

VERGELIJKING VAN DE VAN DAG TOT DAG
BEREKENDE WARMTEBEHOEFTE VAN EEN
WONING MET HET VAN DAG TOT DAG GEMETEN
WARMTEVERBRUIK

R. S. Soeleman

1. INLEIDING

Het onderwerp dat nu zal worden aangesneden ligt in de sfeer van het toetsen van de bruikbaarheid van een bepaalde rekenwijze, om het energieverbruik voor de verwarming van een bepaalde bestaande woning – in dit geval een flatwoning – over langere perioden, eventueel van dag tot dag, te voorspellen. Het betreft hier in hoofdzaak de rekenwijze beschreven op de TVVL-TNO-dag gehouden in oktober 1973. In grote lijnen komt deze rekenwijze op het volgende neer.

Van de woning waar het om gaat wordt een analoog model samengesteld. Aan dit model worden karakteristieke functies bepaald, die vastleggen wat het gedrag is van de woning wanneer deze wordt onderworpen aan bepaalde invloeden van buiten. Deze karakteristieke functies bestaan uit reeksen van getallen.

Van de klimatologische omstandigheden uit de te beschouwen periode worden, met behulp van rekenmodellen, halfuurwaarden geproduceerd van de in de berekening in te zetten klimaatparameters.

In een digitaal computerprogramma wordt tenslotte op een zeer bepaalde wijze gemanipuleerd met het bestand getallen van de woning en van de klimaatvariabelen, om tenslotte het gewenste resultaat van de berekening te verkrijgen.

Om de bruikbaarheid van een dergelijke rekenwijze na te gaan is de berekende warmtebehoefte van de flatwoning vergeleken met de in werkelijkheid verzamelde cijfers van het warmteverbruik, gebaseerd op het gasverbruik voor de verwarming van deze woning.

Als bij het vergelijken van berekening en meting de voorspellende berekening voldoende betrouwbaar blijkt te zijn, is het mogelijk eveneens door berekening, vooraf te voorspellen wat de baten zullen zijn als gevolg van bouwkundige en andere maatregelen, die men overweegt om energie te besparen.

Gedurende het stookseizoen 1973–1974 zijn in een flat-

woning te Kijkduin door de bewoner met een nimmer aflatende nauwgezetheid dagelijks gasmeterstanden genoteerd. De thermostaat was voor de dagperiode op 21 °C ingesteld en voor de nachtperiode op 15 °C. Beide waarden waren ingesteld op de schaalverdeling van de thermostaat. Als een zeer nuttige indicatie van de weersomstandigheden van dag tot dag heeft de bewoner ook notities gemaakt ten aanzien van buiten- en binnentemperatuur, bezonning, bewolking en wind. Hierdoor is het mogelijk, om de klimaatgegevens die het KNMI ons heeft verstrekt, in ieder geval kwalitatief te verifiëren. Het KNMI heeft namelijk geen weerstation in Kijkduin. De gegevens die door het KNMI voor Kijkduin representatief werden geacht, zijn afkomstig van de stations Hoek van Holland, Scheveningen, Valkenburg, Katwijk en Naaldwijk.

De warmtebehoefte van de genoemde flatwoning is voor de 6-maandenperiode van november 1973 t/m april 1974 van dag tot dag berekend. Hierbij is uitgegaan van de bouwkundige gegevens van het flatgebouw, die vrij gedetailleerd beschikbaar waren, en de genoemde klimatologische gegevens. Het resultaat van de berekening en de cijfers van het gasverbruik die de bewoner heeft bijgehouden, zullen met elkaar worden vergeleken en nader worden geanalyseerd.

2. ONDERZOCHE FLATWONING

De flatwoning (figuur 1) bevindt zich in Kijkduin op enkele tientallen meters van het strand. Het is een zgn. hoekflat op de bovenste (de vierde) etage vlak onder het dak. Het vloeroppervlak bedraagt 100 m² en de luchthoud is 255 m³. De buitenwanden zijn resp. ZO, ZW en NW ge-



Fig. 1
Aanzicht van de onderzochte woning

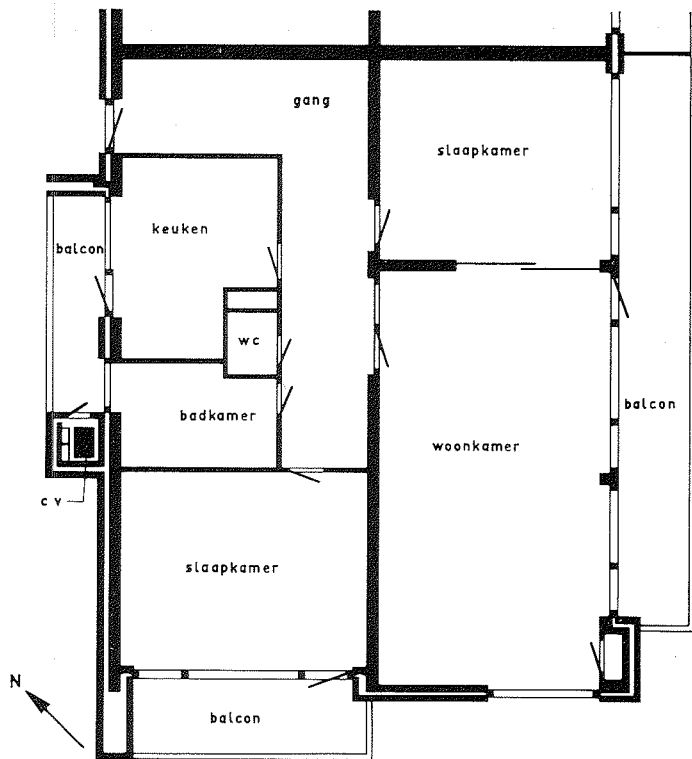


Fig. 2
Plattegrondschem van de
onderzochte woning

oriënterd, en praktisch alle vensters zijn van thermopane glas (dubbel glas) voorzien. Van de bouwkundige samenstelling van wanden, vloer en dak kan in zijn algemeenheid worden gezegd, dat deze een naar Nederlandse begrippen goede warmte-isolatie bieden.

Figuur 2 is de plattegrond die een indruk geeft van de verdeling in diverse ruimten. De berekening is gebaseerd op één en dezelfde temperatuur door het gehele huis. Dit leek verantwoord daar het ons in eerste instantie niet direct ging om de kleine details, zoals verschillen tussen de vertrekken, maar om het gedrag van de woning als geheel. De figuren zijn ontleend aan het boek Binnenklimaat en Energieverbruik, op grote schaal verspreid in januari 1974.

3. VERWERKTE KLIMATOLOGISCHE GEGEVENS

Van de KNMI-uurwaarden van luchttemperatuur, zonstraling op een horizontaal vlak, relatieve zonneschijnduur, bewolking en wind, hebben wij om verschillende redenen voor de simulatie van klimatologische omstandigheden vooreerst slechts de karakteristieke waarden van de fluctuaties van de klimaatvariabelen van dag tot dag ingevoerd in ons rekenmodel. De karakteristieke waarden zijn

voor het temperatuurverloop de minimum en maximum etmaaltemperatuur; voor de bezonning is dit de dagsomwaarde van de globale straling op een horizontaal vlak; voorts de zonnenschijnduur en de bewolking. Met deze waarden, die door de computer van dag tot dag werden ingelezen, werden de halfuurwaarden geproduceerd van temperatuur en bezonning. In dit klimaatprogramma is voorts bijzondere aandacht besteed aan de ontbinding van de globale straling in de componenten directe straling en diffuse straling, die afhankelijk worden gesteld van de combinatie relatieve zonnenschijnduur en bewolking. Ook is voorzien in de berekening van de schaduwinvloed op de directe straling op wanden en vensters, wat bij deze flatwoning o.a. wordt veroorzaakt door de uitstekende dakrand. Ook de reflectie straling van de grond en de omliggende bebouwing is verwerkt.

De ontbinding in de componenten directe en diffuse straling is zeer belangrijk bij de berekening van de bezonning op anders dan horizontaal georiënteerde oppervlakken.

De windgegevens zijn nog niet in het klimaatprogramma verwerkt. De reden hiervoor zult U nog vernemen, als het aspect wind wordt aangesneden.

4. WARMTEBEHOEFTE EN WARMTEVERBRUIK

Zoals reeds vermeld werd is de warmtebehoefte van de flatwoning van halfuur tot halfuur door berekening bepaald, terwijl het gasverbruik dagelijks in de werkelijkheid is genoteerd.

De warmtebalans in een woning ziet er – afgezien van de getalwaarden – in beginsel uit als in figuur 3. De warmtebalans die in onze berekeningen is gebruikt, is een enigszins vereenvoudigde vorm hiervan, echter uitgebreid met de post geaccumuleerde warmte. De warmtebehoefte van de flatwoning is berekend met een warmtebalans, die luidt:

$$Q_{\text{verw}} = Q_{\text{transm}} + Q_{\text{accum}} + Q_{\text{vent}} - Q_{\text{wa.br.}}$$

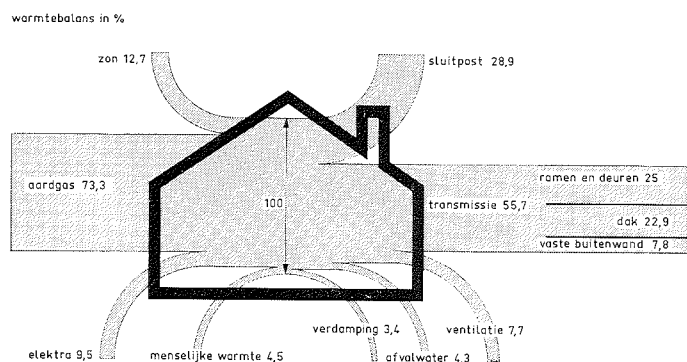


Fig. 3
Warmtestroomverdeling van een woning met goede isolatie en beperkt ventilatievoud

Hierin is:

Q_{transm} = de transmissie warmtestroom door buitenwanden, dak en vensters

Q_{accum} = de accumulatiestroom van binnenwanden, vloer, meubilair, e.d.

Q_{vent} = het warmtetransport door ventilatie

$Q_{\text{wa.br.}}$ = de warmtestroom van andere warmtebronnen dan de c.v. radiatoren. In deze post is de invloed van de directe en diffuse zonstraling opgenomen. Hiervan is de ingestraalde zonnewarmte op zonnige dagen het belangrijkste.

Elk van deze vier warmtestromen wordt van halfuur tot halfuur berekend, en over een etmaal gesommeerd. De som van deze vier warmtestromen per etmaal is dan de totale warmtebehoefte Q_{verw} per etmaal, nodig om de ingestelde thermostaattemperatuur te handhaven.

Door het fluctuerend gedrag van de klimatologische parameters is een rekenproces dat berust op een waardebeoordeling van halfuur tot halfuur onontbeerlijk. Om juiste conclusies te kunnen trekken uit het verschil in werkelijk gasverbruik van dag tot dag, en de berekende warmtebehoefte is enige toelichting op zijn plaats.

Om te beginnen mag niet alle warmte die potentieel in het verstookte gas aanwezig is worden beschouwd als nuttige warmte toegevoerd aan de woning. Er gaat niet alleen warmte verloren via de schoorsteen, maar ook warmte afgegeven door transmissie en straling via de ommanteling van de ketel.

Gezien de plaatsing van de ketel in een geventileerde balkonkast moeten de verliezen via de mantel vrijwel geheel als verlies worden beschouwd. Uit metingen aan de c.v.-ketel, uitgevoerd door de Afdeling Warmte- en Koude-techniek van het CTI-TNO, bleek het gebruiksrendement op 66% gesteld te kunnen worden. Aangezien er nog te weinig bekend is over het dynamisch (d.w.z. fluctuerend) gedrag van natuurlijke luchtinfiltratie in woningen onder invloed van fluctuerende winddrukken die om en over de woning worden opgebouwd, is in het klimaatprogramma de wind uit het klimaatbeeld gehouden en is het ventilatievoud constant op 1 gesteld.

Op het eerste gezicht wijken beide grafieken – de gemeten warmtebehoefte en de berekende warmtebehoefte – nogal van elkaar af (zie de curven boven in figuur 4). Een nadere analyse van de weersomstandigheden op de bewuste dagen maakt dit beeld echter heel wat aannemelijker.

Het verschil kan uiteraard niet worden toegeschreven aan verschillen in fluctuaties van de zoninstraling of de buiten-temperatuur, want deze zijn in de berekeningen verwerkt.

In figuur 4 zijn in de bovenste helft de berekende en de gemeten warmtebehoefte uitgezet.

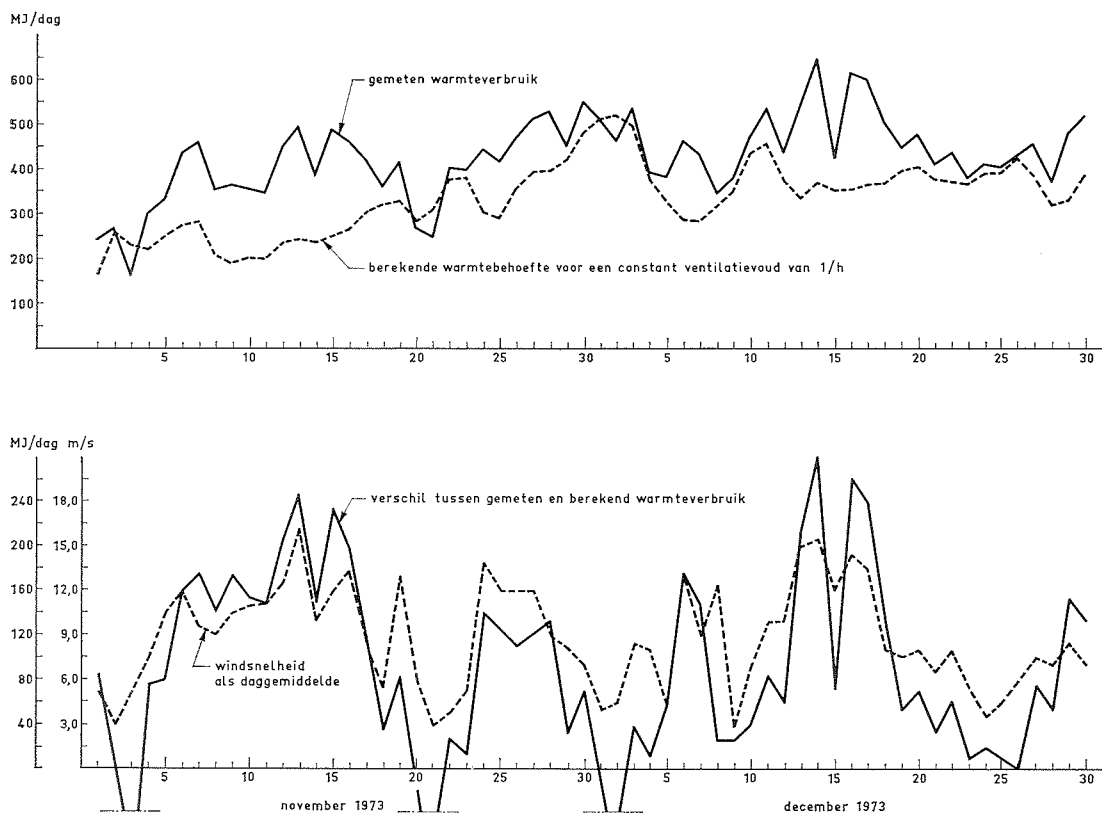


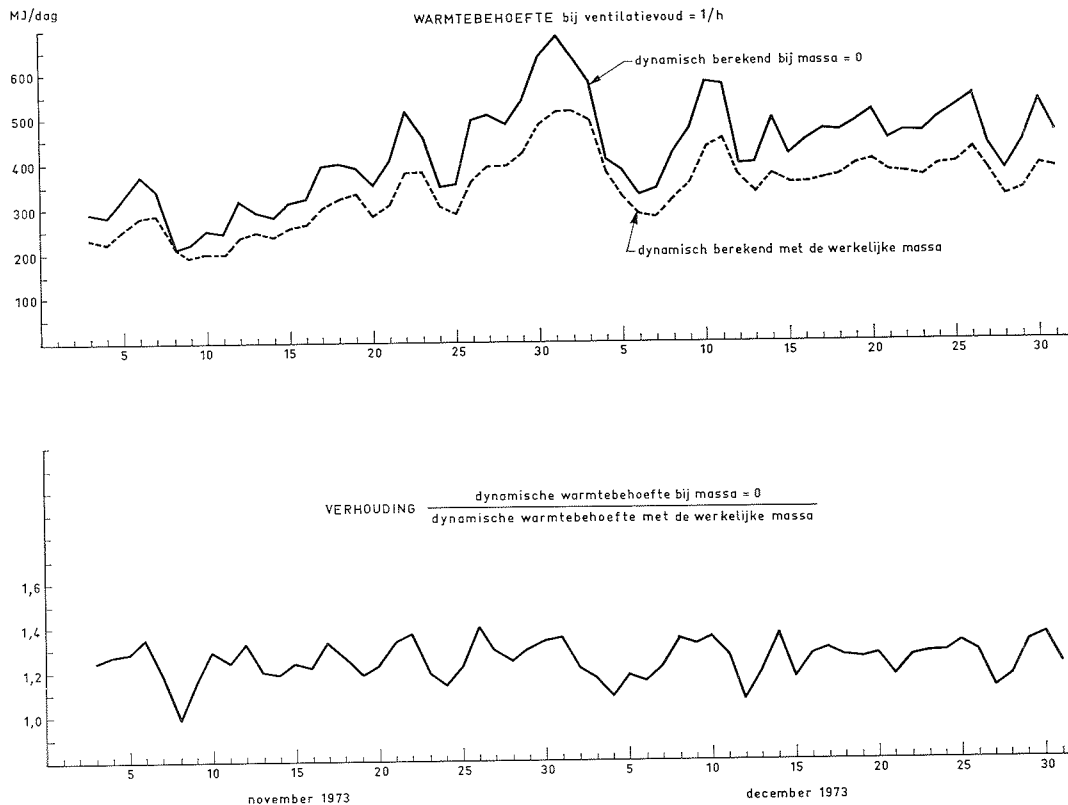
Fig. 4
 Voor de onderzochte woning de gemeten en de berekende warmtebehoefte, het verschil dezer warmtebehoeften, en de windsnelheid in november en december 1973

In de onderste helft van figuur 4 is niet alleen het verschil tussen de genoemde warmteverbruiken uitgezet, maar ook de windsnelheid. Daaruit blijkt dat het verschil tussen berekend en gemeten warmteverbruik grotendeels dezelfde tendenzen vertoont als het verloop van de grootte van de windsnelheid.

De conclusie is dus gerechtvaardigd, dat de wind zeker een belangrijke invloed heeft. Deze invloed zal o.a. kunnen worden toegeschreven aan een verhoogd ventilatievoud en een verhoogde transmissie. De warmtebehoefte zal dus slechts goed kunnen worden voorspeld, als de windinvloed in de berekeningen wordt betrokken. De luchtinfiltratie en het ventilatievoud zullen overigens uiteraard in belangrijke mate mede worden bepaald door de ventilatiegewoonten van de bewoners.

5. WARMTECAPACITEIT VAN DE WONING EN WARMTEBEHOEFTE

Het nemen of voorschrijven van bepaalde maatregelen, met het doel warmteverlies van woningen te beperken of natuurlijke energiebronnen (zonne-energie) zo effectief mogelijk



aan te wenden voor de woningverwarming, dient goed gefundeerd te zijn. Zo zal men door voorspellende berekeningen kwantitatief willen vaststellen, hoe groot de winst is, die bepaalde maatregelen zullen opleveren.

Men hoort veelvuldig dat voor het verbeteren van de warmte-isolatie het verhogen van de warmteweerstand van de buitenwanden van woningen belangrijk is; weinig is bekend in hoeverre ook de massa van de wanden bij de verwarming van de woning daarbij invloed van betekenis zou kunnen hebben.

Om een eerste inzicht in dit probleem te krijgen hebben wij het rekenmodel van de flatwoning dezelfde oorspronkelijke warmteweerstand van de omwandingsdelen laten behouden, echter geheel ontdaan van alle warmte-accumulerende eigenschappen, m.a.w. massa = 0 (hypothetisch geval). Deze 'massaloze' flatwoning is onderworpen aan hetzelfde fluctuerende temperatuur- en bezonningsverloop van dag tot dag. De resultaten van de berekening van de warmtebehoefte van deze 'massaloze' flat en van die met de werkelijke massa worden in figuur 5 met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat er grote verschillen in warmtebehoefte zijn. Onder in de figuur is de verhouding uitgezet. Daaruit blijkt nog eens duidelijk de grote invloed van de aanwezigheid

Fig. 5

De berekende warmtebehoeften voor de onderzochte woning:

- bouwkundig gelijk aan de werkelijkheid
- als a. doch met verwaarlozing van de warmte-accumulatie van de wanden (massaloze woning)

van bouwstofmassa. De warmtebehoefte van de massaloze woning is ruim 20% groter dan de warmtebehoefte van de woning met massa.

Toelichting:

Het effect dat verantwoordelijk is voor de verkregen warmtebesparing in geval van een wand met massa, kan als volgt worden verduidelijkt. In een 'massaloze' wand, dat wil zeggen een wand vervaardigd van bouwstof waarvan het produkt van soortelijk gewicht (sg) en soortelijke warmte (sw) nul is, kan geen warmte worden geaccumuleerd. Dit betekent, dat onder invloed van fluctuerende klimatologische (thermische) omstandigheden aan de ene zijde van de wand en weinig fluctuerende thermische omstandigheden aan de andere zijde, er geen enkel moment kan bestaan dat de wand (althans de binnenste lagen!) een temperatuur bezit, die afwijkt van een recht temperatuurverloop tussen de beide wandoppervlakken op datzelfde moment.

Bij een normale wand daarentegen, d.w.z. een wand van bouwstof met een produkt van sg en sw dat niet gelijk is aan nul, wordt wel warmte geaccumuleerd. Hoe groter het genoemde produkt is, des te groter is het accumulatievermogen.

In de wand met massa zal een niet-recht verloop van de temperatuur kunnen optreden en kunnen er zelfs momenten zijn, waarbij de binnenste lagen van de wand een hogere temperatuur bezitten dan de hoogste van de beide wandoppervlakken. De aanwezigheid van de geaccumuleerde warmte in de wand vormt als het ware een buffer tussen de thermische fluctuaties aan beide zijden van de wand. Door deze warmtebufferwerking zullen niet alle thermische fluctuaties aan de buitenzijde resulteren in een verandering van de warmtebehoefte aan de binnenzijde van de woning. Kleine en vooral relatief snelle warmtefluctuaties aan de buitenzijde worden in eerste instantie vereffend met de afgifte van geaccumuleerde warmte uit de lagen die het dichtst bij het oppervlak aan de buitenzijde gelegen zijn. Voordat de reserves in de diepste lagen worden aangesproken, kan reeds een volgende warmtetoevoer aan de buitenzijde (bijv. zonopstraling) de verloren hoeveelheid van de meest naar buiten gelegen lagen weer aanvullen.

Op deze wijze zullen thermische fluctuaties die zich aan de buitenzijde van de woning manifesteren, meer en minder gesmoord (al naar gelang het accumulatievermogen van de bouwstof en de frequentie van de fluctuaties) tot de binnenzijde van de woning doordringen. Dit komt ook heel duidelijk tot uitdrukking in de fluctuerende verhouding, die onderaan figuur 5 is uitgezet.

Het wezenlijke effect van de energiebesparing wordt echter niet bepaald door het accumulatievermogen alleen, maar

door de combinatie warmteweerstand en accumulatievermogen. Een niet-homogeen samengestelde wand bestaande uit lagen van verschillende bouwstof met de juiste combinatie in fysische eigenschappen, is daar een praktisch voorbeeld van.

6. VOORTZETTING VAN HET ONDERZOEK

De computeruitdraai bevat veel meer informatie over de relaties tussen de klimatologie, de woning en de warmtebehoefte, dan in deze voordracht tot uitdrukking kan worden gebracht. Zo wordt in de uitdraai het aandeel van vele delen van de warmtebehoefte afzonderlijk afgedrukt. Er is dus in de figuren nog slechts een klein deel van de beschikbare informatie gebruikt. Dit is mede veroorzaakt door het feit dat de getallen van de computeruitdraai pas kort geleden in ons bezit zijn gekomen. Deze resultaten zullen aan een uitgebreidere analyse worden onderworpen.

7. CONCLUSIES

- De warmtebehoefte van een woning kan slechts betrouwbaar worden voorspeld, als deze wordt bepaald met een dynamisch rekenproces, waarin onder meer de invloed van de bouwstofmassa en van de wind zijn verwerkt.
- Bij natuurlijke ventilatie heeft de wisselende luchtinfiltratie als gevolg van wisselende windkracht een belangrijke invloed op zowel de grilligheid van het verloop als de grootte van de warmtebehoefte.
- Het is onjuist om de energiebesparingen, die zijn te verkrijgen met betere isolatie, te voorspellen op basis van stationaire beschouwingen welke de invloed van de massa buiten beschouwing laat.
- De aanwezigheid van massa in de omwandingsdelen van de onderzochte woning blijkt een niet geringe vermindering voor de warmtebehoefte te betekenen ten opzichte van het geval, dat de omwandingsdelen zouden zijn vervaardigd van bouwstoffen die wel dezelfde warmteweerstand bezitten, maar geen massa (bijv. schuim- en cellenstoffen).

