

ENERGIEBESPARING *publikatie nr. 587*

DELFT - SCHOEMAKERSTRAAT 97 - POSTBUS 214

# warmtebesparing door isolatie en stookwijze bereikt in twee woningen

door Ir. H. B. BOUWMAN\* en

Ing. D. J. VAN DER HEEDEN\*\*

## 1. SAMENVATTING

In een eengezinstussenwoning en een vrijstaande woning werden de door isolatie en stookwijze bereikte warmtebesparingen gemeten. Daarbij werden ook de besparingen bepaald die de afzonderlijke maatregelen opleverden. In beide woningen werd een totale besparing van circa 40% bereikt.

## 2. INLEIDING

Het onderzoek in de twee woningen geschiedde in geheel verschillende kaders. De woningen verschilden verder sterk in bouw, ligging, buitenoppervlak en verdeling van de verschillende soorten buitenoppervlak.

Ook het verrichte onderzoek werd in de ene woning op geheel andere wijze en door andere personen uitgevoerd als in de andere woning. Daarom zijn beide onderzoeken eerst in afzonderlijke teksten beschreven.

Aan het einde van het artikel zijn de voor- en nadelen van beide meetmethoden naast elkaar gezet en zijn de woningen en de verkregen meetresultaten met elkaar vergeleken.

## 3. DE TUSSENWONING

### 3.1. Aanleiding tot het onderzoek in de tussenwoning

In het kader van het bij het CTI-TNO onderhanden zijnde R & D onderwerp „Onderzoek verwarmingsapparatuur”, werden in het stookseizoen 1974-1975 metingen verricht aan het gedrag van een cv-ketel in een woning onder diverse omstandigheden. Een onderdeel van deze metingen vormde het bepalen van het momentane warmteverbruik als functie van  $\Delta t$ , het temperatuurverschil binnen-buiten. Toen de betreffende woning in het stookseizoen 1975-1976 in fasen werd geïsoleerd lag het voor de hand deze metingen te herhalen, om zo op directe wijze een indruk te kunnen krijgen van het effect van de afzonderlijke maatregelen.

### 3.2. Woning en cv-installatie

De woning is een eengezinstussenwoning te Apeldoorn, bouwjaar 1973. Voor grootte en indeling zie figuur 1. Isolatie was alleen aangebracht op de verdieping, die met hout betimmerd is, waarachter glaswolplaten. Er is dus betrekkelijk weinig buitenspouwmuur, circa 15 m<sup>2</sup> waarvan 12 m<sup>2</sup> op de begane grond. Verder veel enkelglas en een ongeïsoleerd pannendak.

De ketel is een gietijzeren ledenketel, nominale belasting 28,2 kW, nom. vermogen 22,1 kW, opgesteld op de zolder. De regeling is aan-uit, gestuurd door een thermostaat in de woonkamer.

\* Afd. Geluid, Licht, Binnenklimaat van het IG-TNO te Delft

\*\* Afd. Warmte- en Koudetechniek van het CTI-TNO te Apeldoorn

Publikatienr. 587 van het IG-TNO

De gehele woning wordt verwarmd, de woonkamer wordt op 20 à 21°C gehouden. Bij buitentemperaturen van 0-5°C onder normale omstandigheden zijn dan de temperaturen in de overige vertrekken zoals aangegeven in figuur 1. 's Nachts wordt de thermostaat op 15 à 16°C gesteld.

In de seizoenen '73-'74 en '74-'75, toen de woning ongeïsoleerd was, bedroeg het gasverbruik ca. 4800 m<sup>3</sup>/j. Rekent men voor koken en warm water 500 m<sup>3</sup>/j, dan was het warmteverbruik 4300 m<sup>3</sup>/j.

### 3.3. Bepaling van het momentane warmteverbruik (methode 1)

Het momentane verbruik van een cv-ketel met aan-uit regeling is eenvoudig met een stopwatch te bepalen, een gasmeter is niet nodig. Het verbruik bij vollast is immers bekend en als een drukregelaar ingebouwd is, ook vrij constant. Met een stopwatch bepaalt men dan de aan-tijd en de totale cyclustijd van aan tot aan, deelt die op elkaar en vindt zo de procentuele belasting. In feite is nog een kleine correctie nodig voor het waakvlamverbruik. Dat is bij deze ketel zo laag, dat daarvan is afgezien.

Gebruikelijk bij het beoordelen van de warmteverliezen van een woning is het op gezette tijden aflezen van de gasmeter en het achteraf vergelijken met een opgave van de graaddagen. Nadelen hiervan zijn dat men op de (officiële) opgave van de graaddagen moet wachten en moet corrigeren voor andere toestellen die op de gasmeter zijn aangesloten. Het gasverbruik wordt bovendien niet alleen beïnvloed door het aantal graaddagen, maar ook door het gebruik van de woning, de zonninstraling en allerlei andere storende invloeden.

Bij de bepaling van het momentane warmteverbruik heeft men het gevraagde gegeven direct en kan men een groot aantal storende invloeden uitschakelen. Ook kan men het effect van wijzigingen (bijv. het afsluiten van radiatoren in andere kamers), vrij snel nagaan.

Doel van de metingen was, het verband vast te leggen tussen het momentane warmteverbruik, de belasting van het toestel en  $\Delta t$ , het temperatuurverschil tussen binnen (woonkamer) en buiten. Dit heeft natuurlijk alleen zin als er evenredigheid bestaat tussen belasting en warmteverlies van de woning: de warmtestromen moeten stationair zijn. Opwarm- of afkoelperioden zijn onbruikbaar voor deze metingen. Nu zal een woning, gezien de dagelijkse gang van de temperatuur en andere atmosferische invloeden, zelden of nooit in stationaire toestand verkeren. Uit langdurige observatie is echter gebleken dat het, als bepaalde voorwaarden vervuld zijn, toch vrij vaak voorkomt dat de toestelbelasting urenlang niet of nauwelijks verandert. Er kan dan van een semi-stationaire toestand worden gesproken en er bestaat kennelijk evenwicht tussen de warmtevoevoer aan en de warmteafgifte van de woning. Hoofdvoorwaarden zijn dat de kamerthermostaat al minstens 4 à 5 uur op dezelfde stand staat en de buiten-

condities zich niet of slechts langzaam wijzigen. Dit is meestal later op de avond het geval. Men heeft dan geen last van zonninstraling en de grootste temperatuurval is al omstreeks zonsondergang opgetreden.

### 3.4. Verband tussen belasting en $\Delta t$ bij de ongeïsoleerde woning

In het stookseizoen 1974-1975 werden een groot aantal metingen verricht, hoofdzakelijk in de avonduren, soms 's morgens vóór zonsopgang. Bij de metingen was de woning steeds in dezelfde situatie, nl. alle ruimten verwarmd (zie ook figuur 1), alle vensters en binnendeuren gesloten, behalve de deur naar de zolderkamer (hobbyruimte). Via de doorlopende spiltrap is de zolder dan in open verbinding met de woonkamer. Er werd tijdens de metingen geen gebruik gemaakt van de afzuigkap in de keuken. De gebruikte  $\Delta t$  werd gedefinieerd als het verschil tussen een geijkte kwikthermometer in het midden van de woonkamer en een geijkte kwikthermometer in de tuin, opgehangen op 1,5 m hoogte op 6 m van de woning, afgeschermd tegen regen en straling.

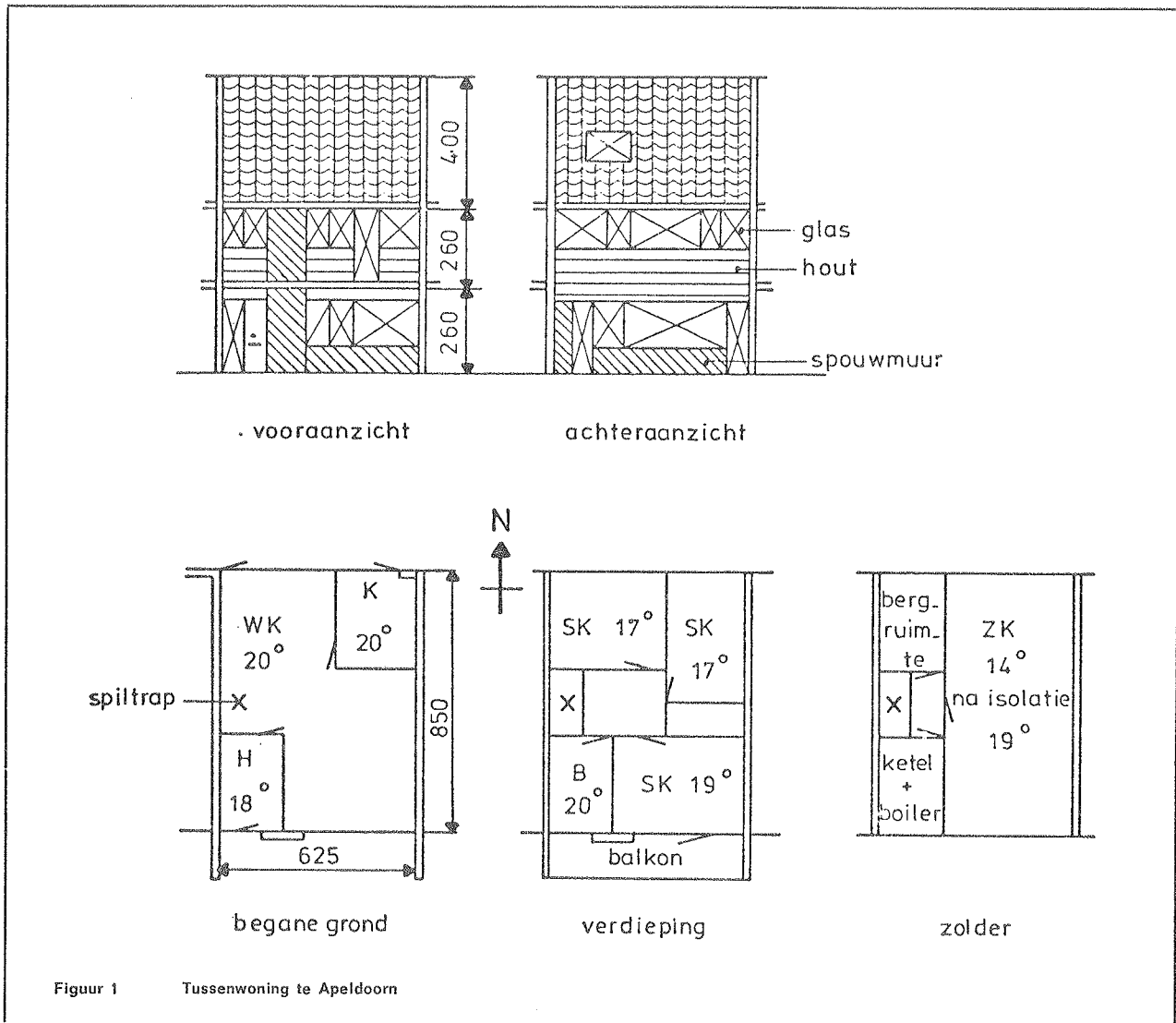
Op grond van vooraf opgedane ervaring werd de volgende meetprocedure gevolgd:

- a. Aflezen thermometers, bepalen  $\Delta t$ .
- b. Bepaling procentuele ketelbelasting met stopwatch.
- c. Na ca. 1 uur, opnieuw aflezen buitentemperatuur. Was deze méér dan 1°C verlopen, dan werd de eerste aflezing als vervallen beschouwd en opnieuw begonnen bij a.
- d. Tweede bepaling ketelbelasting. Verschilde deze minder dan 5% met de voorgaande, dan werd de meting als juist beschouwd. Als gevolg van de genomen voorzorgen werd echter vaak exact dezelfde aflezing als bij b gevonden. Was de afwijking > 5% dan werd weer opnieuw begonnen bij a.

De zo verkregen uitkomsten gaven, ook bij eenzelfde  $\Delta t$ , toch een flinke spreiding te zien. De oorzaak was duidelijk en lag in de windsterkte. Om de spreiding te verkleinen werden drie windsituaties onderscheiden, nl.:

gunstige condities	=	windstil tot zwakke wind
normale condities	=	matige tot krachtige wind
ongunstige condities	=	harde wind tot storm

In geval van twijfel of sterk wisselende wind werd bewust niet gemeten. Op deze wijze kon de spreiding binnen elk gebied tot redelijke proporties worden teruggebracht. De zgn. gunstige condities bleken in Apeldoorn en in de avonduren toch relatief veel voor te komen. Ook de windrichting had wel enige invloed, maar veel minder dan de windkracht. Om het niet te ingewikkeld te maken is de richting buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1 Tussenwoning te Apeldoorn

De metingen zijn weergegeven in figuur 2 en bleken zeer goed door rechte lijnen te kunnen worden benaderd. Voor ongunstige en normale condities gaan deze zelfs door de oorsprong. Als gevolg van de zachte winter was er geen grotere  $\Delta t$  dan  $21^\circ\text{C}$ . Door extrapolatie kan echter geconcludeerd worden dat de cv-installatie krap bemeten was; bij normale condities zou bij 100% belasting een  $\Delta t$  van  $28^\circ\text{C}$  overbrugd kunnen worden, bij ongunstige condities slechts  $24^\circ\text{C}$ .

### 3.5. Uitvoering isolatie

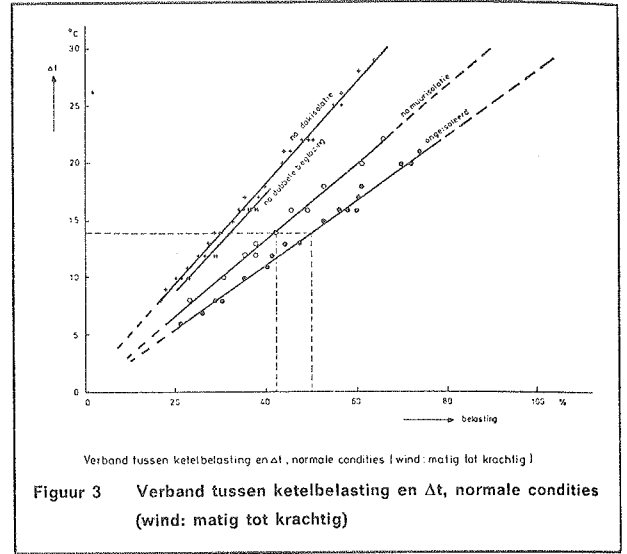
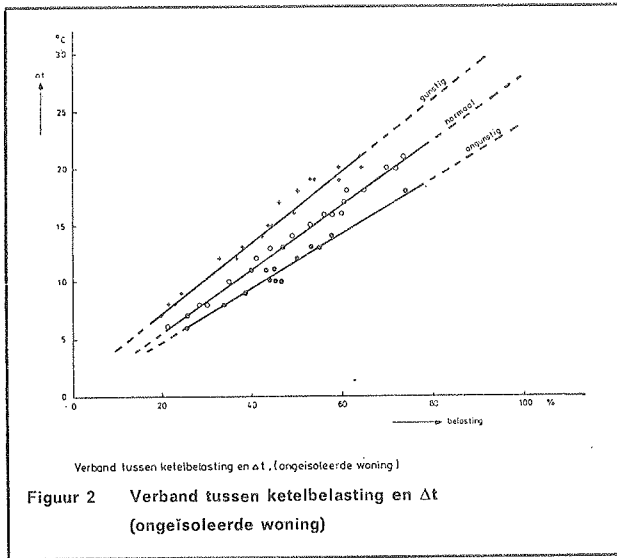
In het stookseizoen '75-'76 werden de volgende isolatiemaatregelen genomen.

*Medio september '75.* Volspuiten buitenspouwmuren met U-F schuim. De spouwijdte was 5 cm. Hoewel er slechts

weinig muroppervlak was, bevond het meeste zich in de woonkamer, zodat er toch wel effect van verwacht werd. Totaal ca.  $15\text{ m}^2$ .

*Medio december '75.* Aanbrengen van dubbele beglazing in de gehele woning (Thermopane). Totaal ca.  $25\text{ m}^2$ . Na deze operatie waren de temperaturen in de keuken en de kamers op de bovenverdieping duidelijk hoger dan vroeger; door bijstellen van de radiatorcranken werden de waarden van figuur 1 weer bereikt.

*Begin januari '76.* Aanbrengen van 5 cm glaswol tegen het dak, alleen in de zolderkamer. Totaal ca.  $30\text{ m}^2$ . Het mocht nauwelijks verwacht worden dat dit de kamerthermostaat en dus het verbruik veel zou beïnvloeden, maar de temperatuur op zolder steeg van  $14$  naar  $19^\circ\text{C}$  en dat was de bedoeling.

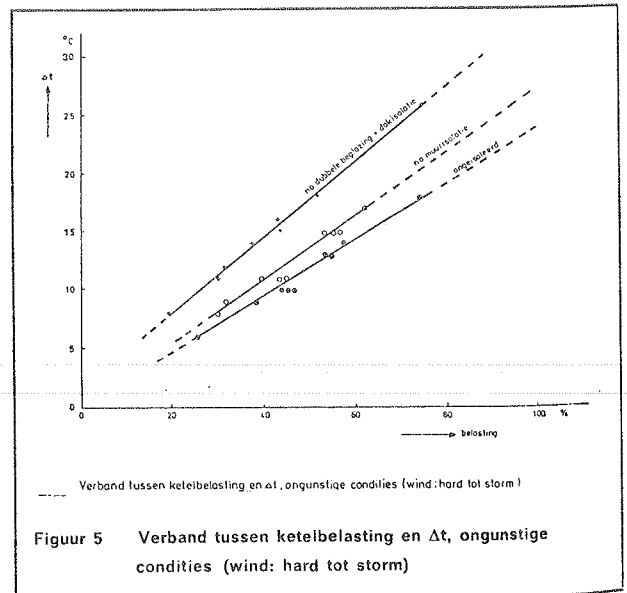
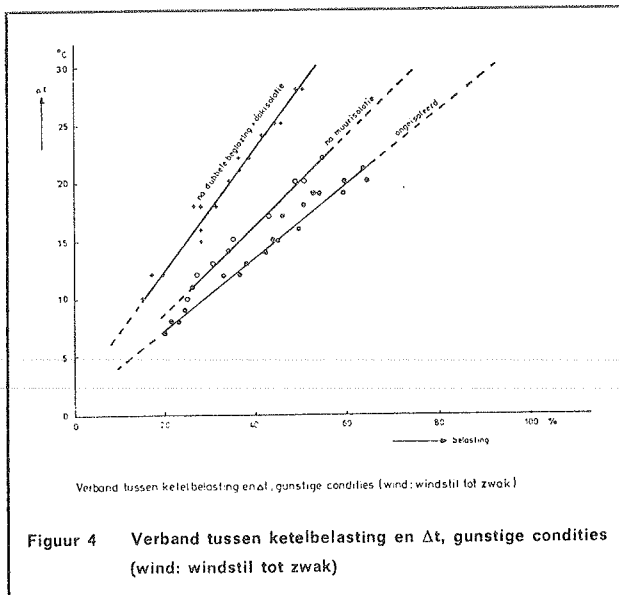


### 3.6. Invloed van de isolatie op het momentane warmteverbruik

Volgens de procedure, vermeld in paragraaf 3.4. en bij dezelfde condities in de woning, werden de metingen voortgezet. Alleen tussen dubbele beglazing en dakisolatie lag te weinig tijd voor voldoende gegevens. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 3, 4 en 5, waarbij ook steeds de ongeïsoleerde toestand uit figuur 2 is opgenomen. Figuur 3 geeft de metingen onder normale condities weer. Alleen hier zijn een 4-tal metingen ná dubbele beglazing en vóór dakisolatie. Het hier door de meetpunten getrokken lijntje moet echter met grote reserve beschouwd worden;

het toont alleen aan dat de dakisolatie, naast het verhogen van de temperatuur in de zolderkamer, wellicht toch enige invloed heeft gehad op het warmteverbruik. Het effect van de muurisolatie en daarna dubbele beglazing + dakisolatie is overigens zeer duidelijk. Figuur 4 geeft de metingen voor gunstige condities, die eveneens veel meetpunten opleverden. Het blijkt ook hier mogelijk de punten door rechte lijnen te verbinden, deze gaan echter niet door de oorsprong.

Figuur 5 geeft de metingen voor ongunstige condities. Het aantal meetpunten is niet zo groot, juist voldoende om de lijnen te kunnen trekken.



### 3.7. Berekening besparing

Is wat de warmtestromen betreft een semi-stationaire toestand bereikt, dan is het warmteverlies  $Q$  van de woning nagenoeg gelijk aan de warmtetoevoer  $= H \cdot B \cdot \eta_g$ , waarin  $H$  = belasting op vollast,  $B$  = procentuele belasting en  $\eta_g$  = gebruiksrendement. Indien dit laatste niet verandert is  $Q$  dus evenredig met  $B$ , af te lezen uit de figuren 3, 4 en 5. Door  $B$  bij eenzelfde  $\Delta t$  vóór en ná isolatie te vergelijken kan men rechtstreeks de procentuele besparing berekenen. Daar de lijnen niet alle door de oorsprong gaan, is dit percentage niet voor elke  $\Delta t$  hetzelfde.

De gemiddelde etmaaltemperatuur tijdens het stookseizoen te Apeldoorn is 6°C. Bij een kamertemperatuur van 20°C is  $\Delta t$  dus gemiddeld 14°C. In figuur 3 leest men dan bijv. af:  $B$  vóór isolatie = 50%, ná muurisolatie = 42%.

Besparing dan:  $\frac{(50-20) \cdot 100}{50} = 16\%$ . Aldus zijn voor

$\Delta t = 14^\circ\text{C}$  de volgende besparingen berekend:

Tabel 1. Besparing op warmteverbruik in procenten

Wind	stil tot zwak	matig tot krachtig	hard tot storm
Spouwmuurvulling	18	16	12
Dubbel glas en dakisolatie (Alleen dubbel glas)	26	24 (20)*	22
Totaal	44	40	34

\*) Onder voorbehoud wegens te weinig meetpunten.

Naarmate de condities ongunstiger zijn, d.w.z. bij meer wind, zijn de procentuele besparingen kleiner, ongetwijfeld als gevolg van de grote ventilatie. Maar daar het gaat om kleinere percentages van een groter wordend warmteverbruik, varieert de absolute besparing veel minder. Opvallend is de grote besparing die door de vulling van het betrekkelijk kleine spouwmuuroppervlak is bereikt. Aan de hand van het verschil in  $K$ -waarden, gemiddelde  $\Delta t$  en duur van het stookseizoen was de besparing berekend op 4%, het blijkt 16% te zijn! Dit wordt geweten aan de volgende oorzaken:

1. Een groot deel van de spouwmuur is borstwering, waartegen radiatoren staan die het binnenblad vrij sterk verwarmen, waardoor het verlies ongeïsoleerd veel hoger was dan berekend.
2. Bij het volspuiten zijn (duidelijk zichtbaar!) een aantal spleten gedicht, dus minder ventilatieverliezen na isolatie.

De besparing door dubbele beglazing en dakisolatie tezamen was berekend op 24%, wat goed overeenkomt met de werkelijkheid.

Een verdere consequentie is, dat het verwarmingstoestel nu te groot is. Er van uitgaand dat onder normale omstandigheden bij 100% belasting een  $\Delta t$  van 30°C bereikt moet kunnen worden, blijkt dat de capaciteit van de ketel vóór de isolatie ca. 7% te laag was en nu ca. 50% te hoog. Dit heeft tot gevolg dat  $\eta_g$  daalt en in werkelijkheid is de vermindering van het warmteverlies dus groter dan de hiervoor berekende besparing op warmteverbruik. Uit de van de ketel bekende gegevens kan berekend worden dat voor  $\Delta t = 14\text{ K}$  en normale condities  $\eta_g$  door het isoleren is gedaald van 76,5 naar 74,5%. Dat dit nog beperkt is, komt door het lage stilstandsverlies van deze ketel. De besparing op warmteverlies is hierdoor geen 40, maar ca. 41,5%.

Of deze besparingen, hier rechtstreeks gemeten via bepaling van het momentane warmteverbruik in evenwichtstoestand, nu ook zullen leiden tot een overeenkomstige besparing op het totale verbruik over het seizoen, kan op dit moment nog niet gezegd worden. Verwacht mag worden dat deze berekening in elk geval een goede indicatie geeft. Verrekening achteraf via de graaddagen zal nodig zijn om de besparing over het seizoen te bepalen. Allerlei andere invloedsfactoren spelen dan nog mee, bijv. zoninstraling en het feit dat de nachtverlaging, door het langzamer afkoelen van de woning, nu wel een uur eerder ingesteld kan worden.

### 3.8. Conclusie voor de eengezinstussenwoning

De bereikte besparing op het momentane gasverbruik bedroeg ca. 40%. Verwacht wordt dat nagenoeg eenzelfde besparing zal worden verkregen op het jaarverbruik voor verwarming van de woning. De eerste resultaten van een vergelijking via de graaddagen wijzen inderdaad in deze richting, waardoor de bruikbaarheid van deze methode bevestigd wordt. Bij een oorspronkelijk verbruik van 4300 m<sup>3</sup>/a betekent dit, bij een gasprijs van 20 ct/m<sup>3</sup>, een besparing van f 345,—/a.

## 4. DE VRIJSTAANDE WONING

### 4.1. Aanleiding tot het onderzoek in de vrijstaande woning

(Het onderzoek vloeide voort uit privé-interesse van de bewoner)

Nagegaan is in hoeverre uit het betrekkelijk summiere waarnemingsmateriaal bepaald kan worden wat de invloed van elk der successievelijk genomen maatregelen afzonderlijk is geweest. Daarbij zijn perioden vergeleken van een kalenderjaar, van een stookseizoen of van enkele maanden. De gasverbruiken zijn steeds als gemiddelden berekend per graaddag. Dit is gedaan om een toevallige invloed van het zachter of strenger zijn van een winter zoveel mogelijk te elimineren. Tevens is dit gedaan om gasverbruiken, opgenomen over verschillend lange perioden, beter te kunnen vergelijken. Steeds zijn daarbij de graaddaggegevens voor De Bilt gebruikt, zoals opgegeven in het maandblad Verwarming en Ventilatie (methode 2).

#### 4.2. De woning in zijn oorspronkelijke toestand

De woning bevindt zich in Amersfoort, is vrijstaand en ligt tamelijk beschut in een bosrijke omgeving. Daardoor ontvangt de verdieping op de begane grond 's winters weinig zon.

Hieronder bevindt zich een kelder waar ook de cv-ketel is ondergebracht. Verder heeft de woning alleen nog een eerste verdieping.

De plattegrond is nagenoeg vierkant. De hoogte is ca. 5,5 m. Figuur 6 toont de vier gevels. De zuidgevel-oriëntatie is ca. 25° oostelijker dan zuid.

In de figuur is aangegeven waar dubbel glas reeds bij de oplevering in februari 1966 was aangebracht. Het dubbel glas in de woonkamer is van het type met een gesloten luchtspouw van 9 mm. De werkkamer op het noorden op de eerste verdieping heeft een „Carda“-raam met een dagmaat van 1,32 m × 2,53 m, voorzien van dubbelglas met een zwak geventileerde luchtspouw van ca. 70 mm. Dit raam en alle ramen op het zuiden zijn in hout gevat, de overige in staal. De stalen ramen sloten goed, de houten ramen op de verdieping matig.

Een overzicht van de glasoppervlakken is gegeven in tabel 2.

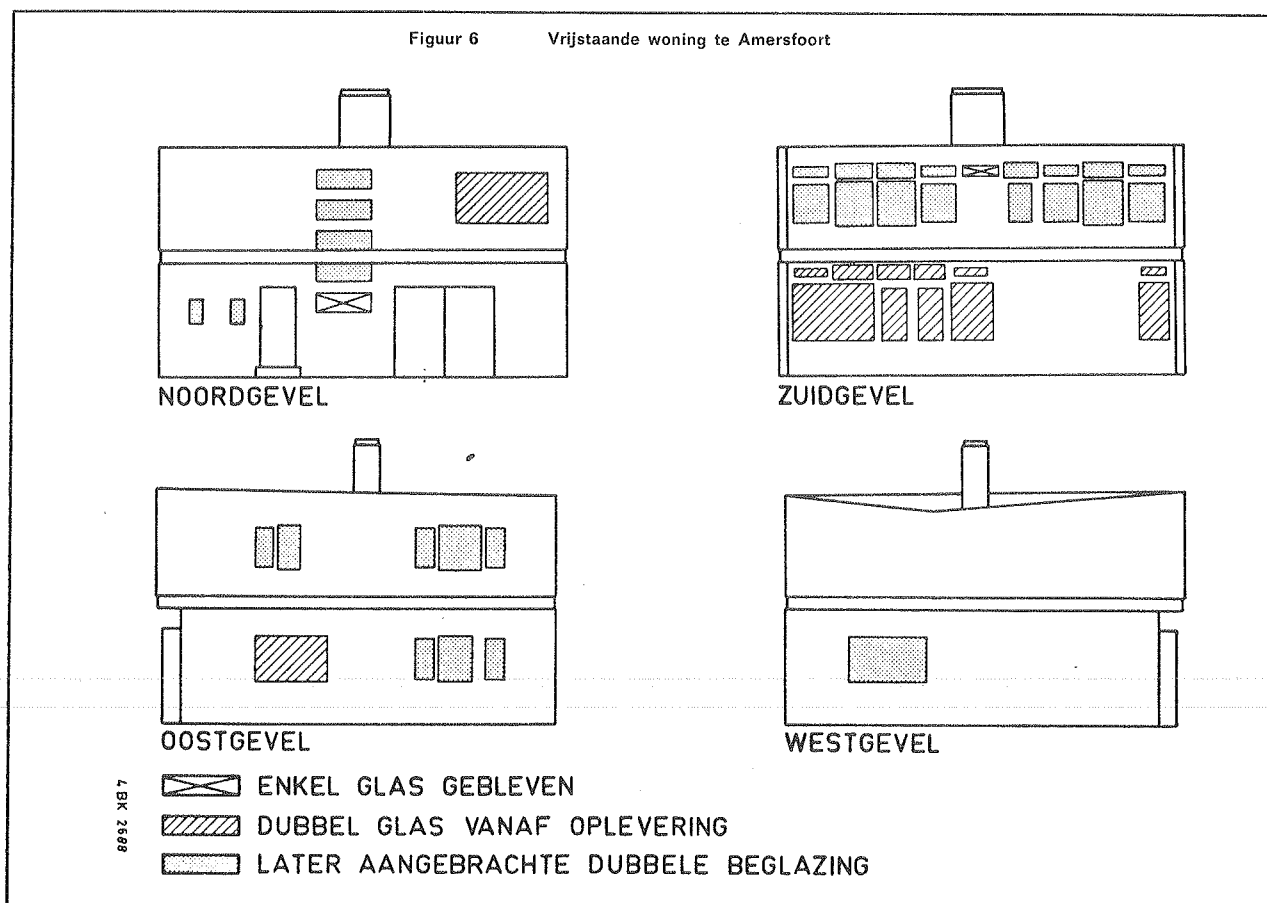
Tabel 2. Overzicht van de beglazing

oriëntatie	GEVEL m <sup>2</sup>	GLAS				t o t a a l	
		1 9 6 6		1 9 7 6		m <sup>2</sup>	% v.d. gevel
		enkel	dubbel	enkel	dubbel		
Noord	60	4,0	3,4	0,7	6,7	7,4	12,4%
Oost	59,4	6,9	2,3	0	9,2	9,2	15,4%
Zuid	60	11,6	9,8	0,2	21,2	21,4	35,7%
West	59,4	2,5	0	0	2,5	2,5	4,2%
Totaal	238,8	25,0	15,5	0,9	39,6	40,5	
% v.h. tot.		100%	10,5%	6,5%	0,4%	16,6%	17,0%

Alle getallen zijn m<sup>2</sup>, tenzij het %-teken is gebruikt.

De aansluiting van de kozijnen op de muren was over het algemeen goed tot zeer goed, hetgeen is gebleken uit de geringe hoeveelheden schuim welke later tijdens het volschuimen van de spouwmuren naar binnen of naar buiten drongen.

Onder het platte dak zouden volgens het bestek twee 5 cm dikke mineraalwoldekens zijn aangebracht. De ruimte onder het dak, boven deze isolatie, is zwak geventileerd.



#### 4.3. De verwarming, het gebruik van de woning en de genomen besparende maatregelen

De centrale verwarming is een conventionele radiatorenverwarming. Op verzoek van de bewoner is een VO gekozen dat 20% groter is dan volgens de richtlijnen bij 90/70 en  $-12^{\circ}\text{C}$  buiten nodig geweest zou zijn. De installatie is er op berekend dat daarbij de volgende binnentemperaturen kunnen worden gehandhaafd:

<i>begane grond</i>	<i>eerste verdieping</i>
overal $20^{\circ}\text{C}$ , behalve in de keuken, de hal en het toilet $15^{\circ}\text{C}$	Badruimte $22^{\circ}\text{C}$ 1 slaapkamer $20^{\circ}\text{C}$ werkkamer en 1 slaapkamer $18^{\circ}\text{C}$ 1 slaapkamer en overloop $15^{\circ}\text{C}$

Om de temperatuur in huis minder afhankelijk te maken van toevallige temperatuurfluctuaties in de woonkamer is voor de regeling geen kamerthermostaat maar een waterthermostaat gekozen. Deze is in de keuken gemakkelijk bereikbaar geplaatst in een aparte lus van het warmwatercircuit.

De waterthermostaat wordt door de vrouw des huizes met de hand ingesteld op een waarde welke af te lezen is van een lijstje dat bij elke buitentemperatuur de gewenste watertemperatuur aangeeft. Buiten hangen op enkele plaatsen op ca. 15 mm van de muur thermometers, die binnenshuis afleesbaar zijn. Steeds kan een thermometer worden gevonden die niet door regen nat is geworden en die niet in de zon hangt.

Tot de oliecrisis is geen nachtverlaging toegepast en werden nimmer radiatoren afgesloten. De kamertemperatuur werd tussen  $22^{\circ}\text{C}$  en  $23^{\circ}\text{C}$  gehouden, maar gemiddeld dichter bij  $22^{\circ}\text{C}$ . De waterthermostaat werd pas vermeld als de kamertemperatuur beneden  $22^{\circ}\text{C}$  kwam of boven de  $23^{\circ}\text{C}$  dreigde te stijgen.

De stabiliteit van de temperatuur bleek zo groot dat zelden vaker dan twee maal per dag de thermostaat moest worden vermeld. Soms kon de waterthermostaat dagenlang onberoerd worden gelaten.

De gasverbruiken berusten vanaf 1966 tot aan de oliecrisis in 1973 op de meterstanden zoals deze op de gasnota's werden vermeld, welke dus waren opgenomen door de opnemer van het gasbedrijf.

In de beginjaren werd de stand enkele malen per jaar opgenomen, doch al spoedig werd per jaar slechts één opname gedaan omstreeks de jaarwisseling.

Na de oliecrisis werd de gasmeterstand door de bewoner vooral in het begin met onregelmatige tussenpozen opgenomen. In het gasverbruik is het gas om te koken begrepen. Er is geen gasgeyser of gasboiler.

Kort na het verschijnen van de aanbevelingen van o.a. de Gasunie tot zuinigheid tijdens de oliecrisis in de herfst van 1973 werden deze aanbevelingen opgevolgd: de kamertemperatuur werd ca. 3 K lager gehouden, d.w.z. tussen  $19^{\circ}\text{C}$  en  $20^{\circ}\text{C}$ ; omstreeks 18.00 uur 's avonds werden de

gordijnen van alle vertrekken gesloten; luchten van kamers, hoofdzakelijk alleen de slaapkamers, geschiedde kort maar krachtig, d.w.z. 10 à 15 minuten met alle ramen wijd open; daarbij werden de radiatoren afgesloten, en te luchten beddengoed werd over de vensterbank van de open ramen, en tevens over de radiatoren gehangen om de afkoeling ervan te vertragen. Deze radiatorventielen werden pas om ca. 18.00 uur of midden in de winter om ca. 16.00 uur geopend. 's Nachts werd de watertemperatuur ca. 5 K lager gesteld dan overdag. Dit lijkt weinig, maar is gezien het feit dat zelden een watertemperatuur van  $50^{\circ}\text{C}$  nodig bleek ten opzichte van de binnentemperatuur van  $20^{\circ}\text{C}$  toch een relatieve watertemperatuurverlaging van ca. 17% of meer. In mei 1974 werd de spouw gevuld met ureum-formaldehydeschuim. In april 1975 werd vrijwel overal dubbelglas aangebracht met behulp van voorzetrampen met zwak geventileerde luchtsponw. Deze spouw bedraagt bij de stalen ramen ca. 20 mm, bij de houten ramen ca. 40 mm. Van de deur en de uitzetbare vensters werd ca. 20 m naad tocht dicht gemaakt met een elastische strip in het kozijn. Een deel van de beweegbare ramen werd onbehandeld gelaten om een vast stuk natuurlijke ventilatie te behouden. In de herfst 1975 werden nog vier vaste vensterstroken van enkel glas in het trappenhuis vervangen door thermopane.

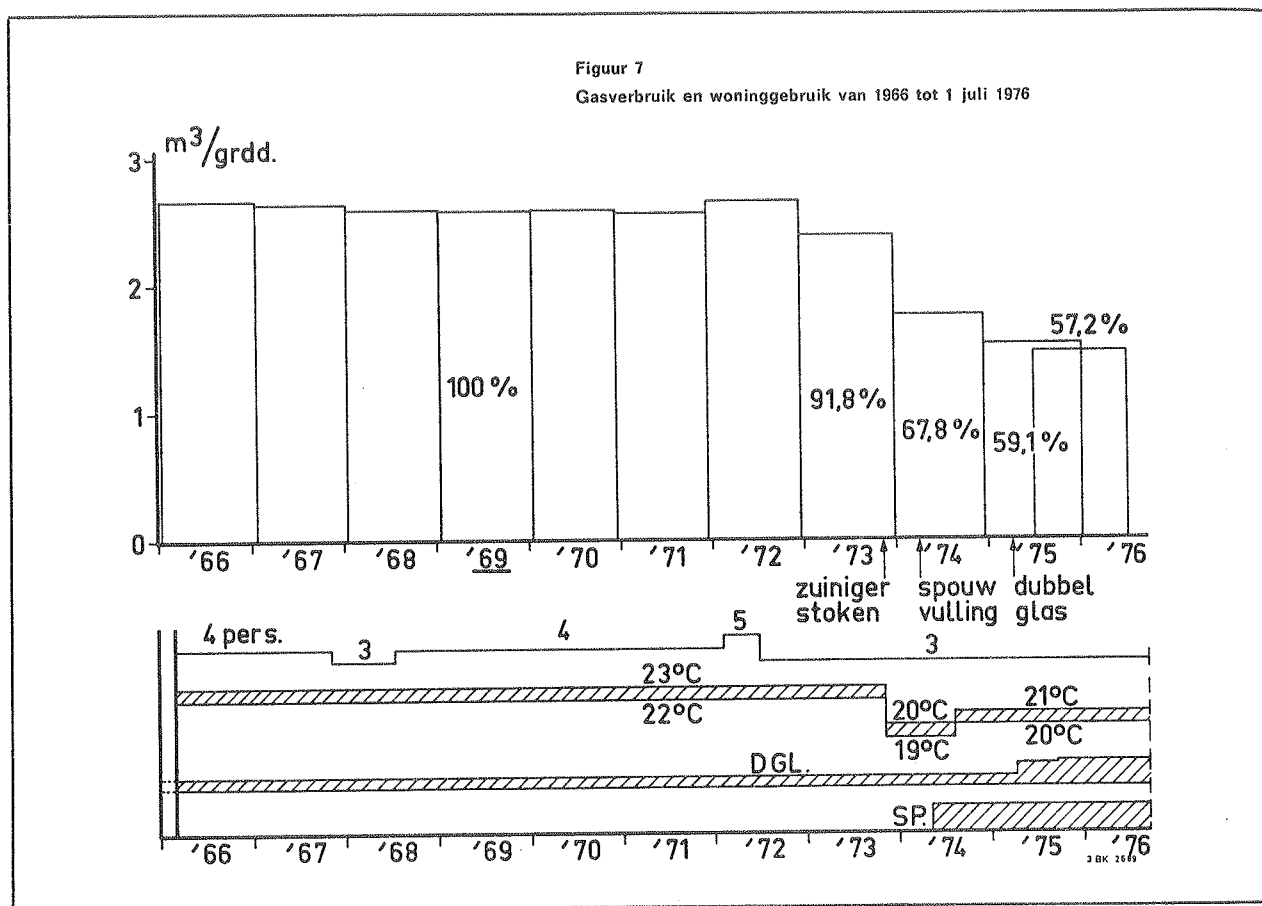
De stooklijst werd na elke belangrijke verandering gewijzigd, waarbij de getallen door wat proberen werden gevonden.

Tot 1972 waren er vier bewoners. Omstreeks de jaarwisseling 1967/1968 waren het er gedurende driekwart jaar drie, en in 1972 enige tijd vijf (zie onder in figuur 7).

Daarna was het aantal steeds drie. Deze aantallen zijn vermeld omdat deze een duidelijke invloed op het energieverbruik bleken te hebben. De verlaging van de kamertemperatuur tot  $19^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$  werd op de duur, ook na het aanbrengen van de spouwisolatie, als te onaangenaam ervaren, zodat met ingang van de herfst 1974 in de woonkamer gestookt werd op  $20^{\circ}\text{C}$  à  $21^{\circ}\text{C}$ . Daardoor werd een comfortverbetering bereikt als gevolg van twee effecten: de hogere binnenwandtemperatuur als gevolg van de spouwisolatie, en het stoken op een één graad hogere luchttemperatuur. De gewoonte om omstreeks 18.00 uur de gordijnen te sluiten, radiatoren in de niet-gebruikte kamers af te zetten, en kort maar krachtig te luchten, zodat de wanden slechts weinig afkoelen, werd volgehouden.

De nachtverlaging werd echter verder meestal achterwege gelaten. De vrouw des huizes merkte op dat het leek of sinds de isolatie de watertemperatuur voor de ochtend moest worden ingesteld bij de buitentemperatuur van de late vorige avond. Deze waarneming is in overeenstemming met de verwachting dat het binnendringen van invloeden van buiten door de woningisolatie niet alleen geringer zal zijn maar ook met grotere faseverschuiving zal verlopen. De stooklijst moet dus met enige faseverschuiving worden toegepast.

In het algemeen kan omstreeks het middaguur de watertemperatuur lager worden gesteld en deze stand kan mede als gevolg van het sluiten van de gordijnen 's avonds



worden gehandhaafd, ondanks een flinke daling van de buitentemperatuur. De gordijnen worden waar mogelijk met hun onderzijde tussen de radiatoren en de wand gehangen. Na het sluiten van de gordijnen loopt de temperatuur dan meestal nog bijna 1 K op. Hoewel het elektraverbruik voor het warmteverbruik van de woning slechts een geringe rol speelt is dit toch in het besparingsonderzoek opgenomen. Een deel van dit verbruik komt immers als warmte aan de woning ten goede. In het kader van de energiebesparing is ook getracht het elektraverbruik te beperken. In de woning zijn aan elektrische toestellen o.a. aanwezig: een badboiler van 80 liter, een keukenboiler van 30 liter, een wasmachine, een afwasmachine, kleine koelkast, stofzuiger en een radio (geen tv).

Bij de was- en afwasmachine was een verdere besparing nauwelijks mogelijk, aangezien deze altijd al alleen werden aangezet indien volbelast. Wel is op licht bespaard. Vroeger brandden er bijv. in de huiskamer vaak bijna alle lichten (tezamen ruim 700 Watt) terwijl blijkt dat men met 300 Watt nauwelijks minder lichthooftheid heeft. Voorts worden lichten in de hal, trappenhuis en het buitenlicht nu uitgelaten, welke vroeger vaak permanent brandden. Het

verloop van het verbruik is in figuur 12 weergegeven. Het aandeel dat het elektraverbruik heeft in de verwarming van de woning is geschat, gebaseerd op twee alternatieve aannamen:

1. 25% van de nachtstroom plus 100% van de dagstroom;
2. 10% van de nachtstroom plus 90% van de dagstroom.

Dit aandeel is vergeleken met de netto warmtehoeveelheid van het gas die aan de woning werd toegevoerd. Daarbij is een bedrijfsrendement van de ketel verondersteld van 75%. Het werkelijke bedrijfsrendement is onbekend. Men komt dan voor 1971 (5300 kWh nacht- en 2700 kWh dagstroom) en 1975 (4300 kWh nacht- en 1400 kWh dagstroom) op de volgende percentages.

	aanname	
	1	2
1971	7,3%	5,6%
1975	7,5%	4,8%

Het relatieve aandeel van het elektraverbruik in de verwarming bleef in deze woning dus nagenoeg gelijk. Dit aandeel blijkt van beperkte betekenis.



#### 4.4. Resultaten

In figuur 7 is tevens een overzicht gegeven van de jaarverbruiken tezamen met het gebruikspatroon van de woning. De gasverbruiken zijn steeds berekend in m<sup>3</sup> gas per graaddag, gebaseerd op de graaddagtabellen uit „Verwarming en Ventilatie” voor De Bilt.

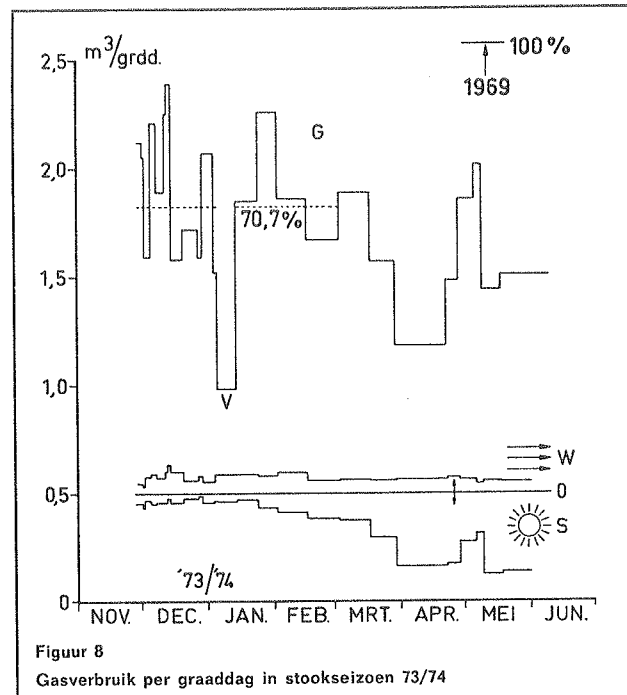
Een eerste en belangrijke constatering is dat het gasverbruik per graaddag, gemiddeld over een kalenderjaar, zeer constant is. De standaardafwijking is van 1966 t/m 1972 slechts 1,6%.

Hierbij kan nog worden opgemerkt dat er een duidelijke systematische dalende trend is. Alleen is er in 1972 een uitschieter, die overigens te verklaren is uit een intenser gebruik van de woning door de aanwezigheid van vijf bewoners. Zo gezien is het gasverbruik per graaddag buitengewoon constant te noemen. Een zeer belangrijke conclusie is dus dat indien na het uitvoeren van bepaalde maatregelen een daling optreedt die belangrijk groter is dan 1,6%, deze daling vrijwel zeker geen toevallige daling meer kan zijn.

Sinds de oliecrisis zijn de gasmeterstanden door de bewoner op min of meer regelmatige tijden opgenomen. Daaruit zijn de gemiddelde gasverbruiken per graaddag berekend (zie figuur 8, 9 en 10). Uit figuur 8 blijkt dat zonder enige investering reeds een besparing mogelijk bleek in de orde van 29%, dus alleen reeds als gevolg van het andere gebruik van de woning en de andere stookwijze! Daarbij bleek overigens dat de aangehouden kamertemperatuur van 19 à 20°C voor dit gezin te laag bleek om zonder nadelige gevolgen te kunnen aanhouden. Verder zien wij in het elektraverbruik (figuur 12) van 1966 t/m 1971 een doorgaande stijgende tendens, die slechts is onderbroken omstreeks 1968 toen er slechts drie in plaats van vier personen in huis waren. Van 1972 tot 1975 is het elektraverbruik van 8000 kWh tot 6000 kWh gedaald. Zoals reeds is uiteengezet heeft dit verder weinig invloed op de gasverbruikgetallen. Het jaarbudget voor elektra komt er bij 10 ct/kWh wel f 200,—/a lager door te liggen!

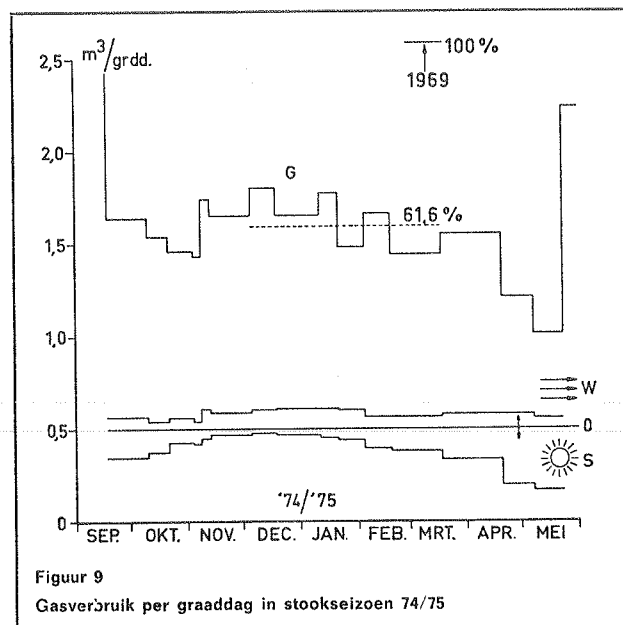
Uit de getallen voor de kalenderjaren kan de invloed van de afzonderlijke maatregelen niet worden afgeleid aangezien deze maatregelen niet aan het begin van een jaar konden worden genomen (o.a. levertijden). Daardoor zijn de dalingen per kalenderjaar steeds slechts voor een (onbekend) deel toe te schrijven aan de genomen maatregelen. De getallen over kortere perioden geven die informatie wel. Daarom zijn de uitkomsten nog eens op ruimere schaal en meer gedetailleerd in figuur 8 t/m 10 verzameld. Daarin zijn ook de gemiddelde dagsomstraling en de gemiddelde windsnelheid over dezelfde periode uitgezet, en wel in de richting waarin het gasverbruik er door zou veranderen. Dus de dagsomstraling naar beneden en de windsnelheid naar boven.

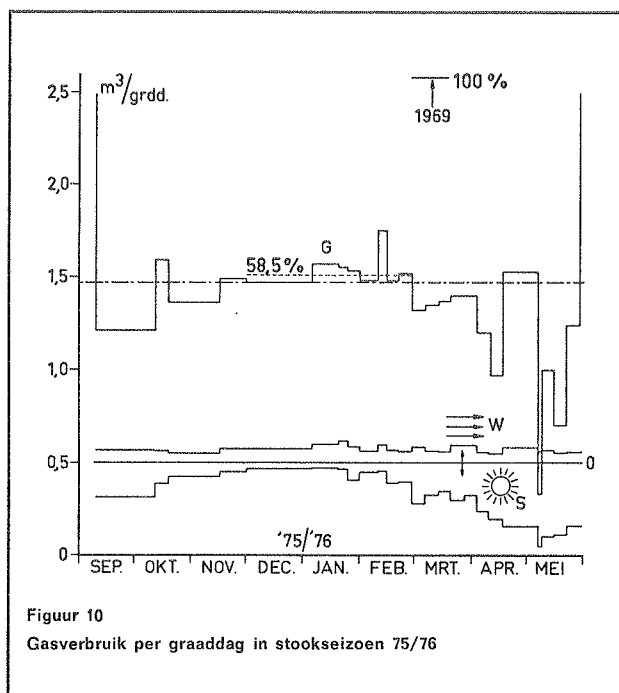
Wij zien uit figuur 8 t/m 10 dat de gasverbruiken ondanks hun herleiding tot verbruik per graaddag, toch nogal sterk



variëren, zelfs als het perioden van een maand of langer betreft.

De zonstraling, of juist de totale dagsomstraling, vermindert duidelijk het gasverbruik per graaddag. Er zijn echter ook afwijkingen. Wellicht verhoogt de combinatie





Figuur 10  
Gasverbruik per graaddag in stookseizoen 75/76

van regen en wind ook de warmtebehoefte. Van een poging om een kwantitatief verband met deze grootheden te vinden is afgezien, wegens een tekort aan gegevens, en ook omdat dit onderzoek elders door het Instituut wél nauwkeurig wordt verricht.

Wij trachten nu de invloed van de stookwijze, de spouwisolatie en de dubbele beglazing afzonderlijk uit de gegevens af te leiden.

Het is goed bij het beschouwen van de uitkomsten in figuur 8 t/m 10 en bij het vergelijken van die uitkomsten met verbruiksgedaten per graaddag voor een geheel kalenderjaar (figuur 7) attent te zijn op een aantal punten. Het eerste punt is dat het gasverbruik per graaddag gemiddeld over één bepaalde periode niet gelijk is aan het gemiddelde van de verbruiken per graaddag over alle deelperioden van dat tijdvak.

Het verbruik per graaddag over een bepaalde stookperiode verschilt van het gemiddelde bepaald uit de getallen over de deelperioden. Met een voorbeeld wordt dit duidelijk.

Gegeven een periode van 60 dagen. In de eerste deelperiode van 30 dagen met 360 graaddagen is het verbruik bijv. 600 m<sup>3</sup>, hetgeen een verbruik oplevert van 1,667 m<sup>3</sup>/graaddag.

In de tweede deelperiode van 30 dagen met 240 graaddagen is het verbruik bijv. 300 m<sup>3</sup>, hetgeen een verbruik oplevert van 1,25 m<sup>3</sup>/graaddag.

Het gemiddelde van die getallen is  $(1,667 + 1,25)/2 = 1,459$  m<sup>3</sup>/graaddag.

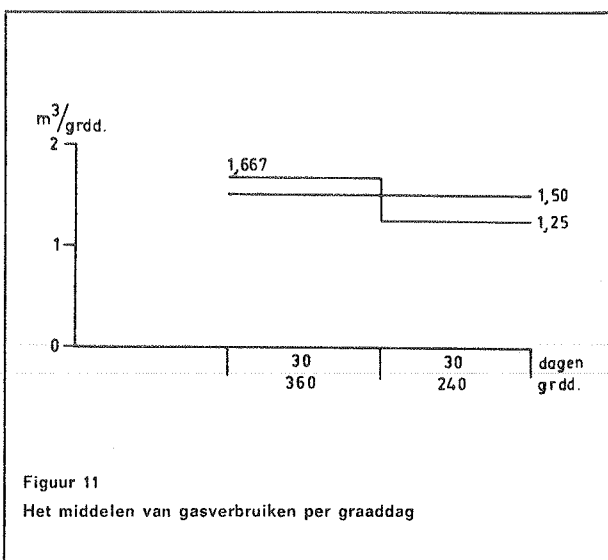
Maar het werkelijke gemiddelde verbruik over die 60 dagen volgt uit het totale gasverbruik gedeeld door het totale aantal graaddagen, dus  $(600 + 300)/(360 + 240) = 1,500$  m<sup>3</sup>/graaddag.

Dit niveau ligt dus niet symmetrisch ten opzichte van de deelniveaus; het hoeft blijkbaar niet door het zwaartepunt van de deelniveaus te gaan (zie figuur 11). Het tweede punt is dat bij het vergelijken van een verbruiksgetal per graaddag over een deel van een kalenderjaar met het verbruiksgetal voor dat gehele kalenderjaar dit laatste getal de neiging heeft hoger te zijn dan van de deelperiode. Dit komt omdat er ook kookgas en eventueel waakvlamgas wordt verbruikt in perioden zonder graaddagen.

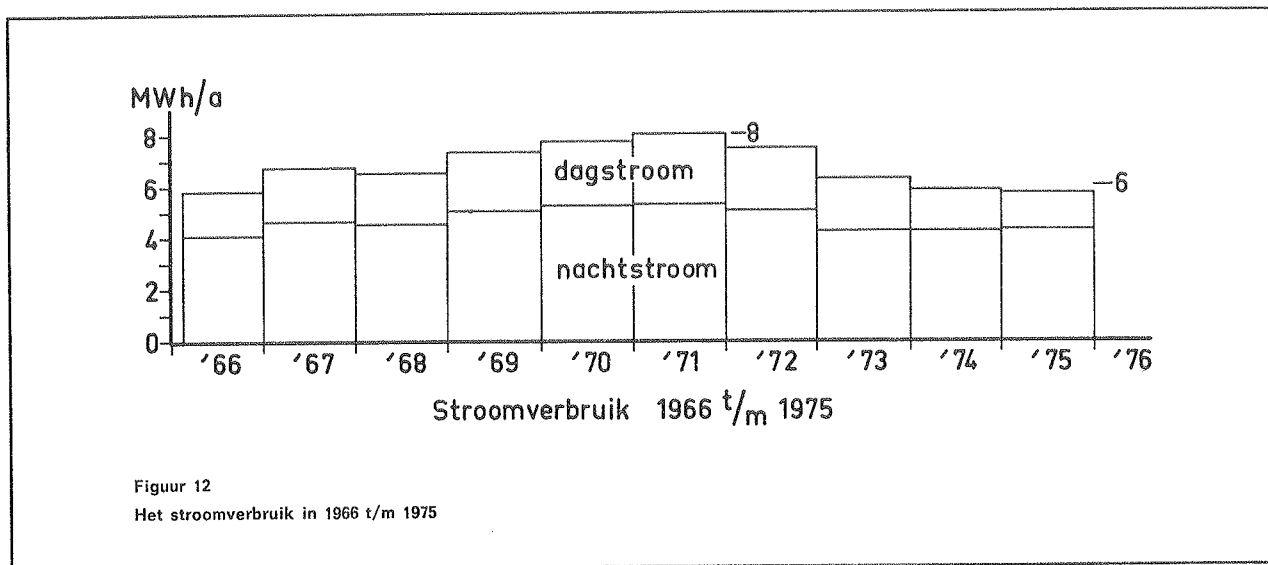
Stel bijvoorbeeld in een bepaald kalenderjaar het aantal dagen zonder graaddagen op 90, en stel het kook- en waakvlamgas op 1,5 m<sup>3</sup>/dag (ongeveer het werkelijke bedrag).

Voor een kalenderjaar met een gasverbruik van 4635 m<sup>3</sup> en 3000 graaddagen komt men dan op een gemiddeld verbruik per graaddag van  $4635/3000$ , dat is 1,545 m<sup>3</sup>/graaddag.

Zou men alleen de (365—90) stookdagen beschouwen dan zou het verbruik slechts  $(4635—90 \cdot 1,5) = 4500$  m<sup>3</sup> geweest zijn, hetgeen een gemiddeld verbruik oplevert van 1,500 m<sup>3</sup>/graaddag, hetgeen 3% lager ligt. Het verbruik per graaddag heeft dus de neiging over de stooktijd lager te zijn dan het gemiddelde over het betreffende kalenderjaar. Voor het hogere verbruik vóór de oliecrisis is dat verschil dus nagenoeg 2%.



Figuur 11  
Het middelen van gasverbruiken per graaddag



Een derde punt is zeer verwant met het zojuist genoemde. In een deelperiode met weinig graaddagen vormt het kookgas- en waakvlamverbruik een vaste doorlopende post. Dit heeft tot gevolg dat het gasverbruik per graaddag in perioden met weinig graaddagen ondanks de eventuele hulp van de zon hoger kan liggen dan het gemiddelde. Dit verschijnsel is bijv. in figuur 9 duidelijk te zien omstreeks begin september 1974 en begin juni 1975. Het waakvlamverbruik is op stookdagen slechts voor een deel verlies. Stellen wij het gasverbruik per graaddag na de oliecrisis voor een heel jaar op 100, dan gelden met goede benadering de volgende verhoudingen:

Heel jaar	100 eenheden
Periode dec., jan., febr.	100 eenheden
Stookseizoen over ca. 270 dagen	97 eenheden

De onderlinge verschillen over deze perioden zijn dus klein. Een vierde punt is de vraag of de vergelijking van verbruiken per graaddag op basis van graaddagen bij een vaste basistemperatuur wel verantwoord is.

Voor het begrip basistemperatuur wordt verwezen naar [4]. Wij brengen in herinnering dat de basistemperatuur van een woning die binnentemperatuur is die bepalend blijkt voor het warmteverlies. De basistemperatuur ligt lager dan de werkelijke gemiddelde temperatuur in de woning. Ook zonder dat sprake is van opzettelijk verwarmen wordt als gevolg van interne warmteontwikkeling en invang van zonnearmte de temperatuur in de woning enkele graden hoger dan die van de omgeving.

Tot de warmteontwikkeling in de woning dragen bij het elektriciteitsverbruik, de aanwezigheid van personen, het koken en de warmwatervoorziening.

Zo kan het voorkomen dat zonder dat er sprake is van gebruik van de verwarming de binnentemperatuur 20°C

blijft bij een buitentemperatuur van 16°C. Pas wanneer de gemiddelde buitentemperatuur beneden 16°C daalt is dan verwarming nodig. Men zegt dan dat de basistemperatuur voor die woning 16°C is. Bij buitentemperaturen tbu beneden 16°C moet worden gestookt evenredig met het temperatuurverschil (16-tbu). Zou men in die woning een temperatuur van 22°C wensen dan zal blijken dat men in die woning pas moet stoken als de buitentemperatuur beneden 18°C komt. De basistemperatuur is met het hoger kiezen van de binnentemperatuur meegestegen en 18°C geworden. Om de binnentemperatuur van 22°C te handhaven bij buitentemperaturen tbu beneden 18°C, is nu een warmtehoeveelheid nodig evenredig met (18-tbu).

In de tijd dat het begrip basistemperatuur is ontstaan is gebleken dat voor veel woningen een basistemperatuur van 18°C een redelijk goed uitgangspunt was voor het voorspellen van het warmteverbruik over langere perioden. Sindsdien zijn dan ook de graaddagegegevens op basis van de gegevens van het KNMI verschenen: In Verwarming en Ventilatie vanaf jrg. 8 (1951) nr. 2.

Het begrip graaddag zelf is van veel oudere datum. Stel dat wij over de gasverbruikscijfers beschikken over twee klimatologisch geheel gelijke jaren. Er wordt dus verondersteld dat op elke datum van die twee jaren precies hetzelfde weer heerste. In het ene jaar is de woning nog niet geïsoleerd, in het andere wél. Omdat de aantallen graaddagen voor beide jaren gelijk zijn, omdat wij uitgingen van eenzelfde basistemperatuur voor de woning, is de verhouding van de gasverbruiken per graaddag voor de twee kalenderjaren dezelfde als de verhouding van de totale jaarverbruiken. De verbruiken per graaddag zijn in dit geval dus bruikbaar voor de vergelijking van de warmteverliezen. In werkelijkheid is het denkbaar dat bij eenzelfde binnentemperatuur de basistemperatuur voor een goed

geïsoleerde woning een andere is dan voor de nog niet geïsoleerde woning. Men kan zich namelijk voorstellen dat een onverwarmde goed geïsoleerde woning van nature een hogere temperatuur krijgt als een niet geïsoleerde woning. Het warmteverlies voor de goed geïsoleerde woning wordt dan door een lagere, dus andere, basistemperatuur bepaald dan voor de niet geïsoleerde woning. Zou men de warmteverbruiken per graaddag baseren op die verschillende basistemperaturen dan zou de verhouding van de warmteverbruiken per graaddag niet gelijk zijn aan die van de werkelijke jaarverbruiken. De warmteverbruikscijfers per graaddag zouden bij gebruik van aangepaste basistemperaturen dus niet bruikbaar zijn voor het vergelijken van verbruikscijfers van een woning waaraan wijzingen zijn aangebracht.

#### 4.5. De besparingen door de maatregelen

Deze zijn tenslotte verkregen uit de cijferreeksen over bepaalde perioden. Voorzover mogelijk zijn perioden van 1 december tot 1 maart gekozen. In deze perioden zijn er nl. geen wijzigingen in de maatregelen aangebracht, de periode is redelijk lang, en de invloed van de zon is gering. De gegevens in figuur 7 dienen slechts om een indruk te hebben van hetgeen er in die periode is voorgevallen. De gebruikte getallen zijn in tabel 3 bijeen gebracht. De herleiding op regel 3, kolom 9 naar 8, berust op verlaging van de binnentemperatuur met 2°C. De basistemperatuur, zou dus 2°C lager komen te liggen, en bij aldien wordt het verbruik per graaddag een factor  $(16-6,7)/(18-6,7)$  lager.

De herleiding in kolom 8, van regel 3 naar 4 berust op de constatering dat het verbruik per graaddag in de periode 1 dec. - 1 maart ca. 2% hoger ligt dan het verbruik over het totale aantal stookdagen.

De herleiding op regel 5 berust op de overweging dat voor herleiding van stoken op 19 à 20 naar 20 à 21°C de basistemperatuur ongeveer van 15 naar 16°C moet worden verhoogd, resulterend in een vergroting van het verbruik met de factor  $(16-5,9)/(15-5,9)$ . Op deze wijze zijn in kolom 8 (voor stoken op 20 à 21°C) vergelijkbare getallen verzameld. De betekenis van de getallen is verder uitgewerkt in tabel 4 (zie pagina 25).

In kolom 3 is de stap van regel 2 naar 3 zoals wij eerder opmerkten ca. 2%. Wij kunnen nu de invloed van de maatregelen met elkaar vergelijken uitgaande van een oorspronkelijk verbruik van 2,586 m<sup>3</sup>/grd. dat wij 100% noemen.

#### 4.6. Beschouwing van de resultaten

Wij willen beginnen met de opmerking dat in de tabel 4 meer decimalen zijn meegenomen dan nog betekenis hebben. Dit is gedaan om voortijdig verlies aan informatie door afronding te voorkomen. Aan de tiende procenten moet dan ook geen enkele betekenis meer worden toegekend. De onnauwkeurigheid ligt waarschijnlijk in de orde van 1 à 2 eenheden.

Tabel 3. Bepaling van het gasverbruik in m<sup>3</sup> per graaddag (grdd) over bepaalde perioden

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Periode	gas- verbruik m <sup>3</sup>	graad- dagen	dagen	t <sub>in</sub> °C	basis- temp. °C	19°-20° m <sup>3</sup> /grdd	20°-21° m <sup>3</sup> /grdd	22°-23° m <sup>3</sup> /grdd
2 kalenderjaar 1969 *)	8032	3114	366	—	18			* 2,580
3 stookdagen 1969	7900	3114	276	6,7	18→16		2,086 ←	* 2,535
4 fictieve 1 dec. 1968 tot 1 maart 1969			↓ 90		18→16		↓ 2,127 ←	↓ 2,586 100%
5 28 nov. 1973 tot 3 maart 1974 <sup>1)</sup>	2221	1214	86	5,9	15→16	* 1,829	→ 2,030	
6 5 dec. 1974 tot 18 maart 1975	2063	1294	103	5,5	—	70,7%	* 1,594	
7 1 dec. 1975 tot 28 febr. 1976	1971	1303	89	2,9			* 1,513	

\*) plus 1 dag

Tabel 4. Per maatregel verkregen daling van en besparingen op het gasverbruik in procenten

1	2	3	4	5	6	7
1 beschouwde stookperiode	$t_{\text{kamer}}$ °C	verbruik m <sup>3</sup> graaddag	relatieve daling %	relatief verbruik %	daling t.o.v. de oorspr. 100% %	maatregel
2 stookdagen 1969	22-23	* 2,535				
3 fictieve 1 dec. tot 1 maart (2% hoger)	22-23	2,586		100		
4			17,7		17,7	2 K lager stoken
5 herleid op fictieve 1 dec. 1968 tot 1 maart 1969	20-21	2,127		82,3		
6			4,5		3,8	gordijnen en radiatoren dicht
7 28 nov. 1973 tot 3 maart 1974 <sup>1)</sup>	20-21	2,030		78,5		
8			21,5		16,9	spouwvulling
9 5 dec. 1974 tot 18 maart 1975	20-21	* 1,594		61,6		
10			5,1		3,1	dubbele ramen
11 1 dec. 1975 tot 28 febr. 1976	20-21	* 1,513		58,5		

De noten gelden voor beide tabellen.

<sup>1)</sup> exclusief wintervakantie 5-14 januari.

\* De getallen met een \* volgden rechtstreeks uit waarnemingen, en bevatten dus geen onzekerheden als gevolg van herleidingen.

De pijlen duiden op herleidingsstappen.

Uit tabel 3, kolom 7 en uit figuur 8 volgt dat door 3 K lager stoken, en gordijnen en radiatoren sluiten een besparing werd bereikt van ca. 29%. Uit de metingen en berekeningen, samengevat in tabel 4, volgt dat — steeds betrokken op de basissituatie in 1969 — de besparing door 2 K lager stoken in deze woning in de orde van 18% was (kolom 6, tabel 4), door gordijnen en radiatoren te sluiten ca. 4%, door spouwisolatie ca. 17% en met dubbele ramen ca. 3%. Zou men de maatregelen in een andere volgorde hebben gekozen dan zouden er andere besparingspercentages zijn gevonden. Om hierover gegevens te verkrijgen zijn ook de besparingspercentages van elke stap afzonderlijk bepaald (kolom 4, tabel 4).

Dan vindt men voor:

- spouwvulling 21 à 22%;
- 2 K lager stoken ca. 18%;
- gordijnen en radiatoren afsluiten ca. 4 à 5%;
- dubbele ramen ca. 5%.

De besparing door 2 K lager stoken en gordijnen en radiatoren sluiten is dus vrijwel even groot als van een

spouwvulling alleen. De eerste maatregelen kosten niets; de investering in de spouwvulling is duidelijk rendabel. De voorlopig gemeten besparing van 3% voor de vervanging van 24 m<sup>2</sup> enkel glas door dubbelglas is gering. Wij trachten ook theoretisch de besparing te schatten van het vervangen van enkel door dubbelglas. Als de temperatuur van de betreffende vertrekken vroeger gemiddeld 16°C was en nu gemiddeld 19°C, zou men een besparing moeten vinden van ca. 400 m<sup>3</sup>, of 5% van het verbruik van 1969. Het verschil met de geconstateerde 3% ligt op de grens van de verwachte meetnauwkeurigheid. Deze temperaturen zijn overigens schattingen. Een deel van de dag wordt in enkele kamers niet gestookt. Gedurende die tijd is de temperatuur er lager en is het effect van dubbelglas beperkt. Met de gasprijs van 1976 (f 0,20/m<sup>3</sup>) was dubbel glas dus nog geen rendabele investering, zelfs nog net niet als men rekening houdt met fiscale overwegingen. Zou men de investering in dubbelglas niet hebben gedaan, dan zou men nl. over de rente over dit kapitaal belasting hebben moeten betalen. In de hogere inkomensklassen kan het rendement dan minder dan de helft worden van de werkelijke rente.

Bij het als particulier overwegen van het aanbrengen van dubbelglas kan daardoor de investering in dubbelglas reeds rendabel zijn als er een besparing uit volgt die slechts enkele procenten is van het geïnvesteerde kapitaal. Bovenstaande getallen hebben betrekking op driemaandelijke periodes. Verwacht kon worden dat de verbruiksbesparingen per kalenderjaar in dezelfde orde van grootte zullen liggen.

Dit werd bevestigd gevonden toen na het gereedkomen van bovenstaande tabellen de graaddagegegevens over de periode 1 juli 1975 - 1 juli 1976 beschikbaar kwamen. Daarmede kon de totaal bereikte besparing nog betrouwbaarder worden bepaald. Daartoe is dit tijdvak vergeleken met het meermaalen gebruikte referentiejaar 1969.

Het verbruik over 1 juli 1975 - 1 juli 1976 bedroeg gemiddeld  $1,476 \text{ m}^3/\text{grdd}$ . Dat is  $57,2\%$  van het vroegere verbruik, dat wil zeggen een besparing van  $42,8\%$ . Dat deze besparing over deze langere periode nog iets groter uitvalt dan volgde uit de getallen over de periodes 1 december - 1 maart is wellicht het gevolg van de relatief betere invang van zonnewarmte door het later aangebrachte dubbelglas op stookdagen in de periode september t/m november 1975 en maart t/m mei 1976.

Als gevolg van alle warmtebesparende maatregelen kan nu bij plus  $5^\circ\text{C}$  buiten, met een watertemperatuur van  $35^\circ\text{C}$  een kamertemperatuur van  $20$  à  $21^\circ\text{C}$  worden gehandhaafd. Zoals Van der Heeden [3] heeft aangetoond zal door warmtebesparende maatregelen het stilstandsverlies als percentage van het totale verbruik toenemen. In het beschreven geval kan worden verwacht dat het stilstandsverlies als gevolg van de wel zeer lage watertemperatuur ondanks enige toename toch relatief laag zal blijven.

#### 4.7. Conclusies voor de vrijstaande woning

- 7.1. In de beschreven vrijstaande woning werd voor de oliecrisis over zeven jaren per jaar een vrijwel constante hoeveelheid gas per graaddag verbruikt. Dit verbruik is op 100 eenheden gesteld.
- 7.2. Door 3 K lager stoken en sluiten van gordijnen en radiatoren kon zonder het aanbrengen van isolatie het verbruik reeds worden teruggebracht tot 71 eenheden, echter met duidelijke opoffering van een stuk comfort.
- 7.3. Door terugnemen van een stuk comfort (niet 3 K maar 2 K lager stoken) zou het verbruik tot ca. 80 eenheden zijn gestegen, ten opzichte waarvan het aanbrengen van spouwvulling het verbruik tot 61 à 62 eenheden deed dalen.
- 7.4. Door aanbrengen van dubbele ramen daalde het verbruik nog eens ruim 3 eenheden.
- 7.5. Ten opzichte van het oorspronkelijke verbruik van  $7500 \text{ m}^3/\text{a}$  is de besparing meer dan  $3000 \text{ m}^3/\text{a}$ . Bij een gasprijs van  $f 0,20$  dus meer dan  $f 600,-/\text{a}$ .
- 7.6. De besparende maatregelen hebben tot gevolg gehad dat bij plus  $5^\circ\text{C}$  buiten in deze woning nu een watertemperatuur van  $35^\circ\text{C}$  voldoende is.
- 7.7. Het gasverbruik per graaddag daalt duidelijk met de dagsomstraling, vooral in voorseizoen (sept./okt.) en naseizoen (maart t/m mei).
- 7.8. Verbruikscijfers in  $\text{m}^3$  per graaddag fluctueren nogal, zelfs indien deze bepaald worden over periodes in de orde van een maand. Verbruikscijfers over een dergelijke periode zijn te kort om de effectiviteit van maatregelen te schatten. Een kalenderjaar is wel een voldoende lange periode.
- 7.9. De totale bereikte besparing bepaald over de periode van een jaar bedraagt  $42,8\%$ .

#### 4.8. Dank

Dank is verschuldigd aan de heer W. R. van den Berg van de Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO voor het verwerken van de grote aantallen gegevens voor de vrijstaande woning.

### 5. VERGELIJKING VAN DE MEETMETHODEN

Deze vergelijking is gegeven in tabel 5. In de eerste kolom zijn een aantal aspecten, omstandigheden en overwegingen opgesomd.

In de tweede en derde kolom, worden per meetmethode enkele opmerkingen gemaakt over aspecten, gezichtspunten en overwegingen in de eerste kolom.

Wij menen dat tabel 5 voor zichzelf spreekt.

Voor het meten van de invloed van kort (enkele maanden) na elkaar genomen maatregelen is methode 2 niet bruikbaar.

De besparing door spouwvulling in woning 1 is hoog. Waarschijnlijk is dit gevolg van minder verlies van warmte afgegeven door de radiator aan de buitenmuur (zie artikel van de heer M. Dubbeld) en verder minder ventilatieverlies door opvulling spleten.

De besparing door aanbrengen van dubbelglas in woning 2 is laag om twee redenen: Het aandeel hiervan in het totale buitenoppervlak was reeds klein (7%) en bovendien is dit voor een groot deel aangebracht in de slaapkamers waar overdag niet gestookt wordt en waar 's nachts een raam enigszins geopend staat.

Tabel 5. Vergelijking van de meetmethoden.

Aspect	Methode 1 (eengezinstusscnwoning)	Methode 2 (vrijstaande woning)
Gasmeteraflezingen	niet nodig	nodig
Benuttingsgraad bepaling	nodig	niet nodig
Aflezing binnentemperatuur	nodig	nodig voor regeling binnentemperatuur
Constant houden van de binnentemperatuur	via kamerthermostaat	via waterthermostaat
<i>Gegevens:</i>		
Graaddagen	niet nodig	nodig
Buitentemperatuur	meten	nodig voor instelling waterthermostaat
Zonneschijn	niet toelaatbaar	geen bezwaar
Windsterkte	schatten	behoeft niet genoteerd te worden
Sterk wisselende wind	niet toelaatbaar	geen bezwaar
Wisselende neerslag	niet toelaatbaar	geen bezwaar
Regelmatig gebruik woning	tijdens meting noodzakelijk, alleen cv aan	gemiddeld over langere termijn wel nodig
Vrijwel stationaire toestand	vereist	niet nodig
Minimum vereiste waarnemingsduur	enige malen enkele uren per dag	3 wintermaanden, eventueel stookseizoen of kalenderjaar
Resultaat berekenen	direct na een meting	pas na ontvangst graaddaggegevens
Betrouwbaarheid van de uitkomst voor voorspelling gasverbruik per jaar met gegeven aantal graaddagen	redelijk (goed) dan zijn graaddag gegevens wel nodig	(zeer) goed

## 6. VERGELIJKING VAN DE TWEE WONINGEN EN DE VERKREGEN BESPARINGEN

Enkele gegevens en resultaten zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6. *Vergelijking van de woningen.*

Woning	(Woning 1) tussenwoning		(Woning 2) vrijstaand huis	
Inhoud	380 m <sup>3</sup>		520 m <sup>3</sup>	
Dak	73 m <sup>2</sup>		90 m <sup>2</sup>	
Buiten geveloppervlak	65 m <sup>2</sup>		250 m <sup>2</sup>	
Totaal buitenoppervlak	138 m <sup>2</sup> = 100%		330 m <sup>2</sup> = 100%	
Spouwvulling	15 m <sup>2</sup> 11%	16%	190 m <sup>2</sup> 58%	21,5%
Enkel glas vervangen door dubbel glas	25 m <sup>2</sup> 18%	20%	24 m <sup>2</sup> 7%	4 %
Aan dakisolatie	30 m <sup>2</sup> 22%	4%	— —	—
	besparing 40%		2 K lager stoken plus andere maatregelen 16 %	
			totale besparing 41,5%	

## 7. CONCLUSIES

1. Door het nemen van maatregelen bleken in deze woningen besparingen mogelijk in de orde van ruim 40%.
2. Reeds zonder enige investering kan door lager stoken en het nemen van maatregelen — zoals gordijnen sluiten, kort luchten, nachtverlaging en radiatoren afzetten in niet gebruikte vertrekken — een interessante besparing worden bereikt.
3. De gegeven resultaten mogen niet worden gegeneraliseerd; ze gelden voor de onderzochte woningen onder de aanwezige situaties.

## 8. LITERATUUR

- [1] Verwarming en Ventilatie 1966 t/m 1976.
- [2] D. J. van der Heeden; Invloed van isolatie op het momentane warmteverbruik van een woning. Intern verslag CTI-TNO 76-04061.
- [3] D. J. van der Heeden; Toestelgedrag en gebruiksrendement. In Klimaat Ventilatie Verwarming, uitgave nov. 1974 van de Afd. Binnenklimaat van het Instituut Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Postbus 214, Delft. Ook in Verwarming en Ventilatie, 32 (1975) nr. 1 (jan.) p. 41-49.
- [4] Van Buuren, D. H. en E. van Gust; Klimaat en brandstofverbruik. Verwarming en Ventilatie 15 (1958) nr. 5, 6, 9 p. 128/135, 173/180, 243/251.