

**BROEIKASGASEMISSIES  
VAN GEBOUWEN**  
**EEN VERGELIJKING TUSSEN  
PUR-SCHUIMEN EN CFK/HCFK-VRIJE  
ISOLATIEMATERIALEN**

J.R. YBEMA  
J.M. BAIS

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat Generaal Milieubeheer van het ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, onder projectnummer 661.100-01.

## ABSTRACT

The annual greenhouse gas emissions from heating and from insulation material from various buildings under Netherlands climatic conditions have been evaluated for different insulation material alternatives. This ranking of insulation materials with respect to global warming has been done for the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The comparison between insulation materials was directed to polyurethane (PU) foam with CFCs or HCFCs as blowing agent and common-used (H)CFC-free insulation materials, like mineral wool and expanded polystyrene (EPS). A heat balance model was used to assess the effects of insulation material on heating. Walls, roof and floor were insulated at the same time. CFC and HCFC emissions were transformed in CO<sub>2</sub> equivalent emissions by using the Global Warming Potential (GWP) concept. Sensitivity runs have been performed with high and low GWP values, different climatic conditions and various (H)CFC emission rates.

The results for the four building types (old and newly built single family dwelling, old and newly built factory building) were similar. PU foam blown with CFC-11, of which the use is currently being limited, had highest CO<sub>2</sub> equivalent emission in all cases, due to the high GWP of CFC-11. Despite the lower insulating properties of mineral wool, EPS and HCFC-123 or HCFC-141b blown PU foam, buildings insulated with these materials appear to have much lower CO<sub>2</sub> equivalent emissions than those insulated with CFC-11 blown PU foam. Buildings insulated with PU foam blown with HCFC-22 or with HCFC-142b have considerable CO<sub>2</sub> equivalent emissions, and seem, with respect to global warming, rather poor alternatives for CFC-11 blown PU foam.

## KEYWORDS

ALTERNATIVES  
BLOWING AGENT  
BUILDINGS  
CFCs  
CO<sub>2</sub> EQUIVALENT  
FACTORY BUILDING  
GLOBAL WARMING POTENTIAL  
GREENHOUSE GAS EMISSIONS  
HCFCs  
HEAT BALANCE  
INSULATION MATERIAL  
POLYURETHANE FOAM  
SINGLE FAMILY HOUSE



# INHOUD

ABSTRACT	3
1. INLEIDING	7
2. BEREKENINGSMETHODIEK EN MODELSTRUCTUUR	8
2.1 Modelschema	8
2.2 Emissies door verwarming	8
2.3 Emissies door isolatie	9
2.4 Methodiek	10
3. ONDERBOUWING VAN PARAMETERS	11
3.1 Isolatiematerialen	11
3.1.1 Warmtegeleiding-coëfficiënten van isolatiematerialen	11
3.1.2 (H)CFK-inhoud	12
3.1.3 Productie-emissies	12
3.1.4 Isolatiematerialen en specifieke toepassingen	12
3.2 Referentiegebouwen	13
3.2.1 Referentie doorzonwoning (nieuwbouw)	13
3.2.2 Referentie renovatiewoning	13
3.2.3 Referentie bedrijfshal nieuwbouw en renovatie	14
3.3 Klimaatgegevens	14
3.4 Global Warming Potentials	14
3.5 Uiteindelijke bestemming van CFK's en HCFK's uit PUR-schuim	16
4. RESULTATEN	17
4.1 Vergelijking tussen isolatiematerialen	17
4.2 Resultaten onzekerheidsanalyses	18
4.2.1 Gevoeligheid voor Global Warming Potentials	19
4.2.2 Gevoeligheid voor variatie in (H)CFK-emissies uit isolatie	19
4.2.3 Gevoeligheid voor klimaatvariabelen	20
4.2.4 Gevoeligheid voor rendement van warmte-opwekking	20
5. CONCLUSIES	22
LITERATUUR	23
BIJLAGE A: Warmtegeleiding-coëfficiënten van isolatiematerialen.	25
BIJLAGE B1: Gebouwgegevens referentie doorzonwoning (nieuwbouw) [11]	27
BIJLAGE B2: Gebouwgegevens referentie renovatiewoning [12]	31
BIJLAGE B3: Gebouwgegevens referentie bedrijfshal nieuwbouw en renovatie [13]	33



# 1. INLEIDING

Voor de isolatie van woningen en andere gebouwen worden verschillende produkten gebruikt. CFK-geblazen polyurethaanschuim (PUR) is één van deze produkten. Gemeten naar de warmteoverdracht per cm isolatiemateriaal heeft PUR-schuim zeer goede isolerende eigenschappen.

In verband met de schadelijke effecten van CFK's op de ozonlaag wordt op korte termijn het gebruik ervan sterk gereduceerd [1,2]. Met ingang van 1 januari 1995 zullen CFK's daardoor ook niet meer als blaas-/isolatiemiddel voor PUR-schuim mogen worden gebruikt.

Het is niet duidelijk of dit beleid vanuit de optiek van het broeikas effect gunstig is. Het isoleren van gebouwen vermindert immers energiegebruik voor verwarming en reduceert daarmee de uitstoot van het broeikasgas CO<sub>2</sub>. Daartegenover staat dat de huidige blaasmiddelen voor PUR-schuim een sterke directe broeikaswerking hebben en dat de emissie van een deel van de in PUR-schuim aanwezige CFK's onvermijdelijk is.

In dit project zijn CFK-geblazen PUR-schuim en HCFK-geblazen PUR-schuim (de HCFK's zijn een voor de hand liggend vervangend blaasmiddel voor CFK's) met andere vaak gebruikte isolatiematerialen vergeleken op grond van hun effect op broeikasgasemissies. De som van broeikasgasemissies die bij verwarming en isolatie van een bepaald gebouw zijn betrokken is voor elk van de isolatiematerialen berekend. Met deze 'broeikas effect-waarde' zijn isolatiematerialen met elkaar vergeleken.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor een standaard eengezinswoning en voor een standaard bedrijfshal. Voorts zijn de berekeningen onderscheiden naar standaard nieuwbouw en standaard renovatie.

Kostenaspecten van isolatiematerialen zijn in deze studie niet beschouwd.

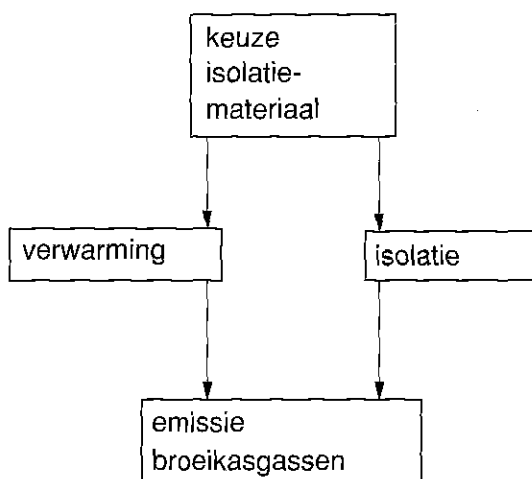
De emissie van CO<sub>2</sub> die gepaard gaat met verwarming van de woningsector is verantwoordelijk voor bijna 14% van de jaarlijkse Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissie en 8,5% van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-equivalente broeikasgasemissie. Nederland stond in 1986 aan kop wat betreft het marktaandeel voor PUR-schuim in de isolatiebranche. Dit volume-aandeel was 16% en is sindsdien iets kleiner geworden als gevolg van de uitvoering van het huidige beleid [1]. Het gebruik van CFK-houdend PUR-schuim als isolatiemateriaal voor woningen draagt hiermee momenteel voor 3% bij aan de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-equivalente emissie in Nederland.

In hoofdstuk 2 is aan de hand van een modelschema de methode voor de berekeningen weergegeven. In hoofdstuk 3 is de onderbouwing van een aantal voor de berekening noodzakelijke parameters gegeven. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de berekeningen. In hoofdstuk 5 zijn tenslotte de belangrijkste conclusies gepresenteerd.

## 2. BEREKENINGSMETHODIEK EN MODELSTRUCTUUR

### 2.1 Modelschema

In figuur 2.1 wordt in een eenvoudig schema de essentie van de berekeningen weergegeven. De keuze van een isolatiemateriaal beïnvloedt zowel de broeikasgasemissie van ruimteverwarming als de broeikasgasemissie van isolatie. Door deze emissies te sommeren wordt een 'broeikaseffect-waarde' van een isolatiemateriaal voor een gebouw verkregen.



Figuur 2.1. Keuze isolatiemateriaal en emissies van broeikasgassen.

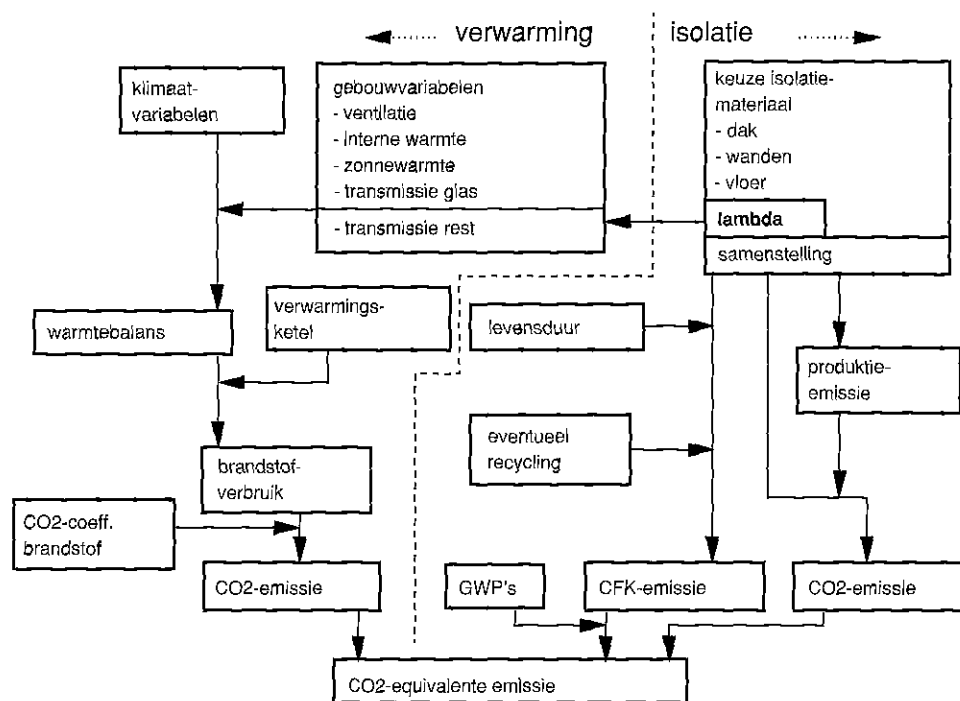
Een groot aantal variabelen, startend vanaf de keuze voor een isolatiemateriaal, bepaalt de grootte van de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie. Figuur 2.1 is nader uitgewerkt tot het structuurschema van het zelf ontwikkelde rekenmodel dat voor de berekeningen is gebruikt (zie figuur 2.2). Het gebruikte model is een spreadsheet model in Symphony en draagt de naam WIEBE (Woningisolatie En Broeikasgas Emissies).

Het deel links van de stippellijn in figuur 2.2 geeft de componenten aan die deel uitmaken van de berekening van de CO<sub>2</sub>-emissie die met verwarming gepaard gaat (zie paragraaf 2.2). Het rechter gedeelte van het modelschema geeft de onderdelen voor de berekening van broeikasgasemissies verbonden met isolatiemateriaal (zie paragraaf 2.2). De som van de in CO<sub>2</sub>-equivalenten uitgedrukte broeikasgasemissies kan beschouwd worden als de 'broeikaseffect-waarde' van een isolatiemateriaal geldend voor een bepaald bouwtype.

### 2.2 Emissies door verwarming

De warmtebalans van een gebouw staat centraal in de berekening van de uit verwarming voortkomende CO<sub>2</sub>-emissies. Gewerkt is met een voor het stookseizoen gemiddelde stationaire warmtebalans, zoals beschreven in [3]. Aan één kant van de balans staan de winstposten: zoninstraling, interne warmteproductie (van mensen en apparaten) en bijstook. Aan de andere kant van balans staan de verliesposten: transmissie en ventilatie. Om te compenseren voor niet stationaire effecten en voor de benuttingsgraad van zoninstraling en interne warmte zijn correctiefactoren ingevoerd. Transmissie en ventilatie zijn afhankelijk van klimaatvariabelen (aantal graaduren). Voor de afzonderlijke bouwtypen liggen verschillende posten van de warmtebalans vast. Zontoetredingsfactoren en bewonersgedrag (binnentemperatuur, ventilatiegedrag en interne warmte) zijn niet veranderd. Door de





Figuur 2.2. Structuurschema voor berekening van broeikasgasemissies van woningisolatie.

keuze van isolatiemateriaal wordt de transmissie door wanden, dak en vloer gewijzigd. De andere verliesposten (ventilatie en transmissie door glas) worden niet door de keuze van het isolatiemateriaal beïnvloed. Bijstook vormt de restpost in de warmtebalans. De voor bijstook benodigde brandstof wordt berekend met het rendement van de verwarmingsketel. De met het brandstofverbruik gepaard gaande jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie is berekend met de CO<sub>2</sub>-emissie coëfficiënt van de verbruikte brandstof (in principe is dat aardgas). Zie verder ook bijlage B.1.

## 2.3 Emissies door isolatie

De keuze van een isolatiemateriaal (wel of geen PUR-schuim) bepaalt of er bij isolatie wel of geen (H)CFK-emissies zijn betrokken. De CO<sub>2</sub>-emissies voor productie van isolatiemateriaal worden ook beschouwd. De voor isolatie benodigde hoeveelheid isolatiemateriaal wordt berekend uit gegevens over de referentiegebouwen. Er wordt van uitgegaan dat het grootste deel van de in PUR-schuim opgeslagen (H)CFK uiteindelijk in de atmosfeer terecht komt (potentiële emissies). Als gevoeligheidsanalyse wordt de gecontroleerde verwerking van een deel van het sloopafval beschouwd. De (H)CFK-emissies zijn met behulp van Global Warming Potentials (GWP's) omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalente emissies. Vanwege de grote onzekerheidsmarge in GWP-waarden, is een onzekerheidsanalyse met hoge en lage GWP's uitgevoerd.

Om aan te sluiten bij de berekening van broeikasgasemissies bij verwarming zijn broeikasgasemissies op jaarbasis berekend. De totale emissies van broeikasgassen van isolatiematerialen over de levensduur van een isolatiemateriaal zijn daarvoor gedeeld door de levensduur.

## 2.4 Methodiek

Een modelrun begint met de keuze van een isolatiemateriaal. De verschillende isolatiematerialen worden vergeleken door om beurten elk materiaal afzonderlijk te gebruiken voor de isolatie van het gehele gevel-, dak- en vloeroppervlak van de gebouwen. Hierbij is voor elk isolatiemateriaal met een zelfde dikte per toepassing gewerkt.

### 3. ONDERBOUWING VAN PARAMETERS

#### 3.1 Isolatiematerialen

Een groot aantal produkten, vaak leverbaar in verschillende uitvoeringen, is beschikbaar om gebouwen te isoleren. Niet al deze produkten zijn van belang voor de vraagstelling van deze studie. De isolatiematerialen die relatief slechte isolerende eigenschappen hebben (o.a. gasbeton, glasschuim, schuimbeton, UF-schuim, kurk, zachthout en perliet) zijn niet in beschouwing genomen. Ook nieuwe isolatiematerialen die nog niet op grote schaal worden gebruikt (resol) of zich in de demonstratie- of laboratoriumfase bevinden (gas filled panels, 'soft' en 'hard' vacuümpanelen [4] en translucente isolatie) zijn buiten beschouwing gelaten. In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op de eigenschappen van isolatiematerialen: warmtegeleidende eigenschappen (3.1.1), CFK-inhoud (3.1.2), produktie-emissies (3.1.3) en specifieke toepassingen (3.1.4).

##### 3.1.1 Warmtegeleiding-coëfficiënten van isolatiematerialen

De warmtegeleiding-coëfficiënt (ook wel lambda-waarde genoemd) van een materiaal bepaalt de isolerende eigenschappen. Hoe hoger de lambda-waarde, des te beter geleidt het materiaal de warmte en des te slechter isoleert het. Het valt niet mee om aan isolatiematerialen één lambda-waarde toe te kennen; deze waarde kan namelijk verschillen als gevolg van kwaliteitsverschillen en leeftijd van het materiaal (zie ook paragraaf 3.5). De lambda-waarden waar in deze studie mee gewerkt is, zijn aangegeven in tabel 3.1; deze gelden als gemiddelde waarden voor de levensduur van de materialen.

Voor PUR-schuimen geldt dat de lambda-waarde voor een belangrijk deel afhankelijk is van de geleidende eigenschappen van het gebruikte blaasmiddel. CFK-11 heeft de laagste warmtegeleiding-coëfficiënt.

Tabel 3.1. Warmtegeleiding-coëfficiënten ( $W/m.K$ ) voor isolatiematerialen in plaattoepassingen.

isolatiemateriaal	lambda
geëxpandeerd PS ((H)CFK-vrij)	0,035
glaswol	0,035
steenwol	0,035
PUR/CFK-11	0,024
PUR/HCFK-22	0,029
PUR/HCFK-123	0,028
PUR/HCFK-141b	0,027
PUR/HCFK-142b	0,028

De lambda-waarde van PUR-schuim is laag (en dus goed) in vergelijking met andere, veel gebruikte isolatiematerialen (bijvoorbeeld minerale wol/PS). Voor PUR-schuimen geblazen met HCFK-123 en -141b zijn de lambda-waarden berekend met informatie van [19]. Voor het bepalen van de lambda-waarden van HCFK-22 en HCFK-142b is gebruik gemaakt van de in [8] aangegeven berekeningsmethodiek en de molecuulgewichten van de blaasmiddelen. Een meer gedetailleerde onderbouwing van de warmtegeleiding-coëfficiënten is gegeven in bijlage A.

Overigens is er bij de selectie van alternatieve blaasmiddelen voor PUR-schuim geen rekening gehouden met overwegingen met een industrieel politiek karakter.

### 3.1.2 (H)CFK-inhoud

De hoeveelheid (H)CFK, die zich in een toepassing bevindt, is berekend met het volume aan isolatiemateriaal, de dichtheid van het isolatiemateriaal en het gewichtspercentage (H)CFK.

Het volume isolatiemateriaal wordt vanuit gebouwgegevens berekend (oppervlakten van gevel, vloer en dak en breedte van spouwen). Standaard is gerekend met een dichtheid voor PUR-schuim van  $40 \text{ kg/m}^3$  [6,7]. Daarnaast is gerekend met een PUR-schuim met een dichtheid van  $34 \text{ kg/m}^3$  (zie 4.2.2). Het gewichtspercentage van CFK-11 in 'klassiek' PUR-schuim is 12% [8]. Voor de PUR-schuimen die met HCFC's worden geblazen is ook met dit percentage gewerkt.

### 3.1.3 Productie-emissies

De productie van isolatiematerialen vraagt energie, doorgaans geleverd in de vorm van fossiele energiedragers en elektriciteit. Hiermee gaan emissies van  $\text{CO}_2$  gepaard. Verwacht werd dat deze emissies onbelangrijk zijn ten opzichte van de broeikasgasemissies door verwarming en uit CFK-bevattend isolatiemateriaal. Voor een tweetal typen isolatiemateriaal zijn energiegegevens met betrekking tot het productieproces verzameld:

#### **Kunststofschuimen**

Bij de productie van 1 kg polystyreneschuim was in de jaren '70 113 MJ nodig (55 MJ uit gasprodukten, 50 MJ uit olieprodukten en 8 MJe [9]). Momenteel kan men toe met ongeveer de helft van deze hoeveelheid energie [22]. Dit komt overeen met een emissie van 4 kg  $\text{CO}_2/\text{kg PS}$ . [10] vermeldt een energiegebruik voor de productie van PUR-hardschuim van 80 MJ/kg PUR, overeenkomend met ongeveer 5 kg  $\text{CO}_2/\text{kg PUR}$ .

#### **Minerale wol**

Voor het productieproces van 1 kg steenwol is 14 MJ aan energie nodig. Dit betekent een  $\text{CO}_2$ -emissie van 1,4 kg  $\text{CO}_2/\text{kg steenwol}$ .

Het energiegebruik voor de kunststofschuimen is dus hoger dan voor de minerale isolatiematerialen.

De door over de levensduur isolatie vermeden  $\text{CO}_2$ -emissie is in de orde van 500 kg  $\text{CO}_2$  per kg isolatiemateriaal. Aangezien de bijdrage van de  $\text{CO}_2$ -productie-emissies aan de totale jaarlijkse  $\text{CO}_2$ -equivalente emissies van een gebouw zeer gering (0,5% tot 2% van de door het aanbrengen vermeden  $\text{CO}_2$ -emissie), zijn de productie-emissies in de verdere evaluatie niet meegenomen.

De emissies van (H)CFK tijdens de productie van (H)CFK's en PUR-schuimen worden onder paragraaf 3.4 beschreven.

### 3.1.4 Isolatiematerialen en specifieke toepassingen

Niet alle isolatiematerialen kunnen in alle toepassingen worden gebruikt. Overigens laten de meeste toepassingen wel een groot aantal isolatiematerialen toe, soms evenwel met lichte aanpassingen [14]. In de beschrijving van de referentiegebouwen worden voor iedere isolatietoepassing een PUR-schuim en een alternatief isolatiemateriaal aangegeven. Minerale wol (steenwol, glaswol) en geëxpandeerd polystyreen zijn de alternatieven waarvoor gekozen is; deze materialen hebben beiden een lambda-waarde van 0,035 W/K.m (zie tabel 3.1).

## 3.2 Referentiegebouwen

Voor de berekening van de warmtebalansen van gebouwtypen is uitgegaan van gebouwen die in andere studies waren omschreven. Als nieuwbouw eengezinswoning is een doorzonwoning [11] gekozen. Voor de eengezins renovatiewoning is gebruik gemaakt van de beschrijving van [12]. Als bedrijfspand is "fabriek, groot, langwerpig, plat dak, 15% kantoorruimte" uit [13] genomen. In alle gebouwen wordt voor verwarming gebruik gemaakt van aardgas als brandstof.

Bij geen van de gebouwtypen zijn bouwkundige veranderingen uitgevoerd, teneinde een nauwe aansluiting met de aannamen voor de referenties te behouden. In bijlage B zijn invoerparameters voor de warmtebalansen, tekeningen van gevels en plattegronden getoond.

### 3.2.1 Referentie doorzonwoning (nieuwbouw)

De Novem nieuwbouw referentie doorzonwoning [11] heeft een oppervlak van 141 m<sup>2</sup>, bezit een drietal slaapkamers en een zolder en is geplaatst in een blok van 8 woningen. De thermische isolatie van de woning voldoet aan de eisen die sinds april 1990 van kracht zijn. De gevels en het dak hebben een warmteweerstand  $R_c=2,5$  (m<sup>2</sup>.K/W). De woning is op de begane grond en op de slaapkamers voorzien van dubbel glas. De isolatie is daarmee beter dan wordt vereist (enkel glas in de slaapkamers is voldoende). De warmtebalansen wordt berekend voor de gemiddelde woning uit een blok. Eén achtste van de transmissie door de twee kopse gevels van het blok wordt aan de woning toegerekend.

In de referentiesituatie is gebruik gemaakt isolatiematerialen met redelijk goede isolatie-eigenschappen. De kopgevels en de andere gevels zijn geïsoleerd met 75 mm minerale wol. De vloer is geïsoleerd met vulelementen van polystyreen. Het dak bevat 90 mm minerale wol.

De woning wordt verwarmd met een individuele cv-installatie met radiatoren. De standaard ketel heeft een rendement van 72% op bovenwaarde. Op onderwaarde bedraagt dit rendement 80%.

De overige gebouwspecifieke invoerparameters voor de warmtebalansberekening en plattegronden van de woning zijn in bijlage B.1 gegeven.

### 3.2.2 Referentie renovatiewoning

In 1984 heeft Urbibouw Bredero B.V. in opdracht van het PEO te Utrecht een onderzoek verricht naar het na-isoleren van seriewoningen en de invloed van de na-isolatie op de verwarming en de ventilatie. De tijdens de voorstudie van dit project opgestelde warmtebalansen van woningtype 5.1A, is gebruikt [12].

De gebruikte woning is representatief voor de grote series tussen 1960 en 1974 gebouwde eengezinswoningen, die niet of nauwelijks zijn geïsoleerd.

Genoemd type is een woning met twee lagen en een plat dak, geplaatst in een blok van 6 woningen. Beneden bevinden zich woonkamer en keuken. Op de verdieping bevinden zich drie slaapkamers. De gevels en het dak hebben in de niet-geïsoleerde situatie een warmteweerstand van ongeveer  $R=0,8$  m<sup>2</sup>.K/W, de warmteweerstand van de vloer is ongeveer 0,55 m<sup>2</sup>.K/W. De kierdichting is een zwak punt in het bouwsysteem.

De warmtebalansen voor de renovatie woning in de referentiesituatie is gebaseerd op de mix van isolatiematerialen zoals die door Urbibouw wordt beschreven voor hun renovatiestudie. Dan worden ook isolatiematerialen gebruikt die minder goede warmtegeleidende eigenschappen hebben (gipsplaat en UF-schuim).

Meer informatie over deze woning is in bijlage B.2 gegeven.

### 3.2.3 Referentie bedrijfshal nieuwbouw en renovatie

Met behulp van informatie uit [13] zijn twee warmtebalansen voor een bedrijfshal (een matig en een goed geïsoleerde versie) gemodelleerd. In [13] is deze hal omschreven als een middelgrote fabriek (oppervlak 100mx50m) met een plat dak; 15% van de ruimte heeft een kantoorfunctie. Het aantal werknemers bedraagt 225. De warmteweerstand van dak, vloer en gevel bedraagt in de matig geïsoleerde versie ongeveer  $R = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$ , in de goed geïsoleerde versie is  $R = 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  (gevel, vloer) of  $R = 2 \text{ m}^2\text{K/W}$  (dak). Het glasoppervlak beslaat  $400 \text{ m}^2$ . Beide gebouwen kennen geen andere interne warmteproductie dan door verlichting en door de aanwezigheid van mensen; er is dus geen warmteproductie van productieprocessen verondersteld, bijstook is er natuurlijk wél. Een korte omschrijving van gebouwparameters is in bijlage B.3 gegeven.

## 3.3 Klimaatgegevens

Een drietal onderdelen (warmte door zoninstraling, transmissie en ventilatie) van de warmtebalans wordt mede beïnvloed door klimatologische variabelen. In de beschrijvingen van de warmtebalansen van de verschillende gebouwtypen zijn de klimaatvariabelen al grotendeels vastgelegd voor gemiddelde Nederlandse situaties.

De transmissie op een bepaald moment wordt bepaald door het verschil tussen de binnentemperatuur ( $T_i$ ) en de buitentemperatuur ( $T_u$ ). In deze studie is met een over het stookseizoen gemiddeld verschil tussen  $T_i$  en  $T_u$  gerekend. Vermenigvuldiging van dit getal met de lengte van het stookseizoen levert het aantal graaduren. Het aantal graaduren voor de woning (58003 K.uur) verschilt van het aantal graaduren van de bedrijfshal (51034 K.uur).

De regionale variatie in het aantal graaduren binnen Nederland bedraagt 10%. De variatie in graaduren tussen Nederland en andere landen is groter.

## 3.4 Global Warming Potentials

Het vergelijken van de emissies van CFK's en HCFK's met de emissies van  $\text{CO}_2$  zal worden gedaan door omrekening met behulp van het begrip Global Warming Potential (GWP). De definitie van het begrip GWP en onzekerheden die er mee gemoeid zijn worden hieronder behandeld.

Het potentieel van een hoeveelheid broeikasgasemissie om het klimaat te veranderen wordt bepaald door: 1) de eigenschappen van het gas om warmtestraling (infrarood) te absorberen; 2) de gemiddelde levensduur van een gas in de atmosfeer na de emissie en 3) eventuele effecten van het gas op de concentratie van andere gassen die over warmte-absorberende eigenschappen beschikken. Elk van de het drietal bovengenoemde eigenschappen varieert aanzienlijk per broeikasgas. Teneinde de verschillende broeikasgassen onderling vergelijkbaar te maken is uit het drietal eigenschappen één index geformuleerd, de Global Warming Potential (GWP). De indirecte broeikaswerking van CFK's en HCFK's (eigenschap 3) zal in het onderstaande niet worden meegenomen. Hiermee wordt aangesloten bij de wijze waarop [14] GWP's van (H)CFK's heeft geconstrueerd.

De GWP van de emissie van een broeikasgas is de over tijd geïntegreerde bijdrage aan verandering van de atmosferische warmtebalans door één kilogram broeikasgas ten opzichte van die van één kilogram CO<sub>2</sub>:

$$GWP = \frac{a_i \int_0^n c_i dt}{a_{CO_2} \int_0^n c_{CO_2} dt}$$

Hierin is  $a_i$  de capaciteit voor warmte-absorptie van één kilogram van een broeikasgas in de atmosfeer  $i$  ten opzichte van de capaciteit voor warmte-absorptie van één kilogram toename van CO<sub>2</sub>,  $c_i$  is de fractie van broeikasgas  $i$  dat op tijd  $t$  na de emissie nog in de atmosfeer aanwezig is en  $n$  is het aantal jaren waarover de berekening is uitgevoerd (de tijdshorizon). In de noemer staat hetzelfde produkt als in de teller, echter nu voor CO<sub>2</sub>. De GWP van CO<sub>2</sub> is per definitie gelijk aan 1; daarom kan de GWP gebruikt worden om emissies van andere gassen om te rekenen naar CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Het gebruik en de berekening van het begrip GWP gaat gepaard met een aantal praktische problemen. Een aantal van deze problemen gelden ook voor de CFK's en de HCFK's:

- Wetenschappelijke onzekerheden omtrent de atmosferische levensduur en de capaciteit voor warmte-absorptie van gassen. De onzekerheidsmarges zijn van een zodanige grootte, dat voor het vergelijken van isolatiematerialen een gevoeligheidsanalyse met hoge en lage GWP's voor broeikasgassen gewenst is.
- De keuze van een tijdshorizon voor de berekening van de GWP is mede bepalend voor de berekende GWP-waarde. De centrale vraag is in hoeverre toekomstige effecten op het klimaat van huidige broeikasgasemissies meegewogen moeten worden. Indien het doel van 'broeikaseffect-beleid' is de totale toename van de temperatuur te verkleinen dan is een lange tijdshorizon (tussen 100 jaar en oneindig) relevant. Wanneer het doel is de snelheid van temperatuur te beheersen dan is een kortere tijdshorizon (kortere dan 100 jaar) van toepassing. Voor de vergelijking tussen HCFK's, die een relatief korte atmosferische verblijftijd hebben, en CO<sub>2</sub> heeft de keuze van de tijdshorizon grotere consequenties voor de GWP-waarde, dan voor de 'lang-levende' CFK's.

In deze studie zijn als standaard de midden GWP-waarden gebruikt (zie tabel 3.2). In de lage en de hoge GWP-waarden [17] zijn de wetenschappelijke onzekerheden verwerkt. De tabel geeft ook aan hoe de schattingen zich verhouden tot de GWP-waarden van het IPCC [14]. [14] is niet gebruikt omdat onzekerheden in GWP's daar niet zijn aangegeven. Alle GWP's in tabel 3.2 zijn voor een 'gemiddelde' tijdshorizon van 100 jaar berekend.

Tabel 3.2. Global Warming Potentials (GWP's) van broeikasgassen gebruikt als blaasmiddel voor PUR-schuimen volgens [17], IPCC waarden uit [14].

gas	laag	hoog	midden	PCC
CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
CFK-11	1473	3971	2408	3500
HCFK-22	669	2253	1279	1500
HCFK-123	36	120	69	85
HCFK-141b	157	559	308	440
HCFK-142b	651	2130	1225	1600

De HCFK's hebben een lagere GWP dan CFK-11. De GWP van HCFK-22 is aanzienlijk groter dan de GWP van HCFK-123 en -141b. Het grootste deel van de onzekerheden is toe te schrijven aan onzekerheden in de omrekening van (H)CFK-emissies naar CO<sub>2</sub>-equivalente emissies (koolstofkringloop); de onzekerheidsmarges voor GWP-waarden van afzonderlijke HCFK's en CFK's is veel kleiner.

### 3.5 Uiteindelijke bestemming van CFK's en HCFK's uit PUR-schuim

Er is een drietal fasen in de levensduur van PUR-schuim waarin emissie van het blaasmiddel naar de atmosfeer plaatsvindt: de produktiefase, de gebruiksfase en de afvalfase.

Schattingen betreffende de emissie van CFK-11 tijdens de **produktie** van CFK-11/PUR-schuim ten opzichte van de hoeveelheid CFK die voor het schuim nodig is variëren van 5 tot 10% [18]. Hier is gerekend met produktieverliezen van 5%. De emissies bij de produktie van het CFK-11 zijn gesteld op 1% van de doorzet. Dit is iets lager dan in [18] is gerapporteerd. HCFK-geblazen PUR-schuim wordt nog niet op een commerciële schaal gefabriceerd. In welke mate de HCFK-emissies bij produktie afwijken van de CFK-emissies is niet bekend. In de berekeningen zijn de emissies van HCFK's gelijk verondersteld aan de CFK-emissies.

In de **gebruiksfase** vindt diffusie van CFK-11 uit PUR-schuim plaats. Hierdoor verandert de lambda-waarde van het isolatiemateriaal. Dit treedt ook op bij PUR-schuim dat is afgedekt met laminaat. Eenduidige cijfers over de hoeveelheid CFK-11 die zich na de gebruiksfase van het PUR-schuim nog in het schuim bevinden zijn nog niet beschikbaar. Momenteel onderzoekt TAUW Infraconsults in opdracht van VROM hoeveel CFK-11 nog aanwezig is in het PUR-schuim van woningen die gesloopt worden. In afwachting van de resultaten van TAUW-onderzoek is gerekend met een diffusie-coëfficiënt van 1,0% per jaar [18]. Dan ontsnapt in 75 jaar (levensduur van woningen) ongeveer de helft van het in PUR-schuim aanwezige CFK-11. In 40 jaar (levensduur bedrijfshal) diffundeert 33% van de CFK-11. Ten aanzien van de diffusieprocessen in het schuim verwacht men weinig verschil voor HCFK-123 en -141b ten opzichte van CFK-11 [19].

De mate waarin (H)CFK's, die in het begin van de **afvalfase** nog in het isolatiemateriaal aanwezig zijn, in de atmosfeer terecht zullen komen is afhankelijk van de wijze van verwerking. Bij de huidige sloopprijktijken zal een groot deel van de nog aanwezige (H)CFK vrijkomen. Vervolgens kan het PUR-schuim met het overige bouw- en sloopafval worden gestort, verbrand of herverwerkt. Hier is er van uitgegaan dat conform de huidige situatie het merendeel van het afval gestort wordt en de resten PUR-schuim niet gecontroleerd zullen worden verwerkt. Blijkens patentaanvragen voor PUR-verwerkingsprocessen kan dit in de nabije toekomst wel gebeuren [20,21]. Er is aangenomen dat onder invloed van grote krachten tijdens de sloop en op de stort alle (H)CFK uit het sloopafval in de atmosfeer terecht komt.

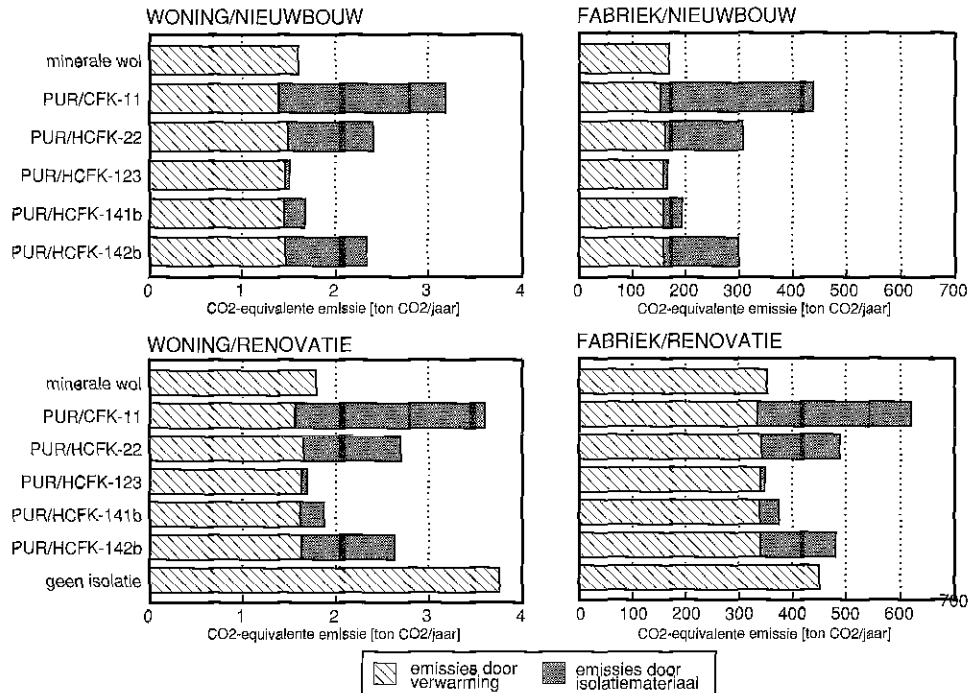
Voor de netto-emissies gedurende de levenscyclus is als standaard uitgegaan van de **potentiële emissies**. Deze emissies omvatten alle emissies uit de drie fasen waartussen onderscheid was gemaakt (106% van het in de isolatietoepassing aanwezige (H)CFK. Hiernaast is als onzekerheidsanalyse een berekening uitgevoerd voor een situatie waarbij de emissie bij de produktie en in de afvalfase nul verondersteld zijn. Impliciet betekent dit een lekvrij produktieproces en een proces waarbij 100% van het CFK-11 uit PUR-sloopafval wordt teruggewonnen.



## 4. RESULTATEN

### 4.1 Vergelijking tussen isolatiematerialen

De resultaten in hoofdstuk 4 zijn tot stand gekomen na berekeningen met het spreadsheet-model WIEBE. In figuur 4.1 zijn de belangrijkste resultaten van de berekeningen bij elkaar gebracht. De vier grafieken geven de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie van een gebouw (links voor de woningen, rechts voor de fabriekshal) per stookseizoen aan; daarbij is aangegeven welk deel van de emissies voortkomt uit verwarming en welk deel uit het isolatiemateriaal.

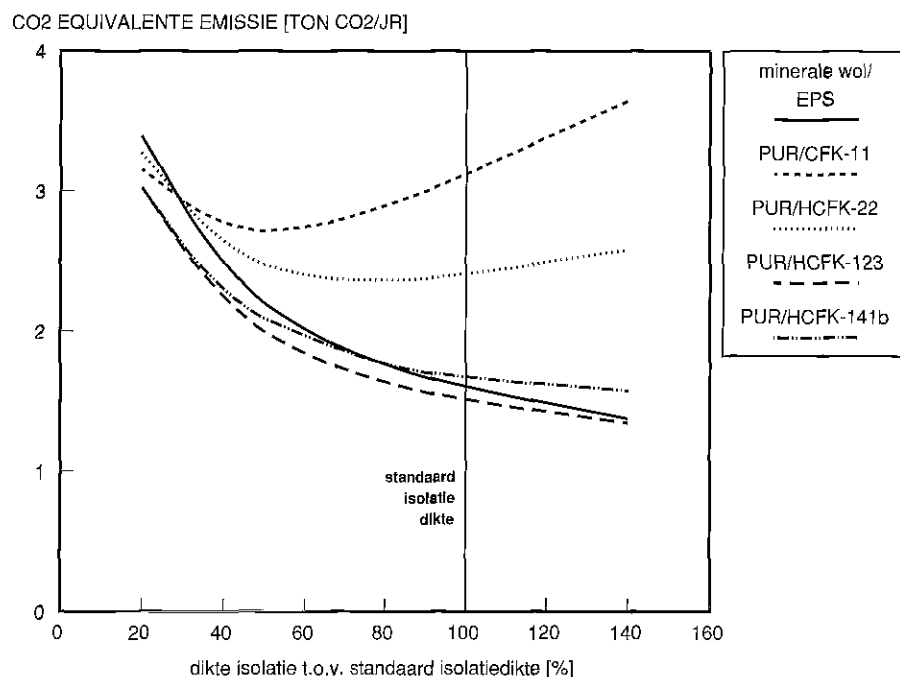


Figuur 4.1. CO<sub>2</sub>-equivalente emissies voor verschillende isolatiematerialen vanuit verwarming en isolatiemateriaal voor twee gebouwtypen en nieuwbouw en renovatie.

De volgorde van de afzonderlijke isolatiematerialen met betrekking tot CO<sub>2</sub>-equivalente emissie of de 'broeikasewerking-waarde' is zeer vergelijkbaar voor de nieuwbouw- en renovatiewoning. Isolatie met PUR/HCFK-123 schuim is vanuit broeikas-optiek het meest aantrekkelijk. Isolatie met minerale wol, PS en PUR/HCFK-141b schuim geeft aan woningen een iets hogere CO<sub>2</sub>-equivalente emissie. De CO<sub>2</sub>-emissie van elk van deze isolatiematerialen is ongeveer 1,6 ton CO<sub>2</sub>/woning.jaar. De met CFK-11 en met HCFK-22 en HCFK-142b geblazen PUR-schuimen zijn vanuit broeikasoptiek de slechtere isolatie-alternatieven. Voor PUR/CFK-11 schuim geldt dat het voordeel van de laagste warmtegeleiding van de hier beschouwde isolatiematerialen volkomen teniet wordt gedaan door de sterke broeikaswerking van het CFK-11. In vergelijking met minerale wol of PS wordt door het aanbrengen van PUR-schuim met CFK-11 de CO<sub>2</sub>-emissie uit verwarming met ongeveer 0,2 ton CO<sub>2</sub> verminderd. Hiertegenover staat een emissietoename van 1,7 ton CO<sub>2</sub>-equivalent via de CFK uit het isolatiemateriaal. De CO<sub>2</sub>-equivalente emissie van woningen die met PUR/CFK-11 zijn geïsoleerd is bijna zo groot als van niet-geïsoleerde woningen.

Bij de bedrijfshal is de volgorde van de isolatiematerialen wat betreft hun CO<sub>2</sub>-equivalente emissie gelijk aan de volgorde bij de woningen (zie rechterdeel figuur 4.1). Bij de matig geïsoleerde renovatie fabriekshal blijkt dat het aanbrengen van PUR/CFK-11, PUR/HCFK-22 of PUR/HCFK-142b zelfs minder gunstig is vanuit broeikasoptiek dan het handhaven van de slechte isolatie-situatie.

In figuur 4.2 is geïllustreerd hoe de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie varieert als functie van de dikte van isolatie voor de eengezins nieuwbouwwoning. In de werkelijkheid is het een onrealistische situatie dat de dikte van het aangebrachte isolatiemateriaal kan worden gewijzigd. Het laat echter duidelijk zien hoe de emissies uit verwarming en uit isolatiemateriaal op tegengestelde wijze de totale CO<sub>2</sub>-equivalente emissies beïnvloeden.



Figuur 4.2. CO<sub>2</sub>-equivalente emissies voor de nieuwbouw eengezinswoning als functie van de dikte van het aangebrachte isolatiemateriaal.

Bij een geringe dikte (20% van de referentie, d.w.z. ongeveer 15 mm) scoren minerale wol en polystyreen relatief slecht, doordat de warmtegeleiding-coëfficiënt van deze materialen hoger is dan van de PUR-schuimen. Wanneer de dikte van het isolatiemateriaal toeneemt daalt de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie van minerale wol en polystyreen sneller dan bij de PUR-schuimen (bij de PUR-schuimen neemt de emissie van (H)CFK lineair toe met de dikte van het isolatiemateriaal, minerale wol en PS kennen geen materialen gebonden emissies) en behoort daardoor al snel tot de isolatiematerialen met de laagste CO<sub>2</sub>-equivalente emissies. Bij courante dikten (100%; ongeveer 75 mm isolatiemateriaal) behoren minerale wol en polystyreen, in termen van de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie van de woning, al tot de beste isolatiematerialen. CFK-11-geblazen PUR-schuim behoort, door de hoge GWP van CFK-11, al vanaf een dikte van 40% van de standaard dikte tot de, uit broeikasoptiek gezien, slechtste alternatieven.

Uit bovenstaande kan verder geconcludeerd worden dat in het geval een nieuwbouwwoning is geïsoleerd volgens  $R=3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  de vergelijking tussen PUR-schuimen en minerale wol of polystyreen verder in het voordeel van minerale wol en PS uitvalt.

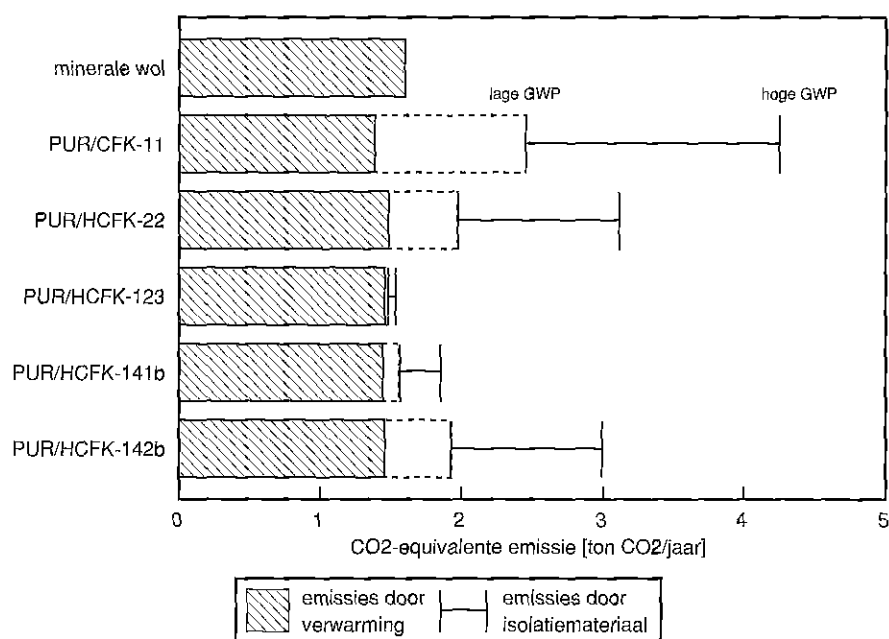
## 4.2 Resultaten onzekerheidsanalyses

Een aantal parameters die in WIEBE worden gebruikt kunnen worden gewijzigd omdat er onzekerheden bestaan (GWP's) of omdat verschillende aannames mogelijk zijn (ketelrendement, aantal graaduren, mate van (H)CFK-recycling). Hier zijn achtereenvolgens analyses uitgevoerd om te testen in hoeverre de resultaten worden beïnvloed door het kiezen van hoge en lage GWP's (4.2.1), vermindering emissies van (H)CFK's uit het PUR-schuim (4.2.2), verandering van klimaatvariabelen (4.2.3) en wijziging van het rendement van de

warmte-opwekking (4.2.4). De onzekerheidsanalyses zijn alleen uitgevoerd met de nieuwbouw eengezinswoning; gezien de éénsluidende resultaten voor de verschillende woningtypen lijkt dit gerechtvaardigd.

#### 4.2.1 Gevoeligheid voor Global Warming Potentials

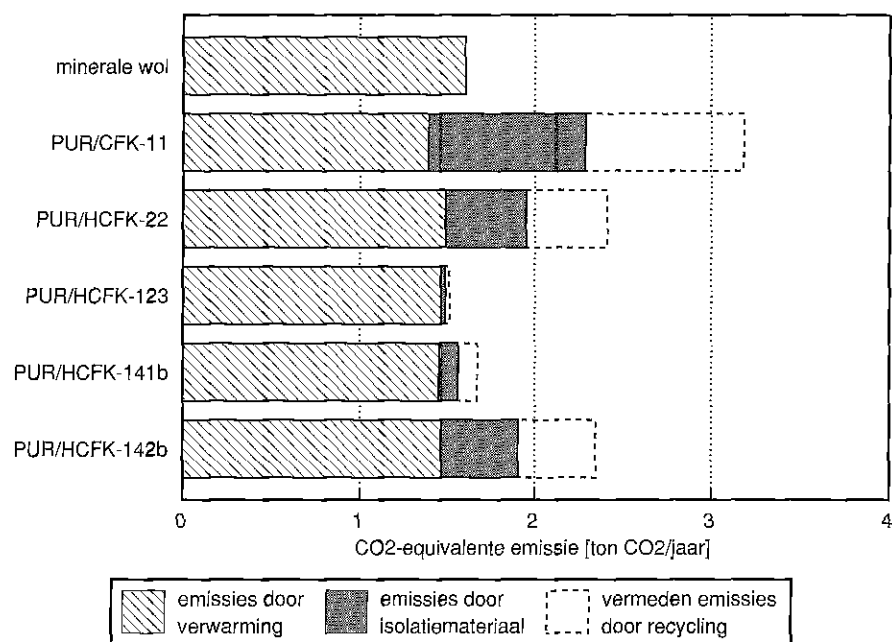
In paragraaf 3.4 zijn de onzekerheden omtrent GWP's aangegeven. Zoals in 3.4 al is omschreven zijn deze onzekerheidsmarges vooral het gevolg van onzekerheden in de omrekening van (H)CFK-emissies naar CO<sub>2</sub>-equivalente emissies. Als aanvullende berekeningen is voor de eengezins nieuwbouwwoning gerekend met de hoge en lage GWP's uit tabel 3.2 (zie figuur 4.3). Duidelijk blijkt dat de berekende waarde voor de totale broeikasgasemissie van gebouwen gevoelig is voor de wetenschappelijke onzekerheden omtrent GWP's. Hoewel de ranges groot zijn, treedt geen wijziging op in de conclusies over de volgorde van isolatiematerialen met betrekking tot CO<sub>2</sub>-equivalente emissies.



Figuur 4.3. CO<sub>2</sub>-equivalente emissies voor verschillende isolatiematerialen vanuit verwarming en isolatiemateriaal voor nieuwbouw eengezinswoning. CFK- en HCFK-emissies zijn met lage en hoge GWP's omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalente emissies.

#### 4.2.2 Gevoeligheid voor variatie in (H)CFK-emissies uit isolatie

De emissies bij produktie van CFK's en PUR-schuim zijn voor deze variant op 0% gesteld, evenals de CFK-emissies in de afvalfase. Daardoor zijn bij deze analyse de (H)CFK-emissies voor woningen en bedrijfshal respectievelijk 50% en 33% van de potentiële emissies, zoals gegeven in de standaard berekeningen (paragraaf 4.1). Figuur 4.4 geeft de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie van de alternatieven aan voor de eengezins nieuwbouwwoning; de volgorde van isolatiematerialen met betrekking tot hun broeikasgasemissie ondervindt geen verandering als gevolg van recycling van (H)CFK's uit PUR-schuim. De PUR-schuimen geblazen met CFK-11, HCFK-22 en HCFK-142b behouden hoge CO<sub>2</sub>-equivalente emissies.



Figuur 4.4. CO<sub>2</sub>-equivalente emissies voor verschillende isolatiematerialen vanuit verwarming en isolatiemateriaal voor nieuwbouw eengezinswoning. Gevoeligheidsanalyse waarbij emissies van CFK of HCFK tijdens schuimproductie en vanuit afvalfase op nul zijn gesteld.

Ook indien een lichter schuim wordt gebruikt ( $34 \text{ kg/m}^3$  in plaats van  $40 \text{ kg/m}^3$ ) treden geen veranderingen op in de volgorde van isolatiematerialen met betrekking tot hun effect op CO<sub>2</sub>-equivalente emissies.

#### 4.2.3 Gevoeligheid voor klimaatvariabelen

Bij een kleiner aantal graaduren verbetert de positie van minerale wol en polystyreen ten opzichte van de PUR-schuimen met betrekking tot de CO<sub>2</sub>-equivalente emissie. Bij een groter aantal graaduren neemt het relatieve verschil in broeikasgasemissies af. Voor de woningen is het aantal graaduren met 10% veranderd. Voor de fabriekshal is het aantal graaduren met 25% verhoogd, om de omstandigheden te simuleren waarbij een hal een constante temperatuur van minstens 23 °C nodig heeft voor een bepaald fabricageproces.

Bovengenoemde variaties in klimaatomstandigheden geven een lichte verbetering van de goed isolerende PUR-schuimen (geblazen met CFK-11 en HCFK-142b) ten opzichte van bijvoorbeeld minerale wol/PS. De verbetering is echter onvoldoende om een volgordewijziging van isolatiemateriaalopties te geven.

Alleen indien het aantal graaduren meer dan tweemaal zo hoog is dan het aantal graaduren waarmee hier is gerekend kunnen wijzigingen in de conclusies optreden. Dit geldt mogelijk voor de isolatie van huishoudelijke koelapparaten, zeker indien ook de hoge specifieke CO<sub>2</sub>-emissie voor elektriciteit in beschouwing wordt genomen.

#### 4.2.4 Gevoeligheid voor rendement van warmte-opwekking

Het rendement van de verwarmingsinstallatie bepaalt mede de CO<sub>2</sub>-emissies van een woning. De huidige ketels hebben veelal een rendement tussen 75 en 95% (op onderste verbrandingswaarde). Gasgestookte warmtepompen hebben een rendement van ongeveer 140%. Bij een hoog rendement is minder aardgas nodig voor bijstook; de CO<sub>2</sub>-emissie voor

verwarming vermindert hierdoor, zodat de concurrentiepositie van minder goed isolerende isolatiematerialen verbeterd ten opzichte van het goed isolerende CFK-11 geblazen PUR-schuim.

Aannamen met betrekking tot het rendement van warmteopwekking spelen een kleine rol in vergelijking tot de onzekerheden omtrent de GWP's van broeikasgassen en aannamen omtrent CFK/HCFK-emissies.

## LITERATUUR

- [1] Ministerie van VROM (1990), CFK aktieprogramma - Een samenwerkingsproject van overheden en bedrijfsleven.
- [2] Nationaal Milieubeleidsplan (NMP), ISSN 0921-7371, SDU uitgeverij 's Gravenhage, mei 1989.
- [3] ISSO-publikatie 16: De jaarlijkse warmtebehoefte van woningen; energiegebruiksberekeningen per vertrek en totaal. Stichting ISSO. Rotterdam (1987)
- [4] Barrito & Associates, Inc., Fabrication, evaluation and application of evacuated panel insulation (EPI) to portable coolers, prepared for DOE Office of Buildings and Community Systems, DE-AC05-840r21400, March 1990.
- [5] CFK Aktieprogramma - een samenwerkingsproject van overheden en bedrijfsleven, jaarrapportage 1990, CFK-commissie, mei 1991.
- [6] Isobar, produktinformatie: Ministore - de milieuvriendelijke koel- en vrieskamer voor handel en privé, 1990.
- [7] Poly, produktinformatie: Polyurethaan systemen, 1990.
- [8] Boom, Milieukundig onderzoek en ontwerp buro (1989), Milieu-effecten van kunststofschuim in de bouw, met name PUR- en PIR-schuim. Rapport
- [9] Boustead, I and G.F. Hancock, Handbook of industrial energy analysis, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, England, 1979.
- [10] Schriftelijke medeling G. Wouters, VITO, Mol, België, 26 juli 1991.
- [11] Novem, Nederlandse maatschappij voor energie en milieu B.V., Referentie Doorzonwoning, 1990.
- [12] Urbibouw B.V., Voorstudie praktijktoetsing integraal na-isoleren van seriewoningen (en bijlagen), Afdeling Bouwfysica, postbus 1147, Nieuwegein.
- [13] MISSET - Beheer en onderhoud, Kenmerken gebouwen, nr 154 (oktober 1987).
- [14] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Report prepared for IPCC by Working Group 1 / Science, June 1990.
- [15] Bouwwereld, Nummer 21a, oktober 1989, jaargang 85.
- [16] Schnell et al., Decrease of summer tropospheric ozone concentrations in Antarctica, Nature, Vol 351, 726-729, 1991.
- [17] Ybema, J.R. On comparing emissions of greenhouse gases, ECN-Rx-90-082, Petten, the Netherlands, September 1990.
- [18] Gamlen, P.H., B.C. Lane, P.M. Midgley and J.M. Steed, The production and release to the atmosphere of CCL<sub>3</sub>F and CCL<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (chlorofluorocarbons CFC 11 and CFC 12), Atmospheric Environment, Vol 20, No 6, pp 1077-1085, 1986.
- [19] Dow Benelux B.V., Ecology Dept., Brief 4 juli 1989 aan IVEM - projectgroep CFK's.
- [20] Schriftelijke informatie C. Kreijns, Coolrec B.V., Synrec Management Advies Bureau, februari 1991.
- [21] Produktinformatie CFK aftapproces, Nido Universal Machnies B.V., maart 1991.
- [22] Mondelinge mededelingen van de heer Wittenberg, Dow Benelux, september 1991.

## BIJLAGE A: Warmtegeleiding-coëfficiënten van isolatiematerialen.

Warmtegeleiding-coëfficiënten van veel gebruikte isolatiematerialen bevinden zich doorgaans tussen de waarden 0,020 en 0,050 W/m.K. De lambda-waarde van PUR-schuim is laag (en dus goed) in vergelijking met andere isolatiematerialen. Verschillende bronnen (voornamelijk produktinformatie) vermelden uiteenlopende lambda-waarden voor PUR/CFK-11 (zie tabel A.1).

Tabel A.1. Lambda-waarden (W/m.k) en dichtheden ( $\text{kg/m}^3$ ) voor PUR-schuim volgens verschillende bronnen.

bron	dichtheid	lambda-waarde	bijzonderheden
Bouwwereld	$\pm 34$	0,016	nieuw
Bouwwereld	$\pm 34$	0,026	maximaal
Boom		0,014	theor. minimum
Boom		0,039	theor. maximum
Boom	34	0,026	rekenwaarde
Urbibouw BV		0,026	
Isobar	40	0,0214	
Isobar	40	0,023	
Salco		0,026	
Pol	41	0,020	
NVPU		0,026	toegestane max.
Aliso BV		0,026	zonder CFK
Insta-foam		0,028	sputbus/HCFK-22

De spreiding van lambda-waarden in tabel A.1 wordt veroorzaakt door verschillen in PUR-schuim met betrekking tot kwaliteit (celstructuur, soortelijk gewicht van schuim), afdekking en ouderdom.

De lambda-waarde van PUR-schuim is opgebouwd uit een drietal onderdelen:  $\lambda_{\text{gas}}$ ,  $\lambda_{\text{struct}}$  en  $\lambda_{\text{straling}}$ . De  $\lambda_{\text{gas}}$  is van deze drie veelal het grootst. De combinatie van de afdekking en de ouderdom van het PUR-schuim bepaalt in sterke mate de  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarde. De  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarde van PUR-schuim verslechtert door enerzijds diffusie van lucht in de celstructuur (daar was na de fabricage een onderdruk) en anderzijds diffusie van CFK's naar buiten. Bij niet afgedekte PUR-schuim, zoals PUR-schuim uit spuitbussen vindt snel (1 tot 3 maanden) diffusie van lucht in de celstructuur plaats. Tussen dampdichte lagen, zoals in sandwichpanelen, gebeurt dit minder snel [Boom]. Met betrekking tot diffusie van het gas is weinig verschil geconstateerd tussen de HCFK's -123 en -141b en CFK-11 [Dow]. Verondersteld is dat de  $\lambda_{\text{gas}}$  van alle PUR-schuimen (excl PUR/lucht) in paneeltoepassingen gedurende de levensduur verslechterd met gemiddeld 0,04 W/m.K. De  $\lambda_{\text{gas}}$  van PUR-schuim in spuitbustoeepassingen verslechterd met 0,06 W/m.K.

$\lambda_{\text{struc}}$  en  $\lambda_{\text{straling}}$  zijn voor deze studie constant verondersteld voor alle typen PUR-schuim op een waarde van gezamenlijk 0,012 W/m.K. [bouwwereld] meldt dat de  $\lambda_{\text{tot}}$ -waarde van CFK/PUR-schuim altijd lager blijft dan 0,026 W/m.K blijft. In deze studie zal worden gewerkt met een lambda-waarde voor CFK-11/PUR-schuim met een dichtheid van  $40 \text{ kg/m}^3$  van 0,024 W/m.K voor paneeltoepassingen van PUR en 0,026 W/m.K voor PUR uit spuitbussen.

Het molecuulgewicht van het gas dat zich in de cellen van PUR-schuim bevindt bepaalt de  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarde. Met behulp van figuur 3.1 [Boom] zijn de  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarden van alternatief geblazen (lucht,  $\text{CO}_2$ , HCFK-22, HCFK-142b) PUR-schuim berekend (zie tabel

3.1). De  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarden voor de overige schuimen komen uit [19]. De totale  $\lambda$ -waarden voor de schuimen in sandwich- en in spuitbustoeepassingen van de schuimen zijn ook weergegeven. Er is bij de selectie van alternatieve PUR-schuimen geen rekening gehouden met technische produkt overwegingen noch met overwegingen met een industrieel politiek karakter.

Tabel A.2.  $\lambda$ -waarden en  $\lambda_{\text{gas}}$ -waarden (W/m·k) voor PUR-schuimen met verschillende blaasmiddelen. De  $\lambda_{\text{tot}}$ -waarden gelden als levensduurgemiddelde waarden voor PUR-schuim tussen dampdichte lagen.

blaasmiddel	$\lambda_{\text{gas}}$	sandwich $\lambda_{\text{tot}}$	spuitbus $\lambda_{\text{tot}}$
CFK-11	0,0079	0,024	0,026
lucht	0,024	0,036	0,036
CO <sub>2</sub>	0,0155	0,032	0,0335
HCFK-22	0,0121	0,029	0,031
HCFK-123	0,01058	0,028	0,0296
HCFK-141b	0,0100	0,027	0,029
HCFK-142b	0,011	0,028	0,030



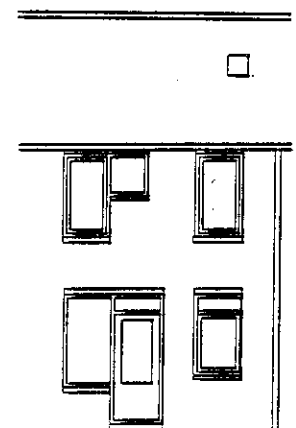
# BIJLAGE B1: Gebouwegegevens referentie doorzonwoning (nieuwbouw) [11]

## Kosten per woning (1 - 1 - 1990, inclusief BTW)

	<i>(Rc = 2,5)</i>	<i>(Rc = 3,0)</i>
Gezuiverde stichtingskosten	fl. 120.482,00	fl. 120.832,00
Huur per maand	fl. 614,80	fl. 617,70
Onderhoudskosten per jaar	fl. 807,00	<i>(als Rc = 2,5)</i>
Energiekosten per jaar	fl. 1.441,35	fl. 1.420,10

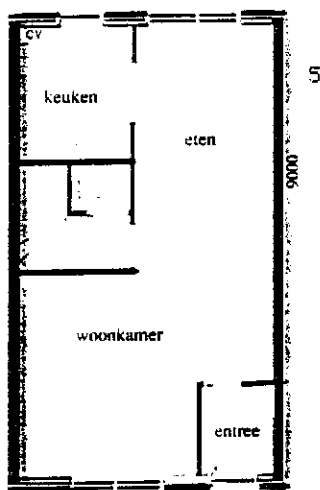
## Energiegebruik per woning per jaar

<b>Gas</b>	<i>(Rc = 2,5)</i>	<i>(Rc = 3,0)</i>
- Ruimteverwarming	904 m <sup>3</sup> gas	859 m <sup>3</sup> gas
- Warm tapwater	551 m <sup>3</sup> gas	<i>(als Rc = 2,5)</i>
- Koken	68 m <sup>3</sup> gas	<i>(als Rc = 2,5)</i>
<b>Elektriciteit:</b>	2709 kWh	<i>(als Rc = 2,5)</i>

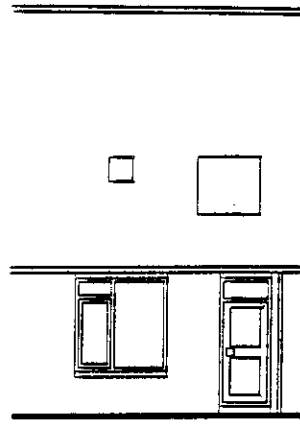


achtergevel

5100

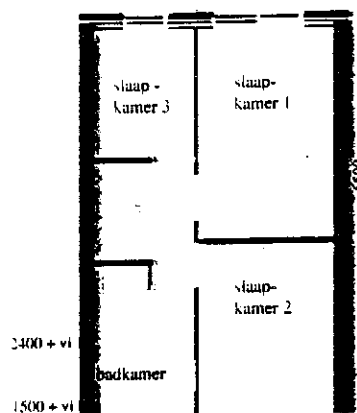


begane grond



voorgevel

5100



verdieping

De berekeningsmethode voor de bepaling van de warmtebehoefte van een woning die in ISSO 16 wordt behandeld, berekent:

- bruto warmtestromen door een raam (warmtetransmissie  $Q_{tr}$  en zontoetreding  $Q_z$ );
- bruto warmtestromen door de niet-transparante buitenomhulling (transmissie  $Q_{tr}$ );
- warmteverlies door ventilatie ( $Q_{ve}$ );
- warmte-uitwisseling met aangrenzende vertrekken;
- interne warmteproductie ( $Q_{int}$ ).

De verschillende elementen die de warmtebalans over een heel seizoen bepalen kunnen worden geordend tot de som van alle in- en uitkomende warmtestromen.

$$Q_{uit} = \sum Q_{tr} + \sum Q_{ve} \text{ [kWh]}$$

$$Q_{in} = Q_{int} + \sum Q_z \text{ [kWh]}$$

$Q_{uit}$  = totaal bruto transmissieverlies door buitenomhulling inclusief ramen + bruto warmteverlies door ventilatie [kWh]

$Q_{in}$  = totale bruto zontoetreding door de ramen + interne warmteproductie per stookseizoen [kWh]

$Q_{tr}$  = bruto transmissie warmteverlies per stookseizoen [kWh]

$Q_{ve}$  = bruto ventilatie warmteverlies per stookseizoen [kWh]

$Q_{int}$  = bruto hoeveelheid warmte door interne bronnen per stookseizoen

$Q_z$  = bruto hoeveelheid warmte door zontoetreding per stookseizoen

Deze stationaire warmtebalans wordt voor dynamisch gedrag gecorrigeerd door correctiefactoren toe te passen op de

#### doorzonwoning:

constructie	a	A	k
vloer	0,5	45,90	0,64
dak	1,0	62,56	0,38
voorgevel	1,0	8,40	0,36
achtergevel	1,0	20,05	0,36
dubbelglas voorgevel	1,0	3,55	3,20
dubbelglas achtergevel	1,0	4,31	3,20
dakraamen voorgevel	1,0	2,40	3,20
dakraam achtergevel	1,0	0,16	5,90
kozijnen/ramen/deuren	1,0	6,91	1,80

warmtestromen (a en b). Deze correctiefactoren zijn afhankelijk van toepassing van dag- en/of nachtverlaging en van de massa van het gebouw. Voor woning zijn dergelijke factoren bekend. De warmtebehoefte kan nu worden afgeleid:

$$Q_{wb} = a * Q_{uit} - b * Q_{in} \text{ [kWh]}$$

$Q_{wb}$  = warmtebehoefte gedurende het stookseizoen [kWh]

a = correctiefactor [-]

b = correctiefactor [-]

Hieruit volgt het gasverbruik, welke verder nog wordt bepaald door de verbrandingswaarde van de gebruikte energiedrager  $H_s$  ( $H_{s, \text{aardgas}} = 9,72 \text{ kWh/m}^3$ ) en het gemiddelde gebruiksrendement van de verwarmingsinstallatie  $\eta_{gem}$ . Voor het gasverbruik geldt dan:

$$Q_{en} = Q_{wb} / (\eta_{gem} * H_s) \text{ [m}^3 \text{ aardgas]}$$

$Q_{en}$  = gasverbruik [m<sup>3</sup> aardgas]

$\eta_{gem}$  = gemiddeld verbruiksrendement van de verwarmingsinstallatie [-]

$H_s$  = verbrandingswaarde aardgas op bovenwaarde [kWh/m<sup>3</sup>]

Gedetailleerde informatie over de achtergronden van de berekening en de invoerparameters is te vinden in ISSO publicatie-16, NVN 5125 en het MT-TNO rapport over bewonersgedrag (zie literatuurlijst).

# Oppervlakte- en inhoudsanalyse

## Oppervlakten

<b>A.</b>	<i>woonoppervlakte</i>		
woonkamer	$1,82 \times 3,41 + 4,87 \times 2,28 + 2,70 \times 4,70$	=	30,00 m <sup>2</sup>
keuken	$2,10 \times 2,16 + 1,10 \times 0,07$	=	4,61 m <sup>2</sup>
slaapkamer 1	$2,70 \times 4,21$	=	11,37 m <sup>2</sup>
slaapkamer 2	$2,70 \times 3,12$	=	8,42 m <sup>2</sup>
slaapkamer 3	$2,10 \times 2,56$	=	5,38 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>A. woonoppervlakte</b>			<b>59,78 m<sup>2</sup></b>

<b>B.</b>	<i>binnenwerkskernoppervlakte</i>		
begane grond	$4,87 \times 8,80 - 2,00 \times 0,90$	=	41,06 m <sup>2</sup>
1 <sup>e</sup> verdieping	$4,87 \times 7,40$	=	36,04 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>B: binnenwerkskernoppervlakte</b>			<b>77,10 m<sup>2</sup></b>

<b>C.</b>	<i>bruto oppervlakte</i>		
begane grond	$9,40 \times 5,10$	=	47,94 m <sup>2</sup>
1 <sup>e</sup> verdieping	$9,40 \times 5,10$	=	47,94 m <sup>2</sup>
zolder	$6,70 \times 5,10$	=	34,17 m <sup>2</sup>
berging	$3,75 \times 2,40$	=	9,00 m <sup>2</sup>
kopgevel	$2 \times (9,40 \times 0,235 \times 2 + 6,70 \times 0,235) : 8$	=	1,50 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>C. bruto oppervlakte</b>			<b>140,55 m<sup>2</sup></b>

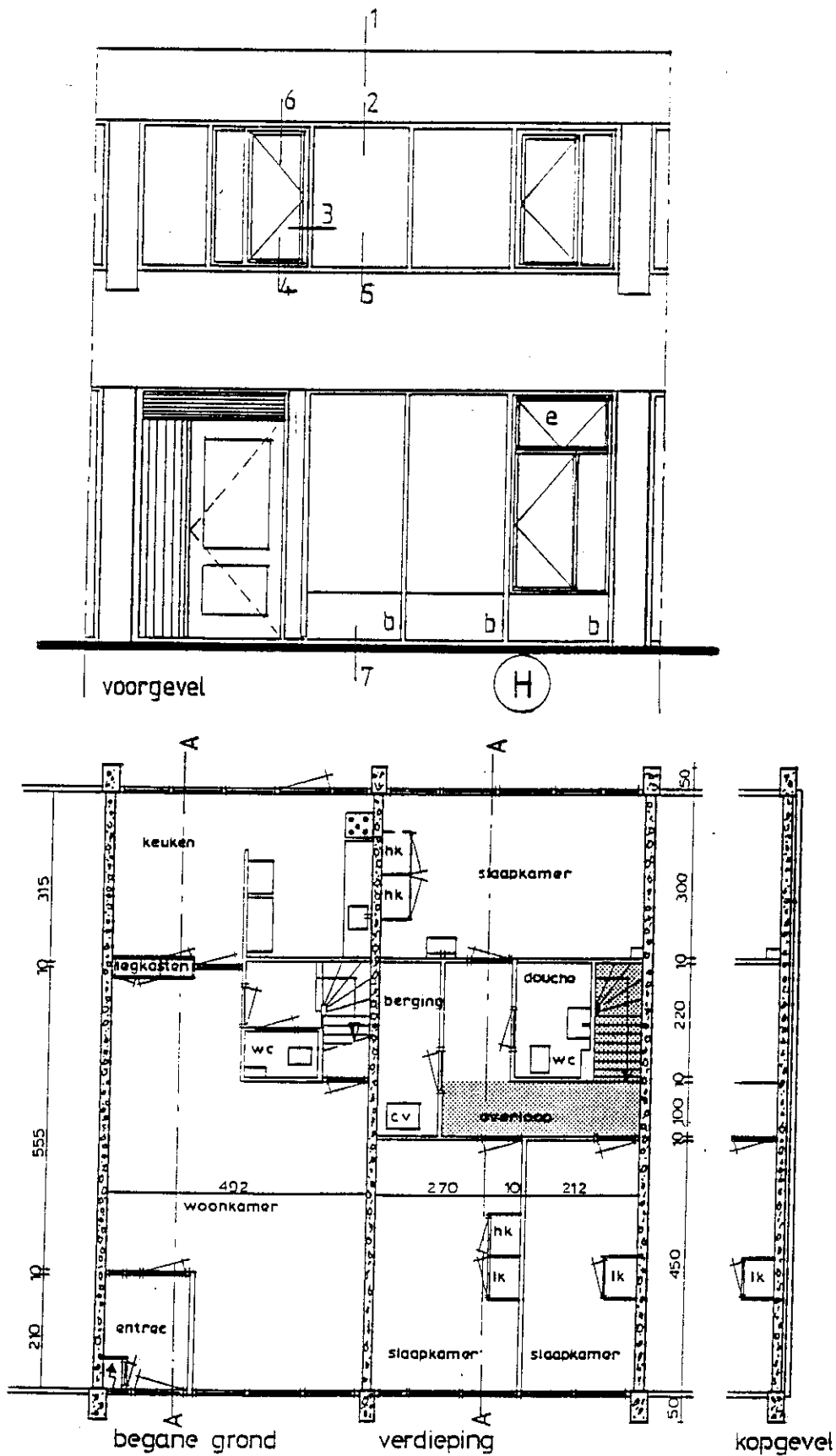
## Inhoud

woning	$(9,40 \times 2,70 + 8,05 \times 2,70 + 6,70 \times 3,35 \times 0,5) \times 5,10$	=	297,52 m <sup>3</sup>
kopgevel	$2 \times (58,34 \times 0,235) : 8$	=	3,43 m <sup>3</sup>
berging	$2,40 \times 3,75 \times 2,30$	=	20,70 m <sup>3</sup>
		+	<hr/>
<b>Bruto inhoud gemiddeld per woning:</b>			<b>321,65 m<sup>3</sup></b>

### Invoergegevens voor de gasverbruiksberekening

<b>buitentemperatuur</b> (ISSO publicatie-16)	
- gemiddeld over het stookseizoen (= 212 dagen)	4,8 °C
<b>binnentemperatuur</b> (NVN 5125)	
= gemiddeld over alle ruimtes	16,2 °C
<b>interne warmte</b> (ISSO publicatie-16)	
- totaal per woning	12,3 kWh/etm.
<b>ventilatie</b> (NVN 5125)	
- totaal ventilatie (n=0,8)	198,4 m <sup>3</sup> /h
- temperatuur ventilatieflucht	17,8 °C
<b>gebruiksefficiëntie van de installatie</b> (ISSO publicatie-16)	72 %
<b>Rc van gevel en dak</b>	
- eerste berekening	2,5 m <sup>2</sup> K/W
- tweede berekening	3,0 m <sup>2</sup> K/W
(voor gedetailleerde informatie over Rc-waarden en oppervlakken zie bijlage D)	
<b>zoninstraling</b> (ISSO publicatie-16)	
- oriëntatie achterzijde woning	zuid-oost
- opvallende zonnestraling (24-uurs gemiddelde per stookseizoen)	
- achterzijde	55 W/m <sup>2</sup>
- voorzijde	28 W/m <sup>2</sup>
<b>correctiefactoren voor dynamisch gedrag</b> (ISSO publicatie-16)	
- correctiefactor a.	0,91
- correctiefactor b	0,76

# BIJLAGE B2: Gebouwegegevens referentie renovatiewoning [12]



huidgetype		k	A	a	A*a*k
		k-waarde	oppervlak	reductiefactor	
		(W/m <sup>2</sup> .K)	(m <sup>2</sup> )		(W/K)
vloertype	1	1.920	58.140	0.342	38.229
daktype	1	1.080	58.140	1.000	62.791
geveltype	1	3.500	4.250	1.000	14.875
geveltype	2	1.490	6.300	1.000	9.387
geveltype	3	1.030	7.140	1.000	7.354
geveltype	4	1.030	10.500	1.000	10.815
geveltype	5	1.850	57.780	1.000	106.893
giastype	1	5.500	13.450	1.000	73.975
giastype	2	5.500	13.440	1.000	73.920
totaal					398.239

isolatiecategorie	=	1
gemiddelde k-waarde	(W/m <sup>2</sup> .K)=	1.738
A0/V verhouding	(a-1)=	0.730
isolatie-index (It)	=	-3.34
transmissieverliescoëfficiënt	(W)=	398.239
ventilatieverliescoëfficiënt	(W)=	85.397
graaduren	=	58003.20
interne warmtebronnen	(kWh/jr)=	3000
opvallende zonneenergie	(kWh/jr)=	4269

stookenergie	(kWh/jr)=	19826
gasverbruik voor verwarming	(m <sup>3</sup> )=	3238

# BIJLAGE B3: Gebouwgegevens referentie bedrijfshal nieuwbouw en renovatie [13]

## Gebouwgegevens

nvd = netto-vloeroppervlakte  
V = volume

	Brute	Nette
Vloeroppervlakte	5.760 m <sup>2</sup>	5.612 m <sup>2</sup> (nvd)
Inhoud	35.000 m <sup>3</sup> (V)	32.757 m <sup>3</sup>
Aantal bouwlagen	1/7	
Bouwlaaghoogte	7,00/3,50 m	
Interne vrije hoogte	6,75/3,25 m	
Bouwhoogte	7,00 m	
Vloer (alleen onderbouw)	5.000 m <sup>2</sup>	
Buitenmuur (gevel)	1.512 m <sup>2</sup>	
Kozijnen, ramen, deuren	588 m <sup>2</sup>	
Dak	5.000 m <sup>2</sup>	
Totale oppervlakte buitenschil	12.100 m <sup>2</sup>	
Vermsfactor (Aa/V)	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Percentage glas in de totale gevel	28%	

Ao = totale oppervlakte  
van de buitenschil

## Gebouwisolatie

1) wesk tot 1 september 1987  
a = weegfactor  
(volgens NEN 1088)

		Matig	Goed	Zeer goed
<b>Transmissiegegevens</b>				
Transmissiewaarde totaal gebouw (aUA)		18.122 W/K	13.600 W/K	7.390 W/K
Transmissiewaarde per m <sup>2</sup> nvd (aUA)		3,2 W/K	2,4 W/K	1,3 W/K
Gemiddelde U-waarde (U)		1,50 W/m <sup>2</sup> K	1,12 W/m <sup>2</sup> K	0,61 W/m <sup>2</sup> K
Thermische isolatie-index (I <sub>t</sub> )		7	11	17
Vloer (alleen onderbouw)	U-waarde	2,00 W/m <sup>2</sup> K	2,00 W/m <sup>2</sup> K	0,90 W/m <sup>2</sup> K
	R-waarde	0,50 m <sup>2</sup> K/W	0,50 m <sup>2</sup> K/W	1,11 m <sup>2</sup> K/W
Buitenmuur (gevel)	U-waarde	1,70 W/m <sup>2</sup> K	1,30 W/m <sup>2</sup> K	0,70 W/m <sup>2</sup> K
	R-waarde	0,59 m <sup>2</sup> K/W	0,77 m <sup>2</sup> K/W	1,43 m <sup>2</sup> K/W
Kozijnen, ramen en deuren <sup>1)</sup>	U-waarde	5,70 W/m <sup>2</sup> K	5,16 W/m <sup>2</sup> K	3,54 W/m <sup>2</sup> K
	R-waarde	0,18 m <sup>2</sup> K/W	0,19 m <sup>2</sup> K/W	0,28 m <sup>2</sup> K/W
Dak	U-waarde	1,80 W/m <sup>2</sup> K	0,80 W/m <sup>2</sup> K	0,50 W/m <sup>2</sup> K
	R-waarde	0,56 m <sup>2</sup> K/W	1,11 m <sup>2</sup> K/W	2,00 m <sup>2</sup> K/W

1) Verdeling dubbel glas:  
Isolatie      Dubbelglas  
Matig          Geen  
Goed          20%  
Zeer goed    80%

## Ventilatiegegevens

Ventilatievoud	Dagperiode	80% van gebouw	3,50	3,00	2,75
		Overig deel gebouw	2,00	1,50	1,25
	Overige periode		0,40	0,35	0,30

## Interne warmte

04  
Dagperiode 18°C  
na t/m vr 6-22 uur  
feestdagen uitgezonderd  
Overige periode 12°C

Aantal personen		225	225	225
Verlichting	Branduren per jaar voor binnenconditie 04	4.064 h	4.064 h	4.064 h
	Branduren per jaar voor binnenconditie 05	2.540 h	2.540 h	2.640 h
	Vermogen per m <sup>2</sup> nvd	13 W	13 W	10 W

## Capaciteit cv-ketel

05  
Dagperiode 18°C  
na t/m vr 7-17 uur  
feestdagen uitgezonderd  
Overige periode 12°C

Totaal gebouw	1.634 kW	1.327 kW	917 kW
Per m <sup>2</sup> nvd	281 W	238 W	163 W

## Installatierendement cv

	Normaal cv-rend.	Verbeterd cv-rend.	Hoog cv-rend.
Gemiddeld per jaar	74,0%	81,0%	88,0%

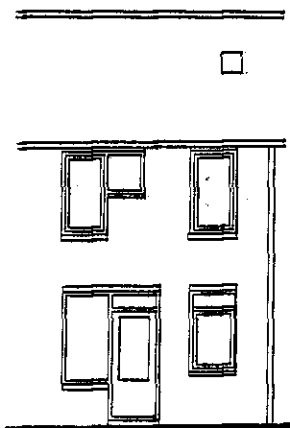
# BIJLAGE B1: Gebouwgegevens referentie doorzonwoning (nieuwbouw) [11]

Kosten per woning (1 - 1 - 1990, inclusief BTW)

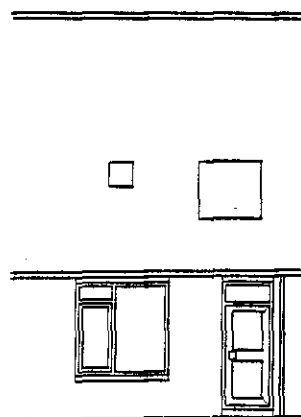
	(Rc = 2,5)	(Rc = 3,0)
Gezuiverde stichtingskosten	fl. 120.482,00	fl. 120.832,00
Huur per maand	fl. 614,80	fl. 617,70
Onderhoudskosten per jaar	fl. 807,00	(als Rc = 2,5)
Energiekosten per jaar	fl. 1.441,35	fl. 1.420,10

Energiegebruik per woning per jaar

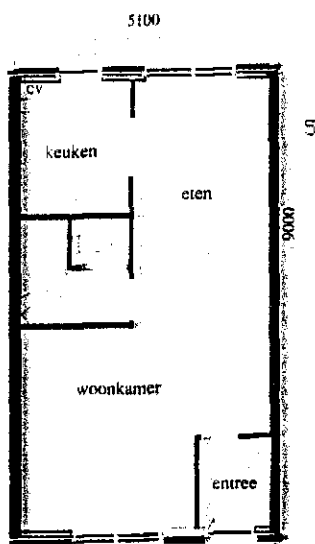
	(Rc = 2,5)	(Rc = 3,0)
<b>Gas</b>		
- Ruimteverwarming	904 m <sup>3</sup> gas	859 m <sup>3</sup> gas
- Warm tapwater	551 m <sup>3</sup> gas	(als Rc = 2,5)
- Koken	68 m <sup>3</sup> gas	(als Rc = 2,5)
<b>Elektriciteit</b>	2709 kWh	(als Rc = 2,5)



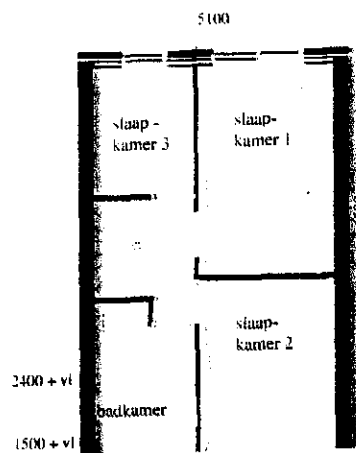
achtergevel



voorgevel



begane grond



verdieping



De berekeningsmethode voor de bepaling van de warmtebehoefte van een woning die in ISSO 16 wordt behandeld, berekent:

- bruto warmtestromen door een raam (warmtetransmissie  $Q_{tr}$  en zontoetreding  $Q_z$ );
- bruto warmtestromen door de niet-transparante buitenomhulling (transmissie  $Q_{tr}$ );
- warmteverlies door ventilatie ( $Q_{ve}$ );
- warmte-uitwisseling met aangrenzende vertrekken;
- interne warmteproductie ( $Q_{int}$ ).

De verschillende elementen die de warmtebalans over een heel seizoen bepalen kunnen worden geordend tot de som van alle in- en uitkomende warmtestromen.

$$Q_{uit} = \Sigma Q_{tr} + \Sigma Q_{ve} \text{ [kWh]}$$

$$Q_{in} = Q_{int} + \Sigma Q_z \text{ [kWh]}$$

$Q_{uit}$  = totaal bruto transmissieverlies door buitenomhulling inclusief ramen + bruto warmteverlies door ventilatie [kWh]

$Q_{in}$  = totale bruto zontoetreding door de ramen + interne warmteproductie per stookseizoen [kWh]

$Q_{tr}$  = bruto transmissie warmteverlies per stookseizoen [kWh]

$Q_{ve}$  = bruto ventilatie warmteverlies per stookseizoen [kWh]

$Q_{int}$  = bruto hoeveelheid warmte door interne bronnen per stookseizoen

$Q_z$  = bruto hoeveelheid warmte door zontoetreding per stookseizoen

Deze stationaire warmtebalans wordt voor dynamisch gedrag gecorrigeerd door correctiefactoren toe te passen op de

#### doorzonwoning:

constructie	a	A	k
vloer	0,5	45,90	0,64
dak	1,0	62,56	0,38
voorgevel	1,0	8,40	0,36
achtergevel	1,0	20,05	0,36
dubbelglas voorgevel	1,0	3,55	3,20
dubbelglas achtergevel	1,0	4,31	3,20
dakraam voorgevel	1,0	2,40	3,20
dakraam achtergevel	1,0	0,16	5,90
kozijnen/ramen/deuren	1,0	6,91	1,80

warmtestromen (a en b). Deze correctiefactoren zijn afhankelijk van toepassing van dag- en/of nachtverlaging en van de massa van het gebouw. Voor woning zijn dergelijke factoren bekend. De warmtebehoefte kan nu worden afgeleid :

$$Q_{wb} = a * Q_{uit} - b * Q_{in} \text{ [kWh]}$$

$Q_{wb}$  = warmtebehoefte gedurende het stookseizoen [kWh]

a = correctiefactor [-]

b = correctiefactor [-]

Hieruit volgt het gasverbruik, welke verder nog wordt bepaald door de verbrandingswaarde van de gebruikte energiedrager  $H_s$

( $H_{s, \text{aardgas}} = 9,72 \text{ kWh/m}^3$ ) en het gemiddelde gebruiksrendement van de verwarmingsinstallatie  $\eta_{gem}$ . Voor het gasverbruik geldt dan:

$$Q_{en} = Q_{wb} / (\eta_{gem} * H_s) \quad [\text{m}^3 \text{ aardgas}]$$

$Q_{en}$  = gasverbruik [ $\text{m}^3$  aardgas]

$\eta_{gem}$  = gemiddeld verbruiksrendement van de verwarmingsinstallatie [-]

$H_s$  = verbrandingswaarde aardgas op bovenwaarde [ $\text{kWh/m}^3$ ]

Gedetailleerde informatie over de achtergronden van de berekening en de invoerparameters is te vinden in ISSO publicatie-16, NVN 5125 en het MT-TNO rapport over bewonersgedrag (zie literatuurlijst).

# Oppervlakte- en inhoudsanalyse

## Oppervlakten

<b>A.</b>	<i>woonoppervlakte</i>		
woonkamer	$1,82 \times 3,41 + 4,87 \times 2,28 + 2,70 \times 4,70$	=	30,00 m <sup>2</sup>
keuken	$2,10 \times 2,16 + 1,10 \times 0,07$	=	4,61 m <sup>2</sup>
slaapkamer 1	$2,70 \times 4,21$	=	11,37 m <sup>2</sup>
slaapkamer 2	$2,70 \times 3,12$	=	8,42 m <sup>2</sup>
slaapkamer 3	$2,10 \times 2,56$	=	5,38 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>A. woonoppervlakte</b>			<b>59,78 m<sup>2</sup></b>

<b>B.</b>	<i>binnenwerkskernoppervlakte</i>		
begane grond	$4,87 \times 8,80 - 2,00 \times 0,90$	=	41,06 m <sup>2</sup>
1 <sup>e</sup> verdieping	$4,87 \times 7,40$	=	36,04 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>B: binnenwerkskernoppervlakte</b>			<b>77,10 m<sup>2</sup></b>

<b>C.</b>	<i>bruto oppervlakte</i>		
begane grond	$9,40 \times 5,10$	=	47,94 m <sup>2</sup>
1 <sup>e</sup> verdieping	$9,40 \times 5,10$	=	47,94 m <sup>2</sup>
zolder	$6,70 \times 5,10$	=	34,17 m <sup>2</sup>
berging	$3,75 \times 2,40$	=	9,00 m <sup>2</sup>
kopgevel	$2 \times (9,40 \times 0,235 \times 2 + 6,70 \times 0,235) : 8$	=	1,50 m <sup>2</sup>
		+	<hr/>
<b>C. bruto oppervlakte</b>			<b>140,55 m<sup>2</sup></b>

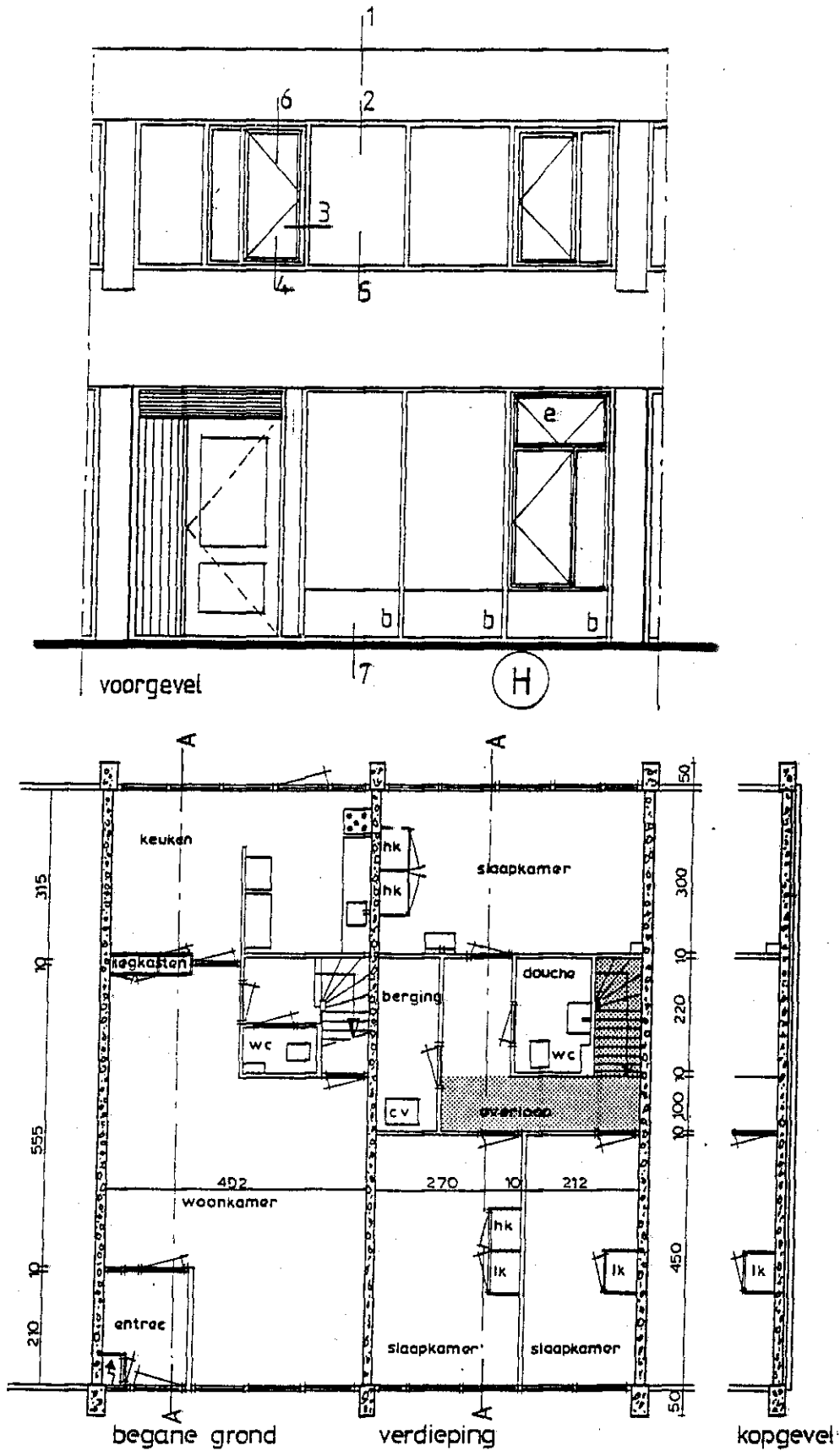
## Inhoud:

woning	$(9,40 \times 2,70 + 8,05 \times 2,70 + 6,70 \times 3,35 \times 0,5) \times 5,10$	=	297,52 m <sup>3</sup>
kopgevel	$2 \times (58,34 \times 0,235) : 8$	=	3,43 m <sup>3</sup>
berging	$2,40 \times 3,75 \times 2,30$	=	20,70 m <sup>3</sup>
		+	<hr/>
<b>Bruto inhoud gemiddeld per woning:</b>			<b>321,65 m<sup>3</sup></b>

### Invoergegevens voor de gasverbruiksberekening

<b>buitentemperatuur</b> (ISSO publicatie-16)	
- gemiddeld over het stookseizoen (= 212 dagen)	4,8 °C
<b>binnentemperatuur</b> (NVN 5125)	
- gemiddeld over alle ruimtes	16,2 °C
<b>interne warmte</b> (ISSO publicatie-16)	
- totaal per woning	12,3 kWh/etm.
<b>ventilatie</b> (NVN 5125)	
- totaal ventilatie (n=0,8)	198,4 m <sup>3</sup> /h
- temperatuur ventilatielucht	17,8 °C
<b>gebruikrendement van de installatie</b> (ISSO publicatie-16)	72 %
<b>Rc van gevel en dak</b>	
- eerste berekening	2,5 m <sup>2</sup> K/W
- tweede berekening	3,0 m <sup>2</sup> K/W
(voor gedetailleerde informatie over Rc-waarden en oppervlakken zie bijlage D)	
<b>zon instraling</b> (ISSO publicatie-16)	
- oriëntatie achterzijde woning	zuid-oost
- opvallende zonnestraling (24-uurs gemiddelde per stookseizoen)	
- achterzijde	55 W/m <sup>2</sup>
- voorzijde	28 W/m <sup>2</sup>
<b>correctiefactoren voor dynamisch gedrag</b> (ISSO publicatie-16)	
- correctiefactor a	0,91
- correctiefactor b	0,76

# BIJLAGE B2: Gebouwegegevens referentie renovatiewoning [12]



huidtype		k k-waarde (W/m <sup>2</sup> .K)	A oppervlak (m <sup>2</sup> )	a reductiefactor	A*a*k (W/K)
vloertype	1	1.920	58.140	0.342	38.229
daktype	1	1.080	58.140	1.000	62.791
geveltype	1	3.500	4.250	1.000	14.875
geveltype	2	1.490	6.300	1.000	9.387
geveltype	3	1.030	7.140	1.000	7.354
geveltype	4	1.030	10.500	1.000	10.815
geveltype	5	1.850	57.780	1.000	106.893
glastype	1	5.500	13.450	1.000	73.975
glastype	2	5.500	13.440	1.000	73.920
totaal					398.239

isolatiecategorie	=	1
gemiddelde k-waarde	(W/m <sup>2</sup> .K)=	1.738
A0/V verhouding	(m-1)=	0.730
isolatie-index (It)	=	-3.34
transmissieverliescoëfficiënt	(W)=	398.239
ventilatieverliescoëfficiënt	(W)=	85.397
graaduren	=	58003.20
interne warmtebronnen	(kWh/jr)=	3000
opvallende zonneenergie	(kWh/jr)=	4269
stookenergie	(kWh/jr)=	19826
gasverbruik voor verwarming	(m <sup>3</sup> )=	3238

## BIJLAGE B3: Gebouwgegevens referentie bedrijfshal nieuwbouw en renovatie [13]

### Gebouwgegevens

nvo = netto-vloeroppervlakte  
V = volume

	Bruto	Netto
Vloeroppervlakte	5.760 m <sup>2</sup>	5.612 m <sup>2</sup> (nvo)
Inhoud	35.000 m <sup>3</sup> (V)	32.757 m <sup>3</sup>
Aantal bouwlagen	1/7	
Bouwlaaghoogte	7,00/3,50 m	
Interne vrije hoogte	6,75/3,25 m	
Bouwhoogte	7,00 m	
Vloer (slechts onderbouw)	5.000 m <sup>2</sup>	
Buitenmuur (gevel)	1.512 m <sup>2</sup>	
Keuzen, ramen, deuren	588 m <sup>2</sup>	
Dak	5.000 m <sup>2</sup>	
Totale oppervlakte bu. toenschil	12.100 m <sup>2</sup>	
Vermfactor (Ae/V)	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Percentage glas in de totale gevel	28%	

Ao = totale oppervlakte  
van de buitenschil

### Gebouwisolatie

		Matig	Goed	Zeer goed
<b>Transmissiegegevens</b>				
Transmissiewaarde totaal gebouw (tUA)		18,122 W/K	13,600 W/K	7,380 W/K
Transmissiewaarde per m <sup>2</sup> nvo (tUA)		3,7 W/K	2,4 W/K	1,3 W/K
Gemiddelde U-waarde (U)		1,50 W/m <sup>2</sup> ·K	1,12 W/m <sup>2</sup> ·K	0,61 W/m <sup>2</sup> ·K
Thermische isolatie-index (I <sub>t</sub> )		7	11	17
Vloer (slechts onderbouw)	U-waarde	2,00 W/m <sup>2</sup> ·K	2,00 W/m <sup>2</sup> ·K	0,90 W/m <sup>2</sup> ·K
	R-waarde	0,50 m <sup>2</sup> ·K/W	0,50 m <sup>2</sup> ·K/W	1,11 m <sup>2</sup> ·K/W
Buitenmuur (gevel)	U-waarde	1,70 W/m <sup>2</sup> ·K	1,30 W/m <sup>2</sup> ·K	0,70 W/m <sup>2</sup> ·K
	R-waarde	0,58 m <sup>2</sup> ·K/W	0,77 m <sup>2</sup> ·K/W	1,43 m <sup>2</sup> ·K/W
Keuzen, ramen en deuren <sup>1)</sup>	U-waarde	5,70 W/m <sup>2</sup> ·K	5,16 W/m <sup>2</sup> ·K	3,54 W/m <sup>2</sup> ·K
	R-waarde	0,18 m <sup>2</sup> ·K/W	0,19 m <sup>2</sup> ·K/W	0,28 m <sup>2</sup> ·K/W
Dak	U-waarde	1,80 W/m <sup>2</sup> ·K	0,90 W/m <sup>2</sup> ·K	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K
	R-waarde	0,56 m <sup>2</sup> ·K/W	1,11 m <sup>2</sup> ·K/W	2,00 m <sup>2</sup> ·K/W

U was k tot 1 september 1987  
a = weegfactor  
(volgens NEN 1068)

<sup>1)</sup> Verdeling dubbel glas:	
Isolatie	Dubbelglas
Matig	Geen
Goed	20%
Zeer goed	80%

### Ventilatiegegevens

Ventilatievoud	Dagperiode	80% van gebouw	3,50	3,00	2,25
		Overig deel gebouw	2,00	1,50	1,25
	Overige periode		0,40	0,35	0,30

### Interne warmte

Aantal personen		225	225	225
Verlichting	Branduren per jaar voor binnenconditie D4	4.064 h	4.064 h	4.064 h
	Branduren per jaar voor binnenconditie D5	2.540 h	2.540 h	2.540 h
	Vermogen per m <sup>2</sup> nvo	13 W	13 W	10 W

### Capaciteit cv-ketel

Totaal gebouw	1.634 kW	1.327 kW	917 kW
Per m <sup>2</sup> nvo	291 W	238 W	163 W

### Installatierendement cv

	Normaal cv-rend.	Verbeterd cv-rend.	Hoog cv-rend.
Gemiddeld per jaar	74,0%	81,0%	89,0%

04  
Dagperiode 18 °C  
ma t/m vr 6-22 uur  
feestdagen uitgezonderd  
Overige periode 12 °C

05  
Dagperiode 18 °C  
ma t/m vr 7-17 uur  
feestdagen uitgezonderd  
Overige periode 12 °C