

# Woninginstallatiemetingen onder dynamische omstandigheden

*Ir. J. L. M. Hensen\**

## *Samenvatting*

In het kader van een breder onderzoek naar de relatie tussen gebouw en verwarmingsinstallatie is een meetproject uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in deze relatie en om meetresultaten te verzamelen die gebruikt kunnen worden om computer(sub)modellen te kunnen ontwikkelen c.q. te verifiëren.

Het totale meetprogramma en de belangrijkste resultaten met betrekking tot de installatiemetingen worden beschreven.

## *Summary*

Under the mantle of a broader research programme which looked into the relationship between a building and its heating installation a programme of measurements was carried out. The aim of the project was to obtain a better insight into this relationship and to collect the information for later use in the development and verification of computer (sub)models.

These measurements have been carried out within a working situation in a relatively small flat dwelling using a radiator heating system.

The total programme and the most important results related to the installation measurement are described herein. Within the results a division is made between important assumptions related to the dynamic performance of the installation, e.g. the 'anticipation element', and certain aspects which require further research. Room thermostat switching temperatures, permissible internal temperature variations relative to time and place, the relationship between radiator and internal wall temperatures and the radiator model used all fall under the latter group.

## *Inleiding*

De metingen waarop hierna wordt ingegaan maken deel uit van een uitgebreider onderzoek. Dit onderzoek ('Bouwkundig ontwerp en verwarmingsinstallatie van een woning in relatie tot thermische behaaglijkheid en energiegebruik') zal voor een belangrijk deel worden gebaseerd op resultaten, verkregen uit computersimulatie van gebouw en verwarmingsinstallatie.

Het gelijktijdig simuleren van gebouw en installatie onder dynamische omstandigheden bevindt zich nog in een pril stadium. Dit geldt met name voor de simulatie van het installatiegedeelte en de interactie hiervan met het gebouw.

Om simulaties te kunnen uitvoeren moeten voor verschillende installatiecomponenten nog modellen (verder) worden ontwikkeld (bijvoorbeeld ketel, thermostaat, radiator). De globale opzet van deze modellen is min of meer bekend. Op detailniveau en wat betreft de relatie tussen complexiteit en nauwkeurigheid van het model, is echter nog nader onderzoek noodzakelijk. In verband hiermee en om de te ontwikkelen computermodellen te kunnen verifiëren is er behoefte aan meetresultaten. Bij dit laatste wordt niet zozeer gedacht aan validatie, maar meer aan confrontatie van het model met de werkelijkheid.

Gezien de onbekendheid van het probleem (met betrekking tot het relatieve belang van de verschillende variabelen van een installatie onder praktijkomstandigheden) en de praktische mogelijkheden zijn in eerste instantie een aantal metingen uitgevoerd in een reële situatie en onder min of meer reële omstandigheden.

## *Meetprogramma*

De metingen zijn gedurende december 1986 en januari en februari 1987 uitgevoerd in een relatief kleine flat met dito installatie. Teneinde de meetresultaten niet te sterk te beïnvloeden door moeilijk in de hand te houden c.q. te kwantificeren parameters, zijn een tweetal vereenvoudigingen gehanteerd:

- geen bewoners;
  - beperkte zoninstraling (bij een gedeelte van de metingen).
- Het totale meetprogramma bestond uit drie gedeelten (ieder ongeveer één maand). In chronologische volgorde:
- voorbereiding, waaronder calibratie en controle van meetapparatuur, verzamelen van gedetailleerde gegevens over het meetobject, enz.;
  - testmetingen ter plaatse die ten doel hadden om meer inzicht te verkrijgen in het meetobject en de te meten parameters, bijv.: luchtdoorlatendheid, ventilatievoud, lucht-, gas- en waterdebieten, temperatuur(verdelingen), tijdconstanten en cyclustijden;
  - duurmetingen, waarbij aan de woning/installatiecombinatie een aantal min of meer reële programma's zijn

opgelegd zoals: constante binnentemperatuur gedurende 24 uur per dag, overdag constante binnentemperatuur met nachtverlaging en zoals voorgaande maar dan met kleine wijzigingen aan de installatie. Ieder programma duurde ongeveer 10 dagen.

## *Meetobject*

Het betreft een flat op de tweede verdieping van een appartementencomplex, dat omstreeks 1982 werd gebouwd te Someren. Het is een relatief kleine woning met een woonoppervlak van ca. 31 m<sup>2</sup> (één slaapkamer) en een volume van ca. 80 m<sup>3</sup>. Het isolatieniveau komt vrijwel overeen met de des tijds geldende modelbouwverordening. De woning is voorzien van een éénpijps radiatorenverwarming met in de dekvloer ingestorte leidingen. De warmtevoorziening wordt verzorgd door een combi-gaswandketel. De ruimtetemperatuurregeling vindt plaats door middel van een kamerthermostaat. De woning is verder voorzien van mechanische afzuiging (centrale dakventilator) met roosters in keuken en badkamer.

Ook de rookgassen worden via dit systeem afgevoerd. Verselucht toevoer vindt plaats via de gevels (kieren, naden en twee ventilatiekleppen).

\* Technische Universiteit Eindhoven, faculteit Bouwkunde, vakgroep Fysische Aspecten Gebouwde Omgeving. Voordracht gehouden op de vakantieleergang van 25 augustus 1987.





hoeveel meetpunten per radiator nodig zouden zijn.

Op basis van de resultaten hiervan werd besloten om alle radiatoren te voorzien van vier temperatuursensoren (toevoeraansluiting, andere zijde boven en beneden en in het zwaartepunt). Uit de temperatuurverschilmeting over de aansluitingen (ten behoeve van de warmte-afgifte bepaling) zou dan achteraf nog een indicatie kunnen worden verkregen voor de temperatuur in de buurt van de retouraansluiting.

In verband met de computersimulaties is ook de oppervlaktetemperatuur van de borstwering achter de radiator interessant. In figuur 6 is het verloop weergegeven van de radiator-(zwaartepunt) en borstwering-oppervlaktetemperaturen in de woonkamer. Uit deze figuur blijkt, dat de borstwering de radiator-temperatuur sterk gedempt en enigszins vertraagd volgt. Verder is te zien, dat de demping kleiner en de vertraging groter is bij de lichte borstwering achter radiator 1 (sandwich-paneel) ten opzichte van de zwaardere borstwering achter radiator 2 (metselwerk). Het eerste effect ligt voor de hand. De oorzaak van het tweede effect moet nog nader worden onderzocht.

Het ligt voor de hand dat een radiator niet alleen de borstwering direct achter de radiator beïnvloedt. Om hier enig inzicht in te krijgen zijn op een bepaald moment ook nog de oppervlaktetemperaturen in de buurt van de radiator gemeten. In figuur 7 zijn de resultaten voor radiator 3 weergegeven. Deze radiator is (in de slaapkamer) vóór een lichte borstwering geplaatst (sandwich-element). De binnenoppervlaktetemperatuur van dezelfde gevel, maar verder van de radiator en hoger in het vertrek gemeten was in de beschouwde meetperiode ca. 20°C. In de figuur is te zien dat de borstweringtemperatuur naast de radiator snel afneemt. De invloed is echter nog in een behoorlijk brede strook merkbaar. Ook voor dit effect is nader onderzoek gewenst.

Tijdens de duurmetingen werd midden boven iedere radiator de luchttemperatuur gemeten (steeds op 1.30 m boven de vloer). In figuur 8 zijn deze temperaturen voor de woonkamer weergegeven. Bovendien zijn de luchttemperaturen op twee hoogten in het midden van de woonkamer weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat de luchttemperatuur (op dezelfde hoogte) boven radiator 2 meer varieert dan boven radiator 1. Dit wordt veroorzaakt doordat de afstand bovenzijde radiator tot meetpunt bij radiator 2 (ca. 0,68 m) kleiner is dan

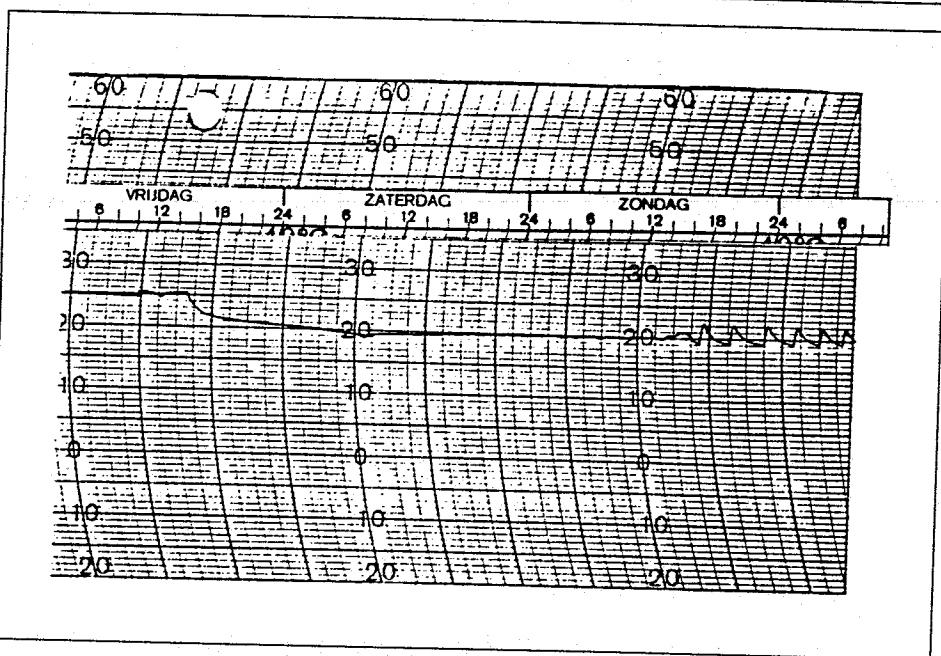


Fig. 5 Verloop van de binnenluchttemperatuur vóór (tot zondag 14.00) en ná het buiten bedrijf stellen van het anticipatie-element in de kamerthermostaat (ingesteld op 15°C!)

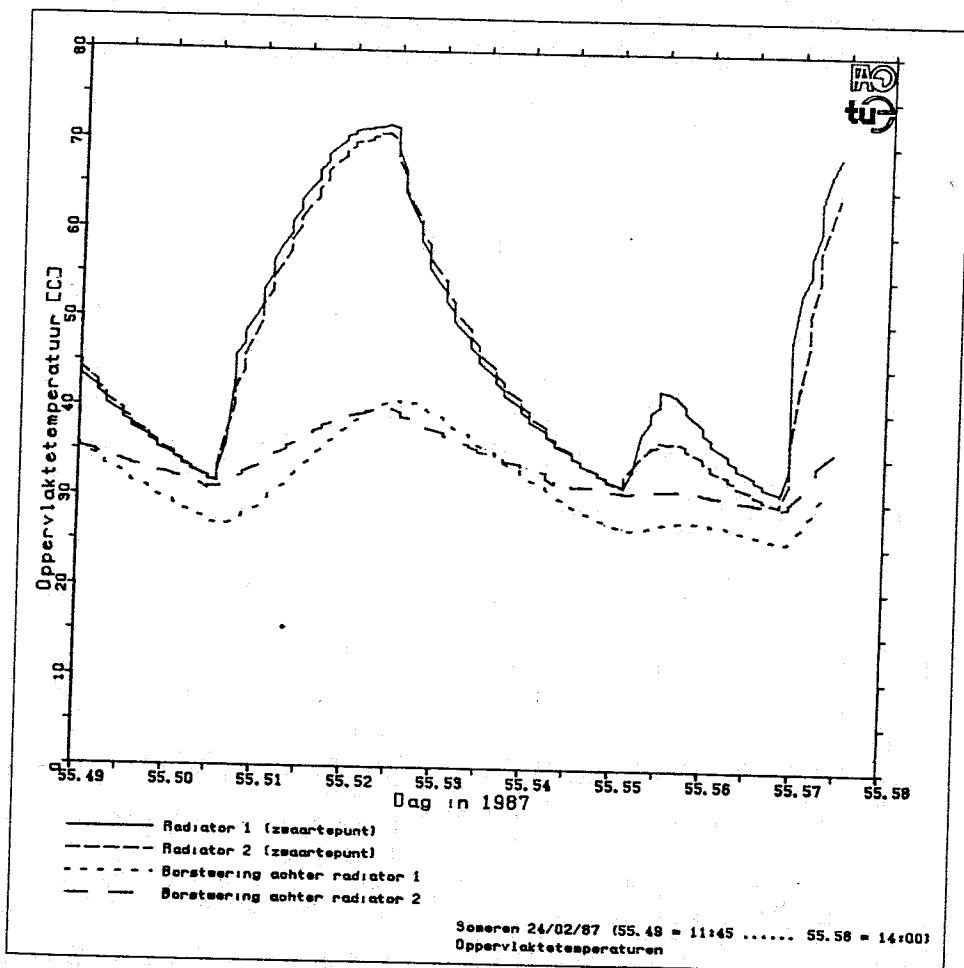


Fig. 6 Radiator- en borstwering-oppervlaktetemperaturen gedurende de periode 24/02/87, 11.45 (= 55.49) tot 14.00 (= 55.58)

bij radiator 1 (ca. 0,80 m), doordat bij radiator 1 sprake is van een veel groter (koud) raamoppervlak en doordat radiator 2 hoger is (hoogte radiatoren 1 en 2 resp. 0,40 m en 0,60 m). Overigens is de temperatuur-'dip' bij radiator 2 veroorzaakt door het even openen

van het raam boven deze radiator. Verder is in de figuur de luchttemperatuurgradiënt in het midden van het vertrek te zien. Bij het plafond is het steeds 0,5 ... 1,5 K warmer dan op de halve vertrekhoogte. Het kleinste verschil treedt op juist voordat de ketel gaat 'branden'

en het grootste verschil op het moment waarop de warmtetoevoer naar de radiatoren stopt. De hoogste luchttemperatuur boven de radiator wordt ongeveer 2,5 minuut later dan de hoogste radiatoroppervlakte-temperatuur bereikt.

#### Warmte-afgifte

Uit de gemeten temperaturen en flows is het door de ketel aan het water afgegeven vermogen te berekenen. Resultaten hiervan zijn in figuur 9 weergegeven. Deze resultaten betreffen ongeveer anderhalve cyclus. De verstoringen omstreeks 13:15 (= 55.55) zijn veroorzaakt doordat even warm water werd getapt en doordat het anticipatie-element tijdelijk opnieuw werd aangesloten in verband met een test. Deze verstoringen zijn niet kenmerkend voor de gehele meetperiode. Overigens dient ook opgemerkt te worden dat bij deze installatie de pomp alléén werkt bij warmtevraag door de kamerthermostaat. In de figuur is onderscheid gemaakt tussen de totale warmte-afgifte en de afgifte aan groep 12, respectievelijk groep 34. Voor de totale warmte-afgifte zijn twee lijnen getekend. De bovenste is gebaseerd op absolute temperatuurmetingen (pt-100) en de onderste op temperatuurverschilmetingen (thermozuiltje). In het navolgende is er vanuit gegaan dat, in dit geval, de verschilmetingen het minst betrouwbaar zijn. Uit achteraf gereconstrueerde laboratoriummetingen bleek namelijk dat de tijdconstante van het thermozuiltje (zoals het hier werd toegepast) ongeveer driemaal groter is dan die van de gebruikte Pt-100's (respectievelijk ca. 5 s en ca. 15 s).

Resultaten van de berekende warmte-afgifte van de radiatoren zijn weergegeven in figuur 10 voor groep 12. Volgens de documentatie van de radiatoren zouden deze onder genormeerde omstandigheden (90/70/20) een warmte-afgifte hebben van respectievelijk 2513 W en 1622 W.

Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de radiatoren de stapsgewijze warmtetoevoer door de ketel uitsmeren. De pieken bij het begin van de 'brander aan'-periode worden veroorzaakt doordat bij deze berekeningen de radiatoren als puntmassa's zijn beschouwd. In eerste instantie loopt de toevoertemperatuur snel op, terwijl de retourtemperatuur achterblijft. Hierdoor ontstaat de piek naar boven. Vervolgens komt het punt waarop het warme water het zwaartepunt van de radiator bereikt (de daar gemeten oppervlakte-temperatuur werd

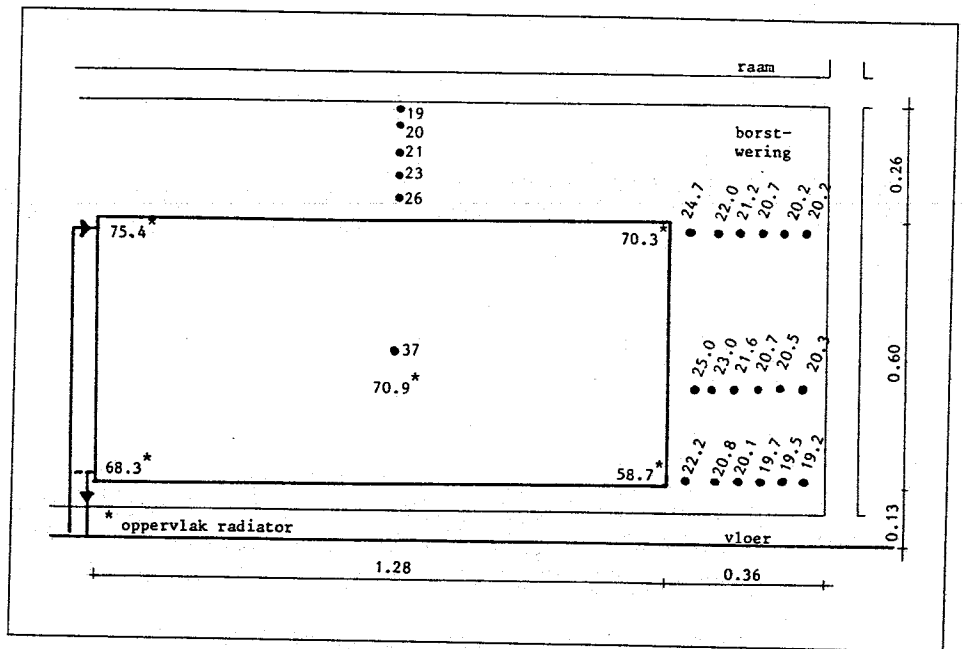


Fig. 7 Radiator- en borstwering-oppervlaktetemperaturen voor radiator 3 (24/02/87 ca. 09.00)

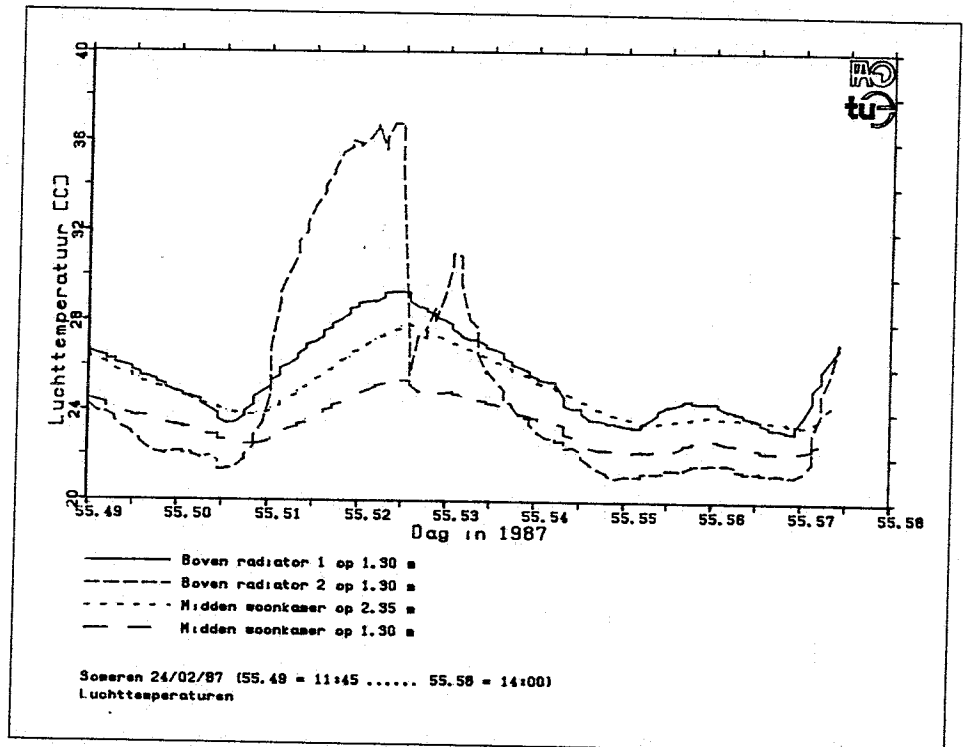


Fig. 8 Luchttemperaturen boven de radiatoren en in het midden van de woonkamer gedurende de periode 24/02/87 11.45 (= 55.49) tot 14.00 (= 55.58)

als gemiddelde radiatortemperatuur gebruikt). Er wordt dus als het ware van uit gegaan, dat de totale radiator massa binnen zeer korte tijd een relatief grote temperatuurstap maakt. Dit heeft de piek naar beneden tot gevolg. In werkelijkheid bestaat de radiator uit een oneindig aantal geschakelde capaciteitjes. De warmte-afgifte zou voor ieder afzonderlijk capaciteitje kunnen worden berekend, waaruit dan de totale warmte-afgifte volgt. Het is duidelijk dat de pieken dan verdwijnen, maar de rekentijd zal groter worden. Bij het ontwikkelen van simulatiemodel-

len voor radiatoren zal hieraan de nodige aandacht moeten worden besteed.

#### Thermostaattemperaturen

De gewenste binnentemperatuur moest in dit geval worden ingesteld c.q. geregeld met een kamerthermostaat. De ketel was verder voorzien van een ketelthermostaat en een temperatuurbeveiliging, waarop hier echter niet zal worden ingegaan.

Gedurende het grootste deel van de metingen werd het anticipatie-element in de kamerthermostaat buiten bedrijf gesteld, zoals hiervoor al is aangege-

ven. Onafhankelijk van het wel of niet in bedrijf zijn van het anticipatie-element bleek de woonkamer temperatuur steeds aanmerkelijk hoger te zijn dan de ingestelde waarde (zie ook figuur 5). De verzegeling van de thermostaatafstelling was en is overigens intact, zodat het niet waarschijnlijk is dat bijvoorbeeld vorige bewoners de afstelling hebben gewijzigd.

Teneinde na te gaan op welke temperatuur de kamerthermostaat nu eigenlijk reageert, zijn in en bij de thermostaat gemeten:

- luchttemperatuur vlak bij de thermostaat (afgeschermd);
- luchttemperatuur in de thermostaat (niet afgeschermd);
- oppervlaktetemperatuur thermostaatomhulling aan de kamerzijde;
- oppervlaktetemperatuur van de scheidingswand woonkamer/douche;
- het brander-stuursignaal.

In figuur 11 zijn de resultaten hiervan voor een klein gedeelte van de totale meetperiode weergegeven. In deze grafiek is duidelijk de vrij grote variatie van de luchttemperatuur in de woonkamer te zien (ca. 4 K). De oppervlaktetemperatuur van de kamerthermostaat (kamerzijde) volgt deze variatie zij het gedempt en enigszins vertraagd. Ditzelfde geldt voor de oppervlaktetemperatuur van de scheidingswand woonkamer/douche maar dan in sterkere mate. De luchttemperatuur in de thermostaat vertoont aan het begin van de beschouwde periode een plotselinge stijging. Dit is veroorzaakt door het openen van de thermostaat.

De luchttemperatuur in de kamerthermostaat is gedurende een gedeelte van de meetperiode lager dan de lucht- en oppervlaktetemperaturen vlak bij de thermostaat. De verklaring hiervoor is vermoedelijk dat de temperatuur van de wand achter de thermostaat lager is dan die van het wandgedeelte naast de thermostaat. Het wandgedeelte achter de thermostaat wordt namelijk afgeschermd en de luchttemperatuur in de douche was gemiddeld lager dan die in de woonkamer. Hieruit volgt overigens ook dat de luchttemperatuur in de thermostaat niet gelijk is aan de luchttemperatuur in het vertrek noch aan een gewogen gemiddelde van deze laatste en de oppervlaktetemperatuur.

Uit figuur 11 blijkt dat de thermostaat inschakelt bij een luchttemperatuur in de thermostaat van ca. 23,7°C, welke overigens niet de laagste waarde is. De luchttemperatuur in de thermostaat blijkt de grootste vertraging ten opzich-

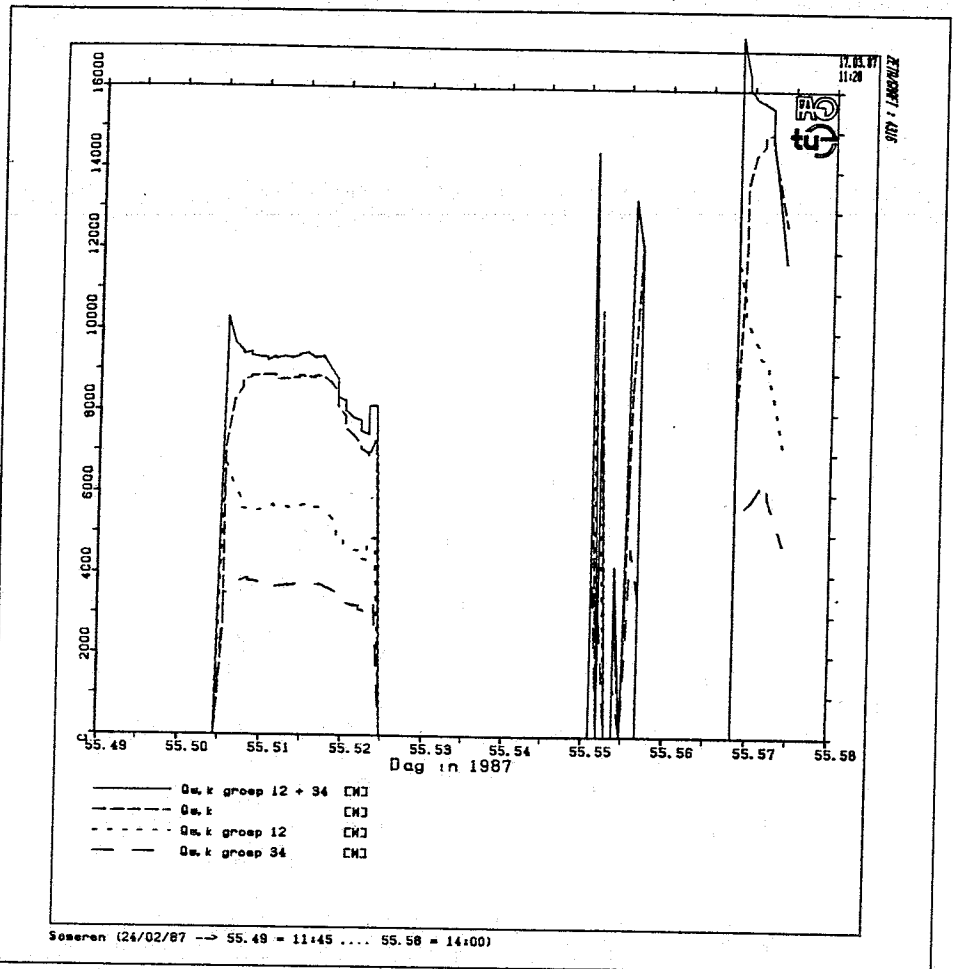


Fig. 9 Warmte-afgifte door de ketel aan het water gedurende de periode 24/02/87 11.45 (= 55.49) tot 14.00 (= 55.58)

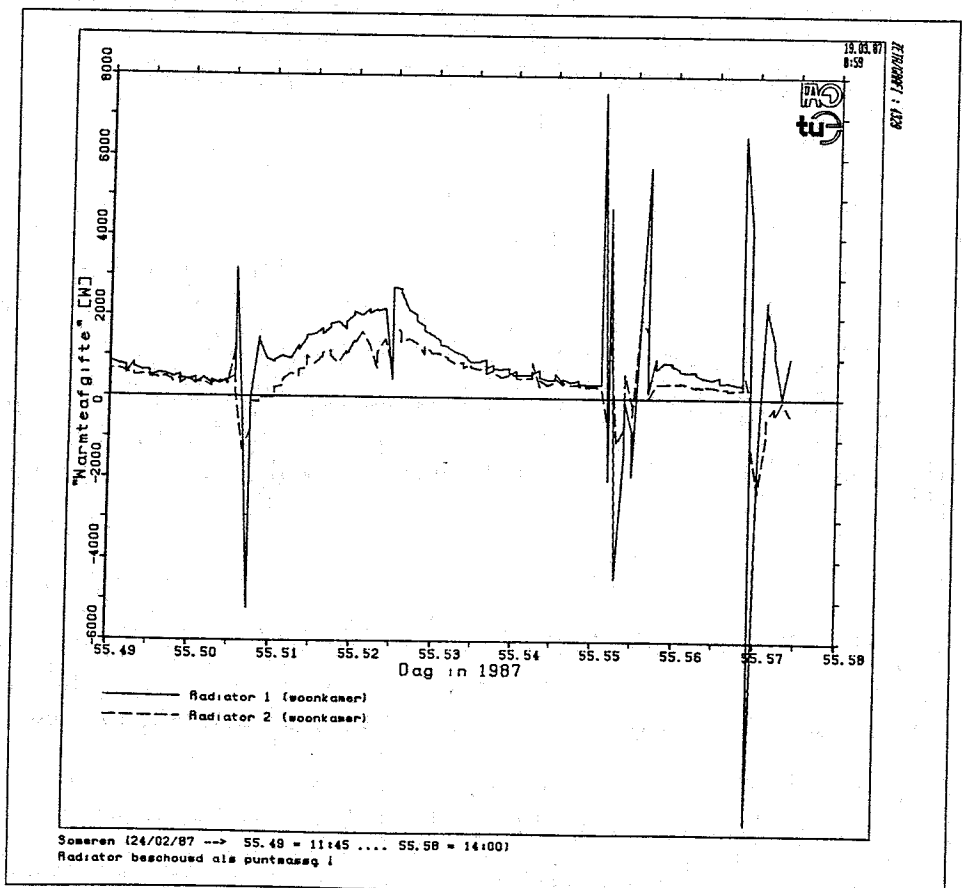


Fig. 10 Warmte-afgifte radiatoren 1 en 2 gedurende de periode 24/02/87 11.45 (= 55.49) tot 14.00 (= 55.58)

te van de woonkamer temperatuur te hebben. Dit is uiteraard minder van invloed indien het anticipatie-element is aangesloten, zoals duidelijk te zien is in het rechter gedeelte van de grafiek. Uit dat gedeelte van de grafiek valt ook op te maken, dat het anticipatie-element (in eerste instantie) niet de luchttemperatuur in de thermostaat beïnvloedt maar vooral de temperatuur van het biometaal.

Het is duidelijk dat de (kamer)thermostaat een zeer belangrijk onderdeel is ten aanzien van het dynamisch gedrag van de verwarmingsinstallatie. Bij de simulaties zal hier dan ook terdege rekening mee moeten worden gehouden. Met betrekking tot de schakeltemperatuur en de invloed van een anticipatie-element is nog nader onderzoek noodzakelijk.

### Conclusies

Zoals in de inleiding aangegeven, is dit meetproject vooral bedoeld om meer inzicht te krijgen in het gedrag van een woning/installatie combinatie onder dynamische omstandigheden en als uitgangspunt voor toekomstig werk. Dit impliceert dat de metingen pas gedeeltelijk zijn uitgewerkt en bijvoorbeeld ook dat er geen uitspraak wordt gedaan over de kwaliteit van de woning en/of de installatie. Met betrekking tot de gemeten parameters kan onderscheid worden gemaakt naar variabelen die te maken hebben met:

- de warmtebalans van de woning;
- de verwarmingsinstallatie;
- thermische behaaglijkheid.

Uit de 'warmtebalansmetingen' (waarop hier overigens niet is ingegaan, maar wordt verwezen naar het meetrapport<sup>1</sup>) zijn een aantal parameters naar voren gekomen die (bij de simulaties) nadere aandacht en/of onderzoek behoeven:

- verticale en horizontale temperatuurverschillen binnen de woning;
- temperatuurvariatie onder invloed van de installatie;
- temperatuurverschillen buiten de woning (bijv. dak versus loggia).

Uit de installatiemetingen bleek dat het anticipatie-element in de kamerthermostaat zeer belangrijk is met betrekking tot de schakelfrequentie van de ketel. In dit geval was zonder anticipatie-element de cyclustijd ongeveer 90 maal langer en de totale branderaan tijd, over een even lange periode gerekend, ongeveer de helft korter. Het verlengen van de cyclustijd heeft duidelijk consequenties voor het verloop van de binnentemperatuur (toename van de amplitude).

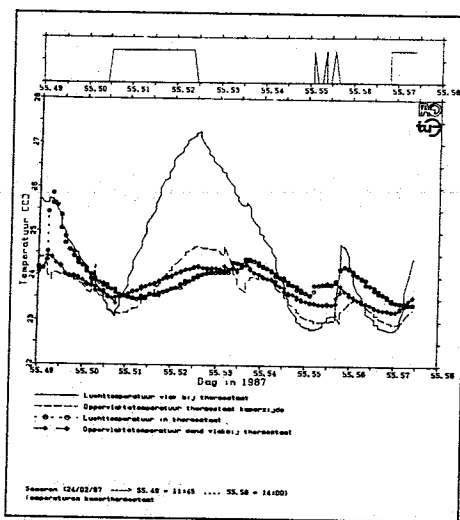


Fig. 11 Temperaturen in en bij de kamerthermostaat en het brandersignaal (hoog = brander aan) gedurende de periode 24/02/87 11.45 (= 55.49) tot 14.00 (= 55.58)

Uit de metingen bleek, dat de temperatuur van de borstwering achter een radiator sterk gedempt en enigszins vertraagd de radiatortemperatuur volgt. Bij een lichter borstwering bleek de demping geringer maar de vertraging groter te zijn. Het niet voor de hand liggende tweede effect moet nog nader worden onderzocht. Verder bleek dat niet alleen de borstwering direct achter de radiator wordt beïnvloed, maar ook een strook borstwering (in de orde van 0,5 m) rond de radiator, zij het in geringere mate. Ook voor dit verschijnsel is nog nader onderzoek gewenst.

Het verloop van de berekende warmteafgifte door een radiator blijkt sterk beïnvloed te worden door de wijze waarop de radiator wordt beschouwd (met betrekking tot systeemgrenzen). Als een radiator wordt beschouwd als een puntmassa, vertoont de berekende warmteafgifte grote pieken. Bij het ontwikkelen van simulatiemodellen voor radiatoren zal hieraan de nodige aandacht moeten worden besteed.

Uit temperatuurmetingen in en bij de kamerthermostaat bleek dat de temperatuur in de thermostaat niet zonder meer kan worden afgeleid uit de lucht- en oppervlakttemperaturen vlakbij de thermostaat, terwijl deze mede de schakeltemperatuur bepaalt. Hiervoor en voor de invloed van het anticipatie-element op de schakeltemperatuur is nog nader onderzoek noodzakelijk.

Het uiteindelijke doel van een verwarmingsinstallatie is het creëren van een behaaglijk binnenklimaat. Het wel of niet thermisch behaaglijk zijn wordt door meerdere parameters bepaald. Binnen dit meetproject is alleen ingegaan op temperatuurparameters en luchtsnelheden (zie meetrapport). Met

betrekking tot de temperatuur is niet alleen de gemiddelde waarde van belang, maar ook de variatie in tijd en plaats. Zoals hiervoor aangegeven wordt deze variatie sterk beïnvloed door de cyclustijd. De toelaatbaarheid hiervan moet nog nader worden bekeken. De luchtsnelheden bleken vrijwel steeds lager te zijn dan de waarde waarbij deze parameter duidelijk van invloed wordt op de thermische behaaglijkheid.

### Referenties

- <sup>1</sup> Hensen, J. L. M., L. C. H. Dings, and W. J. A. van der Ven. Meetproject Someren, Eindhoven, 1987. TUE rapport FAGO 87.08.K.

### Discussie

#### Vraag:

(Oomens): Geteste installatie en regeling is geenszins representatief voor gemiddelde individuele CV-installatie in Nederland (1-pijps-systeem i.p.v. 2-pijps, schakelfrequentie, buitentemperatuurvariaties, tussenwanden, plattengrond, etc.). Ook de resultaten zijn derhalve niet representatief. Welke waarde hebben ze dan?

#### Antwoord:

Het doel van deze metingen was niet om een beeld te krijgen van de 'gemiddelde' individuele CV-installatie in Nederland. De resultaten mogen dan ook niet als zodanig worden geïnterpreteerd. De resultaten vergroten mijns inziens wel het inzicht in het relatieve belang van de verschillende variabelen die een rol spelen bij de interactie tussen woning en installatie.

#### Vraag:

(Krijgsman): U stelt dat bij uitschakelen van het anticipatie-element de brandtijd van de ketel halveert. De heer Van der Ree suggereert hierop dat daarmee het energieverbruik ook halveert. Dit is mijns inziens niet juist. Ten gevolge van de startvertraging van de gasklep zal bij hele korte brandperiodes de volle capaciteit van de brander niet worden gehaald.

#### Antwoord:

Dat is inderdaad correct en was voor mij een van de redenen om niet over halvering van het brandstofverbruik te spreken. Een andere reden is dat een dergelijke vergelijking alleen mag worden uitgevoerd uitgaande van een qua thermische behaaglijkheid identieke situatie. Zoals aangegeven bij de conclusies is hiervoor nog nader onderzoek noodzakelijk.