etc.)



Raadgevend ingenieursburo
Krijger

Postbus 500, 3300 AM Dordrecht
Tel. 078 - 14 85 26 Fax 078 - 31 59 00