

**ENERGETISCH RENOVEREN**  
**van**  
**MONUMENTALE PANDEN**  
**IN NEDERLAND**

Projectnummer Aquarius : PII6.98.163

Datum : 8 december 1999

Opdrachtgevers : International Institute for Urban Environment

Contactpersoon : de heer Tj. Deelstra

Postadres : Nickersteeg 5

Postcode + plaats : 2611 EK Delft

Telefoon : 015 - 26232 

Uitgevoerd door : Aquarius Ingenieursbureau voor Energie & Milieu

Contactpersoon : de heer ir. R.H. Kristelijn

Postadres : Meidoornstraat 16

Postcode + plaats : 7514 ZV Enschede

Telefoon : 053 - 4330000

In samenwerking met : International Institute for Urban Environment

Contactpersoon : de heer Tj. Deelstra

Medewerking van : de heer M. Kramer

---

## INHOUDSOPGAVE

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMENVATTING .....</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>DEEL 1 .....</b>                                           | <b>8</b>  |
| <b>1. INLEIDING, DOEL EN CONTEXT .....</b>                    | <b>9</b>  |
| 1.1 Inleiding .....                                           | 9         |
| 1.2 Doel .....                                                | 10        |
| 1.3 Werkwijze .....                                           | 10        |
| 1.4 Besparingsberekeningen .....                              | 11        |
| 1.5 Opzet van het rapport .....                               | 11        |
| 1.6 Pilotproject .....                                        | 12        |
| 1.7 Motivatie .....                                           | 12        |
| <b>2. DOELGROEP .....</b>                                     | <b>13</b> |
| 2.1 Monumenten .....                                          | 13        |
| <b>3. PROBLEEMSTELLING .....</b>                              | <b>14</b> |
| 3.1 Energiebesparing in monumentale panden .....              | 14        |
| 3.2 Fysieke problemen .....                                   | 14        |
| 3.3 Bouwfysische problemen .....                              | 15        |
| 3.4 Materiaaltechnische problemen .....                       | 15        |
| 3.5 Lage temperatuursystemen gekoppeld aan warmtepompen ..... | 16        |
| <b>4. SYSTEMATIEK ENERGETISCHE RENOVATIE .....</b>            | <b>17</b> |
| 4.1 Conceptuele benadering .....                              | 17        |
| 4.2 Concept .....                                             | 21        |
| 4.3 Opzet van de berekening .....                             | 22        |
| 4.4 Energetisch renoveren door te combineren .....            | 23        |
| 4.5 Terugverdientijd .....                                    | 23        |
| <b>5. UITWERKING VAN DE SYSTEMATIEK .....</b>                 | <b>24</b> |
| 1) Good-housekeeping .....                                    | 24        |
| 2) Reduceren van energieverlies .....                         | 24        |
| 3) Passieve zonne-energie toepassen .....                     | 29        |
| 4) Warmtebron verbeteren .....                                | 30        |
| 5) Organisatie en gedrag .....                                | 35        |

---

|                     |                                                                                |           |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6.</b>           | <b>TARIEVEN EN SUBSIDIES .....</b>                                             | <b>37</b> |
| 6.1                 | Beoordelingscriteria .....                                                     | 37        |
| 6.2                 | Energietarieven .....                                                          | 37        |
| 6.3                 | Subsidieregelingen .....                                                       | 38        |
| <br>                |                                                                                |           |
| <b>DEEL 2 .....</b> | <b>40</b>                                                                      |           |
| <br>                |                                                                                |           |
| <b>7.</b>           | <b>BESCHRIJVING SITUATIE PILOTPROJECT .....</b>                                | <b>41</b> |
| 7.1                 | De Witte Roos .....                                                            | 41        |
| 7.2                 | De ontwikkeling van het woonhuis vanaf de middeleeuwen tot 1800 .....          | 41        |
| 7.3                 | Typologie van “de Witte Roos” .....                                            | 42        |
| 7.4                 | Bouwkundig .....                                                               | 44        |
| 7.5                 | Installatie .....                                                              | 45        |
| 7.6                 | Vaststelling nulsituatie .....                                                 | 45        |
| 7.7                 | EPC van de nulsituatie .....                                                   | 46        |
| 7.8                 | Primair brandstofverbruik en emissie nulsituatie .....                         | 47        |
| <br>                |                                                                                |           |
| <b>8.</b>           | <b>MAATREGELEN PILOTPROJECT “DE WITTE ROOS” .....</b>                          | <b>48</b> |
| 8.1                 | Inleiding .....                                                                | 48        |
| 8.2                 | Good-housekeeping .....                                                        | 48        |
| 8.3                 | Reduceren van energieverlies .....                                             | 48        |
| a)                  | Isolatie van het dak .....                                                     | 49        |
| b)                  | Isolatie van de buitenwanden .....                                             | 53        |
| c)                  | Glasisolatie .....                                                             | 57        |
| d)                  | Isolatie van de vloeren .....                                                  | 58        |
| e)                  | Mechanische ventilatie met warmteterugwinning .....                            | 59        |
| f)                  | Gebruik van wand- en vloerverwarming .....                                     | 60        |
| 8.4                 | Passieve zonne-energie toepassen .....                                         | 62        |
| g)                  | Toepassen van een Trombewand .....                                             | 62        |
| 8.5                 | Warmtebron verbeteren .....                                                    | 63        |
| h)                  | Vervanging CV-ketel door warmtepompsysteem .....                               | 64        |
| i)                  | Installatie van zonnecollectoren gekoppeld aan de bron van de warmtepomp ..... | 71        |
| j)                  | Installatie van photovoltaïsche zonnecellen .....                              | 72        |
| k)                  | Daglichtafhankelijk geregelde HFTL-verlichting .....                           | 74        |
| 8.6                 | Organisatie en gedrag .....                                                    | 75        |
| 8.7                 | Samenvatting maatregelen .....                                                 | 76        |
| 8.8                 | Primaire brandstofbesparing .....                                              | 76        |
| 8.9                 | EPC van de eindsituatie .....                                                  | 77        |
| <br>                |                                                                                |           |
| <b>9.</b>           | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>                                       | <b>78</b> |

---

---

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BIJLAGEN .....</b>                                                       | <b>81</b>  |
| <b>BIJLAGE 1      SITUATIE EN PLATTEGRONDEN PILOTPROJECT TE DELFT .....</b> | <b>82</b>  |
| <b>BIJLAGE 2      REKENMODEL TRANSMISSIE- EN VENTILATIEVERLIEZEN .....</b>  | <b>88</b>  |
| B 2.1 Gebruik van het Aquarius-rekenmodel .....                             | 88         |
| B 2.2 Aannames en uitgangspunten .....                                      | 89         |
| <b>BIJLAGE 3      OVERZICHT BEREKENINGSRESULTATEN .....</b>                 | <b>100</b> |
| <b>BIJLAGE 4      DAUWPUNTSBEREKENINGEN CONSTRUCTIES .....</b>              | <b>101</b> |
| <b>BIJLAGE 5A    EPC-BEREKENING OUDE SITUATIE .....</b>                     | <b>106</b> |
| <b>BIJLAGE 5B    EPC-BEREKENING NIEUWE SITUATIE .....</b>                   | <b>110</b> |
| <b>BIJLAGE 6      ONTWIKKELING VAN DE WONINGTYPOLOGIE .....</b>             | <b>114</b> |

---

## SAMENVATTING

Dit rapport is geschreven met als doel het behouden van het cultureel erfgoed in het algemeen en het beheren hiervan op een energetisch duurzame manier. Om monumenten te kunnen ontwikkelen naar monumenten die relatief zuinig zijn met energiebronnen wordt in dit rapport een systematiek besproken om monumentale panden energetisch te renoveren.

Aanleiding van dit rapport is de energetische renovatie van het pand “De Witte Roos” te Delft dat als pilotproject wordt gebruikt om een uitwerking te geven aan de algemene richtlijnen, zoals in het 1<sup>e</sup> Deel van dit rapport wordt besproken. De Witte Roos is een grachtenpand aan de Oude Delft waarin The International Institute for the Urban Environment (IIUE) zich zal gaan huisvesten.

Het IIUE is opdrachtgever (in persoon directeur ir. Tj. Deelstra) voor de restauratie en de energetische renovatie van dit pand.

Het onderzoek voor de energetische renovatie is uitgevoerd door Aquarius Ingenieursbureau voor Energie en Milieu uit Enschede, terwijl Novem via het LTGO-programma onder de BSE-regeling input gaf aan inhoudelijke aspecten van het onderzoek. Bureau Rijksbouwmeester heeft bovendien suggesties gegeven om de kwaliteit van de eindrapportage te optimaliseren.

Dit rapport richt zich met name op monumentale gebouwen in algemene zin. Het energetisch renoveren (met als doel dat er na de renovatie aanmerkelijk minder energie wordt verbruikt) van deze gebouwen geeft problemen op het esthetische, het bouwfysische en materiaaltechnische vlak. Denk hierbij aan het verminderen van de esthetische waarde door pakketten van isolatiematerialen, koudebruggen als gevolg van isolatiemaatregelen, scheurvorming in balken als gevolg van de verandering van de luchtvochtigheid en scheurvorming in muren als gevolg van sterke temperatuurschommelingen.

Met deze problematiek dient rekening worden gehouden bij de keuzen die men maakt bij het treffen van energiebesparende maatregelen.

Er is een duidelijke volgorde aan te brengen in verschillende keuzen omtrent de te treffen energiebesparende maatregelen. Deze volgorde komt voort uit praktische overwegingen en de consequenties daarvan op de energiebesparingberekeningen. De volgorde van deze maatregelen en keuzemogelijkheden is de systematiek van de energetische renovatie in algemene zin:

1. Good-housekeeping
  - a. Maatregelen die niets of weinig kosten.
  - b. Zaken die defect zijn en relatief weinig geldt kosten dienen hersteld te worden.
  - c. Leidingen en appendages optimaal isoleren.

---

## 2. Reduceren van energieverlies

- a. Transmissie: isoleren van dak, wanden, beglazing en vloer.
- b. Ventilatie: terugdringen van ventilatievoud, toepassen van warmteterugwinning en stralingsverwarming.

## 3. Passieve zonne-energie toepassen

- a. Benutten van zonnewarmte via serres, luchtcollectoren of Trombemuren.

## 4. Warmtebron verbeteren

- a. Installatie-technische regelingen vernieuwen of verbeteren.
- b. Warmteopwekking vernieuwen, of verbeteren.
- c. Nieuwe technieken toepassen.

## 5. Organisatie en gedrag

- a. Voor iedere gebruiker anders en min of meer gebouwonafhankelijk.

Door deze systematiek te volgen worden voor elke mogelijke maatregel de kosten, de energiebesparing en de terugverdientijd duidelijk. Met deze gegevens kan onder anderen worden gekeken voor welke subsidies een maatregel in aanmerking kan komen.

Vooraf ten bate van isolatie worden veel subsidies verstrekt. Verschillende energiebedrijven geven subsidies voor het gebruikten van alternatieve warmte- en energiebronnen als warmtepompen en zonnecellen.

In het tweede deel van het rapport wordt aan de hand van het pilotproject “De Witte Roos” de systematiek energetische renovatie specifiek toegepast. Mogelijkheden en onmogelijkheden van de voorgestelde maatregelen worden behandeld, maar zal voor elk ander gebouw weer verschillend kunnen zijn. Per maatregel wordt een beschrijving gegeven, gevolgd door een besparingsberekening en een kostenraming met subsidiemogelijkheden. Zowel maatregelen die zijn gekozen als maatregelen die niet zijn gekozen komen aan de orde. Aan het eind wordt een overzicht gegeven van de keuzen van de te treffen maatregelen.

In het pilotproject wordt gekozen voor alternatieve energie- en warmtebronnen (PV-cellen en warmtepomp) en uitgekende isolatie. De architectonische kwaliteit van zowel de binnenruimten als het gebouw heeft prioriteit boven de energiebesparing. Op architectonisch minder belangrijke plaatsen worden maximale energiebesparingsmaatregelen toegepast, terwijl op de waardevolle plaatsen gezocht wordt naar een goede balans. Het mag duidelijk zijn dat een monument niet kan voldoen aan de energie-eisen voor nieuwbouw, desalniettemin kan “De Witte Roos” door de energetische renovatie een besparing in het energieverbruik bereiken van 76% voor de warmtevraag.

---

Het primaire brandstofverbruik neemt af van 31.000 naar 5.500 m<sup>3</sup>aeq/a, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot verminderd van 55.200 naar 9.800 kg per jaar. Ten opzichte van de nulsituatie bedraagt de reductie van primaire brandstof 25.500 m<sup>3</sup>aeq en CO<sub>2</sub>-uitstoot 45.400 kg en is de besparing 82%. Dit hogere besparingspercentage hangt samen met verdergaande maatregelen, zoals energiezuinige verlichting en toepassing van zonnecellen.

Bovendien zal het IIUE zich aansluiten bij de Windmolenvereniging Delft. Leden van deze vereniging onttrekken hun elektriciteit aan windturbines. De totale vraag naar elektriciteit van het gebouw wordt zo uit duurzame bronnen geleverd. De overige CO<sub>2</sub>-uitstoot van het gebouw wordt veroorzaakt door de HR-ketel die alleen voor piekverwarming en warm tapwater wordt gebruikt. De uitstoot van CO<sub>2</sub> wordt aldus rond 98% minder dan in de nulsituatie.

De besparingen worden bepaald aan de hand van een rekenmodel dat gebaseerd is op transmissie- en ventilatieverliezen en is via Novem tevens beschikbaar voor derden.





---

## 1. INLEIDING, DOEL EN CONTEXT

### 1.1 Inleiding

Vele Nederlanders hechten belang aan het behoud van het cultureel erfgoed. Men beseft dat monumenten en bijzondere delen van steden en dorpen een waarde bezitten die niet door nieuwe gebouwen, hoe efficiënt, functioneel en mooi deze ook mogen zijn, te evenaren is. Daarom is het belangrijk dat deze gebouwen en plaatsen behouden blijven en op een duurzame manier worden onderhouden en beheerd.

Dit rapport gaat in algemene zin in op de verschillende mogelijkheden en beperkingen om tijdens het restaureren van monumentale gebouwen **voorzieningen te treffen om te besparen op het energieverbruik** van het gebouw en tevens gebruik te maken van duurzame energiebronnen. Hieraan is de naam Energetische Renovatie gegeven. Als doel is gesteld dat **de monumentale waarde en de architectonische waarde van een pand behouden moet blijven**. De vetgedrukte zinsneden zijn belangrijke uitgangspunten voor een op te stellen programma van eisen dat voor de ontwerpfase opgesteld wordt. Het rapport geeft aan de hand van een pilotproject globale informatie over de investeringskosten, de opbrengsten en de terugverdientijd van de verschillende mogelijkheden. Tevens worden de bouwtechnische en bouwfysische aspecten behandeld.

Novem heeft voor een belangrijk deel bijgedragen in de financiering van de opdracht via het LTGO-programma in de BSE-regeling en in overleg input gegeven voor inhoudelijke aspecten van het onderzoek. Bureau Rijksbouwmeester heeft bovendien suggesties gegeven om de kwaliteit van de eindrapportage te optimaliseren.

Het initiatief voor dit rapport is genomen door “The International Institute for the Urban Environment” te Delft, toekomstige gebruiker van het Rijksmonument “De Witte Roos” aan de Oude Delft 73 in Delft. Tijdens de voorbereiding van de restauratie van dit monument is door Ingenieursbureau Aquarius voor Energie & Milieu onderzoek verricht naar de mogelijkheden om dit pand energetisch te renoveren. “De Witte Roos” wordt in dit rapport als pilotproject besproken. Het gebouw zal door de opdrachtgever gebruikt gaan worden als kantoorpand en zal als voorbeeldproject dienst doen, ook in internationaal verband. De resultaten en bevindingen van het onderzoek zijn richtlijn geweest voor het ontwikkelen van dit rapport, ze zijn openbaar en bedoeld voor een ieder die zich met het renoveren van oude of monumentale panden bezig houdt.

Heel duidelijk moet daarbij blijven dat elk individueel monumentaal pand z’n eigen karakter heeft en dat het pilotproject “De Witte Roos” alleen maar een voorbeeld is. Bij elke ander pand kunnen hele andere overwegingen leiden tot hele andere maatregelen of uitwerkingen daarvan. Bovendien veranderen de inzichten over wat wel en niet acceptabel is dagelijks.

---

## 1.2 Doel

Doel van het onderzoek is om in een breed perspectief de mogelijkheden en beperkingen voor het energetisch zo gunstig mogelijk renoveren van monumentale panden in algemene zin te onderzoeken. Het gaat daarbij niet om het aanreiken van standaardrecepten voor maatregelen in alle situaties, maar om een structurele benaderingswijze van welke soort maatregelen toepasbaar zijn en in welke volgorde deze in de besluitvorming dienen te worden behandeld.

Deze structurele benaderingswijze vormt de leidraad voor het verkrijgen van een overzicht van maatregelen in algemene zin, waar zo veel mogelijk gebruikers en beheerders van monumentale panden in Nederland gebruik van kunnen maken.

In het tweede deel van deze rapportage krijgt deze benaderingswijze een praktische uitwerking. Enerzijds met het doel om de benaderingswijze te demonstreren. Anderzijds met het doel om leerervaringen uit de praktijk zoveel mogelijke door te geven om de gedachten te kunnen bepalen voor het treffen van maatregelen bij andere panden.

Opmerking van Bureau Rijksbouwmeester:

Klimatologische ingrepen in een tot dan toe ‘moeilijk’ gebouw, zoals bijvoorbeeld Slot Loevestein, kunnen er toe leiden dat het gebouw rendementvoller maar ook intensiever en vaker gebruikt wordt.

Aan de ene kant kan dit een positieve bijdrage zijn aan de instandhouding van het monument (gebruik=behoud); aan de andere kant loert het gevaar van over-exploitatie en van het daarmee samenhangend opduiken van nieuwe gebruik(er)seisen om tot nóg verdergaande aanpassingen te komen. Bijvoorbeeld: nu we ook s’winters in zaal X kunnen zitten, zouden we daar graag extra verlichting hebben; en anders elektronische infrastructuur; en die tochtval is wat lastig; en met al die bezoekers is een extra wc handig; en ...

Kortom: zoals bij meer ingrepen/verbeteringen moet diplomatisch gehandeld worden: de klimaattechnische aanpassing mag niet als ‘breekijzer’ misbruikt worden!

## 1.3 Werkwijze

- Bepalen van de doelgroep;
- Problematiek monumentale panden behandelen;
- Conceptuele aanpak vaststellen voor het treffen van energetische renovatiemaatregelen;
- Uitgangspunten, subsidiemogelijkheden en berekeningsmethoden aangegeven;
- Conceptuele aanpak aan de hand van een pilotproject demonstreren.

---

## **1.4 Besparingsberekeningen**

Om de energiebesparing per maatregel te kunnen vaststellen, kan enerzijds gebruik gemaakt worden van besparingskengetallen en anderzijds van prognosticerende rekenmodellen. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van een dynamisch rekenmodel van Aquarius gebaseerd op transmissie- en ventilatieverliezen. Hiermee wordt de jaarlijkse warmtebehoefte van een pand berekend.

Door wijzigingen in het rekenmodel aan te brengen, welke samenhangen met de energetische verbeteringen van de maatregelen, wijzigt het geprognosticeerde jaarverbruik en is de energiebesparing per maatregel vast te stellen.

Voor de berekening van de besparingen in dit rapport zijn in bijlage de resultaten per maatregel afgedrukt. Hieraan vooraf wordt de rekenmethodiek en de uitgangspunten voor het rekenmodel toegelicht. Zie bijlage 2.

## **1.5 Opzet van het rapport**

Als eerste wordt vastgesteld op welke gebouwen dit rapport van toepassing is.

Vervolgens wordt beschreven binnen welk kader de problematiek ligt.

Na de behandeling van de problematiek, wordt een concept uiteengezet om de verschillende maatregelen volgens een vaste structuur te behandelen en besparingen te berekenen.

Maatregelen in volgorde zijn:

- 1) Good-housekeeping
- 2) Reduceren van energieverlies
- 3) Passieve zonne-energie toepassen
- 4) Warmtebron verbeteren
- 5) Organisatie en gedrag verbeteren

In hoofdstuk 4 wordt dit uitgewerkt en met praktische voorbeelden toegelicht. Tevens worden beperkingen aangegeven die voortvloeien uit de wens om het monumentale cultuurgoed zo goed mogelijk te behouden.

Aan de hand van een pilotproject wordt deze conceptuele aanpak toegepast. Dit gebeurt in deel 2 van dit rapport. Mogelijkheden en onmogelijkheden van de voorgestelde maatregelen worden behandeld. Per maatregel wordt een beschrijving gegeven, gevolgd door een besparingsberekening en een kostenraming met subsidiemogelijkheden. Aan het eind van hoofdstuk 8 wordt een overzicht gegeven.

---

De besparingen worden bepaald aan de hand van een rekenmodel dat gebaseerd is op transmissie- en ventilatieverliezen.

Het onderzoek is uitgevoerd door Ingenieursbureau Aquarius voor Energie & Milieu in nauwe samenwerking met The International Institute for the Urban Environment, terwijl Novem via het LTGO-programma onder de BSE-regeling input gaf aan inhoudelijke aspecten van het onderzoek.

## **1.6 Pilotproject**

Als pilotproject dient het pand “de Witte Roos” aan de Oude Delft 73 te Delft. De eigenaar en toekomstige gebruiker is The International Institute for the Urban Environment (IIUE: directeur dhr. ir. Tj. Deelstra. Het IIUE wil de resultaten verspreiden via seminars, gehouden in het gebouw zelf. Het gebouw zal als voorbeeld bezichtigd kunnen worden, ook op langere termijn.

Het IIUE heeft als doel het bevorderen van de bewustwording van milieuproblemen die samenhangen met verstedelijking. Daarbij wil zij de kennis van, het inzicht in en de betrokkenheid bij het oplossen en voorkomen van deze milieuproblemen vergroten. Het IIUE is ervan overtuigd dat een interessante aanpak waarbij overheden samenwerken met het bedrijfsleven en de stadsbewoners essentieel is voor duurzame stedelijke ontwikkeling.

Een en ander komt tot uiting in het werkprogramma van het IIUE dat drie thema's kent:

- duurzaam wonen en werken,
- de kwaliteit van de fysieke omgeving, en
- beleidsinstrumenten voor duurzame ontwikkeling.

Het IIUE heeft zich toegelegd op duurzame stedelijke ontwikkeling in Nederland en in de Europese Unielanden.

Een van de projecten van het IIUE is het onderhouden van een netwerk van centra voor duurzame stedelijke ontwikkeling in 20 Europese steden, mede gefinancierd door de Europese Commissie. De resultaten van de energetische renovatie van “de Witte Roos” zullen in dit kader ook internationaal aandacht krijgen.

## **1.7 Motivatie**

Tot nu toe heeft er nog geen systematische inventarisatie plaats gevonden van technische mogelijkheden om monumentale panden volgens bepaalde richtlijnen te onderwerpen aan haalbaarheidsonderzoeken voor de vorming van een optimaal energetisch plan.

Dit onderzoek moet leiden tot de totstandkoming van een dergelijke inventarisatie aan de hand van een pilotproject, met de bedoeling het resultaat voor een breed publiek beschikbaar te stellen.

---

## 2. DOELGROEP

### 2.1 Monumenten

Alle panden met een belangwekkende cultuurhistorische waarde of architectuur kunnen gerekend worden tot de doelgroep van gebouwen, waarvoor de resultaten van dit onderzoek van belang zijn.

De Monumentenwet 1988 onderscheidt binnen deze groep zogenaamde ‘monumenten’ en beschrijft deze als: "Alle voor tenminste vijftig jaar vervaardigde zaken, welke van algemeen belang zijn wegens hun schoonheid, hun betekenis voor de wetenschap of hun cultuurhistorische waarde". Een deel van deze monumenten is beschermd van Rijkswege door opname in het Rijksmonumentenregister (art. 6 van de Monumentenwet 1988). Dit zijn bijvoorbeeld woonhuizen, boerderijen, molens, kerken, fabrieksgebouwen en overheidsgebouwen.

Daarnaast zijn er niet beschermde monumenten – en monumenten die geregistreerd staan in provinciale en gemeentelijke registers, als uitvloeisel van provinciale en gemeentelijke monumentenverordeningen. Deze worden ook als ‘beschermd monument’ aangeduid en profiteren in veel gevallen van bepaalde monumentensubsidies (veelal van de lagere overheden). De vijftigjaarsgrens is hierbij niet altijd aangehouden.

Voor de praktische uitvoering van maatregelen, zoals in dit rapport beschreven, hoeft geen onderscheid gemaakt te worden tussen de verschillende categorieën. Voor wat betreft de financiële mogelijkheden, regelgeving en dergelijke is dat wel het geval en krijgt zijn beslag in de economische haalbaarheid en de regelgevende toelaatbaarheid van maatregelen.

Door deze verschillen zijn vier belangrijke categorieën van eigenaren te onderscheiden:

1. zakelijke eigenaren van beschermde monumenten
2. particuliere eigenaren van beschermde monumenten
3. zakelijke eigenaren van niet beschermde monumenten
4. particuliere eigenaren van niet beschermde monumenten

Bij het treffen van maatregelen dienen deze verschillen in ogenschouw genomen te worden. Belangrijke verschillen liggen vooral in de geldende subsidieregelingen en de verrekening van de BTW.

---

### **3. PROBLEEMSTELLING**

#### **3.1 Energiebesparing in monumentale panden**

Bij het treffen van energiebesparende maatregelen in bestaande gebouwen loopt men tegen een scala van met elkaar samenhangende problemen op. Deze problemen zijn van fysieke, bouwfysische en materiaaltechnische aard. Bij monumentale panden zal de afweging om te kiezen voor deze maatregelen vooral af hangen van de invloed op de esthetische en architectonische waarde van het gebouw, z'n karakteristieke ruimten en onderdelen. Hierdoor kan een monumentaal pand vaak in beperkter mate geïsoleerd worden en zal het energieverbruik navenant hoog blijven. Een energieprestatienormering zal zelden die van de nieuwbouw kunnen evenaren.

Het opwekken van de benodigde energie biedt echter nog een tweede kant om energie te besparen. Nieuwe technieken, duurzame energiebronnen waaronder de warmtepompen en toepassing van passieve zonne-energie kunnen daarbij een belangrijke rol spelen.

Met name de warmtepompen bieden een goede combinatie met de eisen die men mag stellen aan hoe monumentale panden verwarmd worden. Lage temperatuur verwarmingssystemen die aansluiten op het gebruik van warmtepompen bieden kwalitatief gunstige condities voor het behoud van materialen en een zeer aangenaam binnenklimaat. Het relatief hoge energieverbruik laten een meerinvestering ten opzichte van het conventioneel verwarmen met een CV-ketel binnen een redelijke termijn terugverdienen.

#### **3.2 Fysieke problemen**

Energie besparen in monumentale panden, waarvan de cultuurhistorische waarde of architectonische waarde behouden moet blijven, kenmerkt zich door de kleine fysieke speelruimte waarbinnen energiebesparende maatregelen getroffen moeten worden. Zo worden isolatiemaatregelen aan de schil van het gebouw veelal beperkt door de wandstructuur en eventuele verfraaiingen aan binnen- en buitenoppervlak. Ook raampartijen met sierlijsten geven zo'n beperking.

Toevoeging van Bureau Rijksbouwmeester:

Vaak zijn klimaatproblemen en behagelijkheidsklachten het gevolg van decennia 'gerommel' bij/na achterstallig of verkeerd onderhoud plus ondoordachte en vaak dure 'oplossingen' binnen een al verstoord kader.

Stoken, koelen en ventileren was vroeger ook vaak doordacht aangepakt en een gebouw, kamer, venster, etc. is eigenlijk een machine(onderdeel) van een klimaatinstallatie.

---

Klassiek zijn de voorbeelden van een verstoord evenwicht door dichtschilderen en -kitten van door achterstallig onderhoud tochtende schuif- en draairaamdelen, waardoor adequate ventilatie en koeling onmogelijk wordt zonder klepjes, ventilatoren, etc. – vaak een aantasting!

Ook de vaak puur om esthetische of gemaksredenen integraal verlaagde plafonds (i.p.v. ‘eilanden’ of strategisch gebundelde leidingen) blokkeren vaak bovenlichten of maken extra koeling noodzakelijk.

### **3.3 Bouwfysische problemen**

Beperkingen op bouwfysisch gebied worden bepaald door koudebrugproblematiek, gevaar van schimmelvorming en verschuivingen van dauwpunten in de constructies.

Bij het aanbrengen van isolatie in een bestaand gebouw dienen de isolatiewaarden van de verschillende vlakken in een ruimte en van de verschillende ruimten binnen een gebouw bovendien op elkaar afgestemd te worden. Hiermee kan vochtafzetting op de koude vlakken of in koude ruimtes gereguleerd worden. De mate van isolatie zal ook hierdoor veelal beperkt blijven.

Een ander punt betreft houtrot aan balkkoppen in dragende buitenwanden. Dit is een regelmatig voorkomend euvel en dient tijdig onderkent te worden. Verstikking en vocht, onder anderen door inwendige condensatie, spelen hierbij een belangrijke rol en dienen buiten spel gezet te worden. Constructies dienen hierop dan ook gecontroleerd te worden en wel op onbedoelde ventilatie via kieren van binnenuit en met dauwpuntsberekeningen om een juiste vochthuishouding in de verschillende materialen te bewerkstelligen.

### **3.4 Materiaaltechnische problemen**

Problemen van materiaaltechnische aard hebben met name te maken met de vervanging van het verwarmingssysteem. Oude gebouwen zijn niet gebaat bij hoge temperatuur verwarmingssystemen, zoals conventionele CV-systemen die 90/70°C gestookt worden. Grote temperatuurschommelingen die daar het gevolg van zijn, veroorzaken een sterke werking van de houten constructies en geven aanleiding tot scheurvorming in stenen wanden. Daarnaast vindt een opeenhoping plaats van warme lucht bovenin de meestal hoge ruimtes (sterke temperatuurgradiënt), waardoor uitdroging van de houten constructies plaats vindt en aanleiding geeft tot scheuring van houten gebinten, balken en planken.

Zoals in paragraaf 3.1 al genoemd zijn hier Lage Temperatuur Systemen (LTS) met warmtestralende oppervlakken beter op hun plaats.

---

### **3.5 Lage temperatuursystemen gekoppeld aan warmtepompen**

Zoals in paragraaf 3.1 als is aangegeven, zal door de beperkte mate waarin monumentale panden geïsoleerd kunnen worden, de energievraag navenant hoog blijven. Voor het opwekken van deze energie hebben investeringen in het toepassen van nieuwe technieken goede kansen economisch rendabel te zijn.

Een belangrijke optie vormt zoals gezegd de warmtepomp, die tevens aansluit op de gunstige condities van LTS. Warmtepompen zijn duurzame energiebronnen en kunnen in veel situaties toegepast worden. Warmtepompen gebruiken naast de input van aandrijfenergie – meetstal elektrisch en soms mechanisch – drie tot vier keer zoveel omgevingswarmte uit bodem, water of lucht en leveren deze als warmte af op een maximum temperatuur van bijvoorbeeld 55°C aan een warmtewisselaar. Opgenomen in een distributiesysteem voor vloer-, wand-, plafond- of stralingspaneelverwarming vormt dit een optimaal systeem voor monumentale panden. Bovendien vragen warmtepompsystemen weinig onderhoud.

Reumerend zijn de voordelen van LTS met warmtepompen:

1. energiezuinig opwekken van de relatief hoge energievraag met de warmtepomp als duurzame energiebron – verbetering van het elektrisch of mechanisch rendement met een factor 3 - 4;
2. goede haalbaarheidscondities door de relatief hoge energievraag die anders conventioneel opgewekt dient te worden;
3. lage temperatuurverwarming, zodat scheurvorming in wanden en uitdroging van hout zoveel mogelijk voorkomen wordt;
4. lage onderhoudskosten.



---

## 4. SYSTEMATIEK ENERGETISCHE RENOVATIE

### 4.1 Conceptuele benadering

In principe geldt voor elk gebouw dat de volgorde van maatregelen bij energetisch renoveren van groot belang is. Dit geldt ook voor oude en monumentale panden. Immers, de eerder getroffen maatregelen brengen besparingen met zich mee, die de potentiële besparingen van de volgende maatregelen verminderen. Dit is de zogenoemde verminderde meeropbrengst van de maatregel.

Bij het uitvoeren van meerdere maatregelen tegelijkertijd is het arbitrair aan welke maatregel een bepaalde deelbesparing wordt toegewezen. In de praktijk is dat ook niet te meten, omdat de besparing die vastgesteld kan worden altijd van alle maatregelen samen is. Voor een goede analyse of een maatregelen wel of niet lonend is, is dat echter wel van belang. In de rekenmethodiek zullen dus afspraken gevolgd moeten worden om geen vertekend beeld te krijgen.

Een voorbeeld daarvan kan wellicht gegeven worden aan de hand van de twee maatregelen: isoleren en een betere warmtebron toepassen. Beide brengen besparingen met zich mee, maar het brengt veel verschil met zich mee of de warmtebron zijn besparing effectueert in een slecht geïsoleerd pand of in een goed geïsoleerd pand. Bovendien is de warmtecapaciteit voor het goed geïsoleerde pand lager dan voor het slecht geïsoleerde pand. Een goede kosten/baten-analyse van de warmtebron kan daarom pas goed uitgevoerd worden als er rekening gehouden wordt met de kleinere benodigde warmtecapaciteit en zal de warmtebron als tweede maatregel geëvalueerd moeten worden.

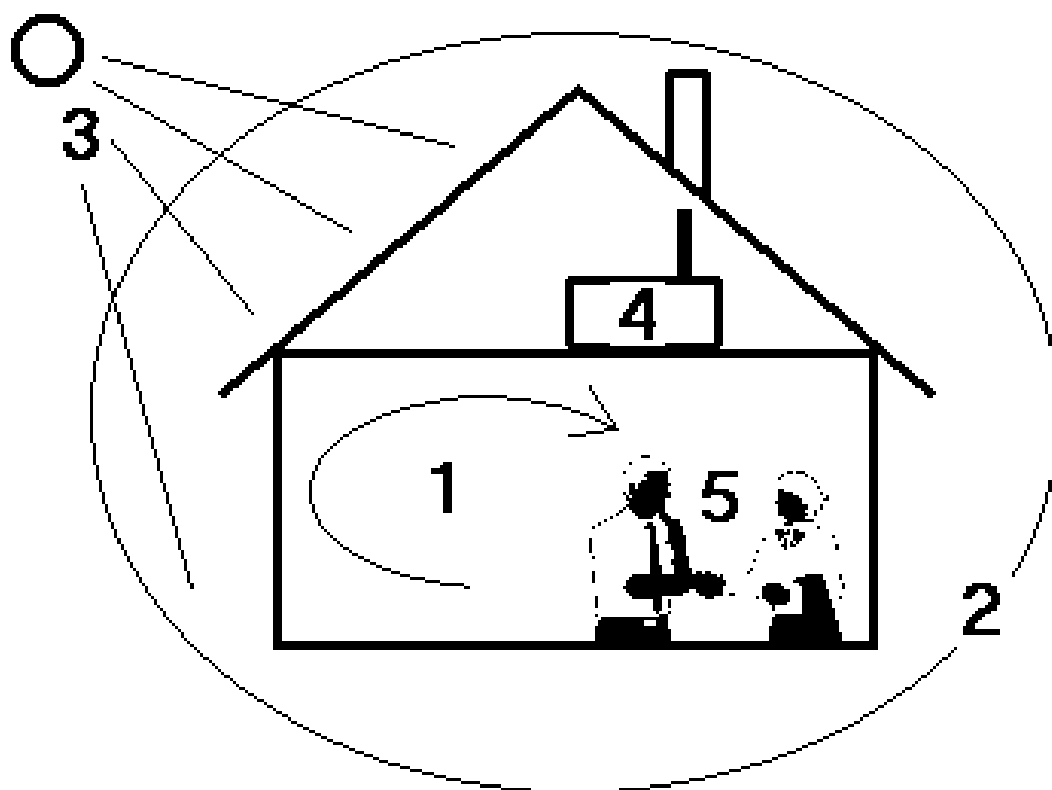
Een andere kwestie is die van het achterstallig onderhoud. Zaken die niet in orde zijn, weinig geld kosten en extra energie vragen, behoren niet gerekend te worden tot de energieverliezen als gevolg van bijvoorbeeld transmissieverliezen. Om van een gezuiverd energieverbruik uit te gaan voor isolatiemaatregelen, zal eerst de besparing als gevolg van good-housekeeping maatregelen berekend moeten worden om deze vervolgens in mindering te brengen op het jaarlijkse energiegebruik.

Op deze wijze is een zekere logica te ontwikkelen in de ranking van maatregelen, hetgeen schematisch als volgt kan worden weergegeven.



---

## Concept energetisch renoveren



---

### **Verklaring**

- 1) Good-housekeeping
- 2) Reduceren van energieverlies
- 3) Passieve zonne-energie toepassen
- 4) Warmtebron verbeteren
- 5) Organisatie en gedrag

---

## 4.2 Concept

De systematiek van het energetisch renoveren is het maken van keuzen voor het treffen van maatregelen voor energiebesparing in de volgende volgorde:

### 1) Good-housekeeping

- a. Maatregelen die niets of weinig kosten.
- b. Zaken die defect zijn en relatief weinig geldt kosten dienen hersteld te worden.
- c. Leidingen en appendages optimaal isoleren.

### 2) Reduceren van energieverlies

- a. Transmissie: isoleren van dak, wanden, beglazing en vloer.
- .a Ventilatie: terugdringen van ventilatievoud, toepassen van warmteterugwinning en stralingsverwarming.

### 3) Passieve zonne-energie toepassen

- a. Benutten van zonnewarmte via serres, luchtcollectoren of Trombemuren.

### 4) Warmtebron verbeteren

- a. Installatietechnische regelingen vernieuwen of verbeteren.
- b. Warmteopwekking vernieuwen, of verbeteren.
- c. Nieuwe technieken toepassen.

### 5) Organisatie en gedrag

Voor iedere gebruiker anders en min of meer gebouwonafhankelijk.

Bij het energetisch renoveren speelt de opzet van de berekening een belangrijke rol. Enerzijds door de verminderde meeropbrengst van meerdere maatregelen tegelijkertijd. Anderzijds door de lagere kosten om de overblijvende warmtevraag af te dekken. Vanuit deze uitgangspunten is de systematische opzet van maatregelen te herleiden.

---

### 4.3 Opzet van de berekening

De opzet van de berekeningen heeft een direct verband met de volgorde van de maatregelen. Het berekeningsmodel wordt in de bijlage behandeld. Bij het maken van de berekeningen moeten de gekozen maatregelen in een bepaalde volgorde in de berekening worden ingevoerd om zo efficiënt mogelijk energie te gaan besparen en om de besparingen en terugverdientijden op een realistische manier te kunnen weergeven.

Het eerste punt bij de berekening en het treffen van maatregelen is het achterstallig onderhoud, zoals in hoofdstuk 4.1 reeds genoemd. De besparing die hieruit voortvloeit, dient in mindering gebracht te worden op het historisch energieverbruik, waardoor een nieuw verbruik als uitgangspunt genomen wordt voor volgende maatregelen. “Good-housekeeping” is derhalve de basis van de eigenlijke nulsituatie.

Het eerste voorbeeld in hoofdstuk 4.1 gaf al aan dat isoleren vóór verbetering van de warmtebron dient plaats te vinden.

Een ander onderdeel van maatregel is het toepassen van passieve zonne-energie. Energie die als vanzelf in het gebouw tot z'n recht kan komen door ruimtesituering, beglazing en gebruik van voorverwarmde lucht in bijvoorbeeld serres of Trombewanden<sup>1</sup>. Vanzelfsprekend moet het gebruik maken van passieve zonne-energie meegenomen voordat het energieverbruik van de warmtebron wordt geprognosticeerd. Het toepassen van passieve zonne-energie staat los van de zonne-energie die als warmtebron kan worden ingezet.

Uit deze voorbeelden kan geconcludeerd worden dat het verbeteren van de warmtebron altijd als laatste technische maatregel behandeld dient te worden. Een goede beslissing kan pas genomen worden als in eerdere schakels al keuzen gemaakt zijn voor het al dan niet uitvoeren van bepaalde maatregelen.

Gedragmaatregelen zijn min of meer gebouwonafhankelijk en zullen per gebruiker of gebruikersgroep verschillen. Het gaat daarbij om de oplettendheid om energieverbruikende apparatuur zoveel mogelijk tijdig uit te schakelen of op minimale activiteit te laten werken. Deze schakel is geen technische maatregel en vormt de sluitpost.

---

<sup>1</sup> Trombewand is een constructie van glas voor een bezonde buitenmuur, met daartussen lucht die opgewarmd wordt door het broeikaseffect in de spouw.

---

---

#### **4.4 Energetisch renoveren door te combineren**

Volgens onderzoek van TNO wordt momenteel 60% van het monumentenbestand bedreigd in zijn voortbestaan door verwerking en bouwkundig verval vanwege achterstallig onderhoud. Veelal wordt de noodzaak van goed onderhoud niet tijdig onderkend, of wordt er te weinig geld voor uit getrokken. Energetisch renoveren biedt een goede gelegenheid om dit achterstallig onderhoud te combineren met het treffen van energiebesparingsmaatregelen. Veelal zijn er extra financiële middelen te verkrijgen voor energiebesparingsmaatregelen die een dergelijke onderneming aantrekkelijker maken. Een deel van de opknapbeurt is soms een onderdeel van zo'n maatregel - denk bijvoorbeeld aan het isoleren van wanden, waarbij het binnen- of buitenoppervlak een nieuw aanzien krijgt. Bovendien kunnen de kosten van tijdelijke voorzieningen bij een combinatie van renoveren, restaureren en onderhoud geven, aanzienlijk gunstiger liggen dan bij de activiteiten afzonderlijk.

#### **4.5 Terugverdientijd**

De economische haalbaarheid van een maatregelen wordt vaak beoordeeld aan de hand van de terugverdientijd: de uiteindelijke kosten van de maatregel gedeeld door de jaarlijkse kostenbesparing die de maatregel met zich meebrengt. Over het algemeen kan hierbij gebruik gemaakt worden van de eenvoudige terugverdientijd, zonder rekening te houden met de geleden rentederving in die periode. Voor een juiste berekening dient hiermee wel rekening gehouden te worden, maar wordt vanwege de hanteerbaarheid vaak achterwege gelaten. De correctie die uit de iteratieberekening voor de rentelast naar voren komt, is meestal marginaal en valt ruim binnen de nauwkeurigheid waarmee de energie- en kostenbesparing van een maatregel voorspeld kan worden. De eenvoudige terugverdientijd is kwalitatief derhalve voldoende geschikt om een kwaliteitsoordeel te kunnen vormen voor het wel of niet uitvoeren van een maatregel.

---

## 5. UITWERKING VAN DE SYSTEMATIEK

Bij het energetische renoveren speelt de volgorde van maatregelen, zoals hiervoor besproken, een belangrijke rol. Enerzijds door de verminderde meeropbrengst van meerdere maatregelen tegelijkertijd. Anderzijds door de lagere kosten om de overblijvende warmtevraag af te dekken. Aan de hand van het concept voor energetisch renoveren, worden in de volgende opsomming de onderdelen, c.q. schakels verder uitgewerkt.

### 1) Good-housekeeping

- a. Allereerst dienen de maatregelen getroffen te worden, die niets of weinig kosten.
- b. Vervolgens dienen zaken die defect zijn en relatief weinig geldt kosten, hersteld te worden.
- c. Leidingen en appendages dienen optimaal geïsoleerd te worden, voor zover de warmteafgifte niet moet dienen als ruimteverwarming.

Hierdoor ontstaat een optimaal functioneren van de bestaande voorzieningen.

Het spreekt voor zichzelf dat zaken die niet in orde zijn, allereerst verholpen dienen te worden. Isolatie van leidingen in niet verwarmde ruimtes, zoals ketelhuizen, zolders en kruipruimtes, kunnen veelal met de daarvoor eenvoudige doe-het-zelf middelen geïsoleerd te worden. Appendages kunnen het best met flexibele geregen isolatiematten geïsoleerd worden. Deze techniek geniet nog te weinig bekendheid, maar blijkt in de praktijk vaak een goede en economische methode te zijn voor de vaak moeilijk in te pakken onderdelen, zoals afsluiters, flenzen, bochtstukken, T-stukken, pomphuisen, ontluchters en dergelijke.

Onder good-housekeeping valt eigenlijk ook het simpelweg het op het juiste moment sluiten van deuren, ramen, gordijnen of het bedienen van zonwering: zaken die thuis ook gedaan worden. De aloude ‘huismeester’ kan op dit punt veel energie besparen. Aan de andere kant is dit ook een kwestie van gedrag en valt in de hier behandelde systematiek onder punt 5) “organisatie en gedrag”.

### 2) Reduceren van energieverlies

#### a. Transmissie:

De stap die vervolgens gezet kan worden, is het isoleren van de gebouwschil, zodat de opgewekte warmte beter benut wordt. Het gaat hierbij in principe om het dak, de wanden, de beglazing en de vloer.

Het isoleren van monumentale panden is in bouwfysisch opzicht een moeilijke opgave. Enerzijds dient rekening gehouden te worden met het monumentale karakter van het pand als geheel en van wanden, ramen, deuren, constructies en ornamenten in het bijzonder. Anderzijds dient rekening gehouden te worden met condensvorming op of in constructieonderdelen als gevolg van isoleren.



---

### *.1 Wanden en beglazing*

De eerste richtlijn die hier aangehouden dient te worden, is dat ervoor gezorgd moet worden dat het glasoppervlak altijd het koudste oppervlak blijft, zodat luchtvochtigheid zich daarop afzet en niet op andere vaak kwetsbare binnenoppervlakken. Condens op de ramen kan tevens een signaal zijn voor de gebruiker om tijdelijk wat extra te ventileren, bijvoorbeeld bij veel bezoek.

Een ander punt bij het isoleren vormt de dampdichtheid van de constructieonderdelen. Als men zonder meer isolatie aan de binnenzijde van de massieve buitenmuren aanbrengt, zal over het algemeen condensvorming plaats vinden op de stenen wand: het scheidingsvlak tussen de isolatie en de muur. Bij flinke kou kan dit zo sterk worden, dat zich condensdruppels vormen die naar beneden lopen en zich onderin bijvoorbeeld op een houten vloeraansluiting verzamelen en de vloer laten verrotten.

De tweede belangrijke richtlijn is derhalve dat altijd gezorgd moet worden voor een hogere dampremming aan de binnenzijde (de warme kant) dan aan de buitenzijde (de koude kant).

Zo kan gebruik gemaakt worden van PE-folie of bitumineus papier aan de warme kant van de isolatie, of van dampdicht isolatiemateriaal, zoals foam of gealuminiseerd noppenfolie. De afwerking aan de binnenzijde dient daarbij volkomen kierdicht te worden uitgevoerd om elke luchtwisseling tussen warme en koude zone uit te sluiten, want daarmee zou de dampremming volkomen nutteloos worden.

Een consequentie van de eerste richtlijn is, dat ook gekeken wordt naar de ruimtes onderling. Het isoleren en verwarmen van de ene ruimte en het niet isoleren en niet verwarmen van een andere ruimte heeft bij matig ventileren van de koude kamer tot gevolg dat deze muf gaat ruiken door vochtopname in de materialen. Via deurkieren of leefbewegingen in huis kan heel gemakkelijk luchtuitwisseling tussen de vertrekken plaats vinden, zodat hiermee rekening gehouden moet worden. Is de gebruiker zich hiervan voldoende bewust, dan is dit probleem met voldoende ventilatie in de koude ruimte te voorkomen. Wil men echter de gehele pand goed isoleren, dan is het aan te raden zo'n ruimte mee te nemen in de plannen en deze matig te gaan verwarmen. Op den lange duur blijft het pand daardoor beter behouden.

### *.2 Beglazing*

Het isoleren van raampartijen is bij monumentale panden vaak een lastige opgave. Kierende schuiframen, kleine ruitjes en authentieke handgrepen en sluitwerk zijn daaraan debet. Veelal wil men dit in tact houden. Een van de meest toegepaste oplossing is het plaatsen van voorzet- of achterzetglas, dus een extra glasvlak aan de binnenzijde respectievelijk aan de buitenzijde (van binnenuit bekeken). De vraag daarbij is wat men het liefst in beeld wil houden. Gekleurd glas-in-lood wil men over het algemeen van binnenuit genieten. In dat geval zou gekozen kunnen worden voor achterzetglas.

---

Wil men echter tevens het reliëf van de soms in steen uitgevoerde versierde vassing of kozijn van buiten genieten, dan is isoleren met precisie invulglas vaak een te kostbare aangelegenheid en zal men dit achterwege willen laten. De binnenruimte zal dan voldoende geventileerd moeten worden om condensvorming te voorkomen.

Bij gewoon helder glas zal veelal gekozen kunnen worden voor voorzetglas, óf direct op het bestaande kozijn, óf los daarvan in een nieuw kozijn geplaatst in of op de rand van de dag. Het verdient aanbeveling deze los-vast te plaatsen, zodat de tussenruimte af en toe schoon gemaakt kan worden. Bij ramen die men zomers wil openen, verdient het aanbeveling om de binnenramen met hang en sluitwerk te plaatsen, zodat deze gemakkelijk geopend kunnen worden om vervolgens de oude ramen te kunnen bedienen.

Zijn de ramen uitgevoerd met kleine ruitjes en een middenstijl, dan kan het binnenraam in twee delen gemaakt worden met een sluiting in het midden.

Het isoleren van ramen met een extra glasvlak dat goed kierdicht kan worden aangebracht, geeft enerzijds het voordeel van een reductie op de transmissieverliezen, maar tevens een reductie op de ventilatieverliezen. Daardoor heeft glasisolatie een hogere besparing tot gevolg dan over het algemeen wordt aangenomen of berekend.

### *.3 Dak*

Isoleren van het dak met zijn houten dakbeschot vraagt om een geheel eigen aanpak, waarbij inwendige condensatie ten alle tijden voorkomen moet worden om houtrot te voorkomen. Het meest veilige hierbij is het aanbrengen van isolatie aan de buitenkant van het houten dakbeschot, onder de dakpannen. Het houten dakbeschot met zijn draagconstructie blijft daardoor in de veilige zone: aan de warme kant van de isolatie. Bovendien blijft de constructie geheel in het zicht en het monumentale karakter behouden. Een nadeel is echter wel dat het pannendak met panlatten aangepast moet worden, waarbij met name op de aansluitingen allerlei problemen kunnen ontstaan. Dit geldt met name voor aansluitingen in de nok, haakse of hoekige overgangen en dakgoten. Als er geen extra oude dakpannen beschikbaar zijn om aansluitstukken opnieuw te maken, dan kan het van buitenaf isoleren wellicht onaanvaardbaar zijn.

Wil men om wat voor reden toch aan de binnenzijde isoleren, dan dient men het houten dakbeschot - nu aan de koude zijde van de isolatie - te vrijwaren van mogelijke vochtproblemen. Dit kan op twee manieren, maar beide op hetzelfde principe berustend, gedaan worden.

De eerste manier is het voorkomen dat vocht überhaupt in de constructie kan binnendringen door middel van een damprem aan de warme zijde, bijvoorbeeld PE-folie of bitumineus papier. Kierdicht werken is daarbij van essentieel belang, hetgeen door de houten draagconstructie vaak een te grote opgave is.

---

De tweede manier is het weg ventileren van vocht dat door het isolatiemateriaal diffundeert. Dit kan bereikt worden middels een luchtsponw tussen de isolatie en het houten dakbeschot, die net als bij een normale sponwmuur met openingen naar buiten met buitenlucht geventileerd wordt. Hiervoor dienen ventilatieopeningen gemaakt te worden in het houten dakbeschot, waarbij tevens rekening gehouden moet worden met de eventueel aanwezige regenwerende folie onder de panlatten.

Om de regenwerende functie te behouden, terwijl toch ventilatie mogelijk wordt, dient een dakpansgewijs detail met een opening in de folie gemaakt te worden. Zie voorbeeld in hoofdstuk 8.3 bij de behandeling van het pilotproject.

Ook bij de tweede manier dient echter het isolatiemateriaal kierdicht aangebracht te worden. Luchtkanaaltjes en kieren geven een dermate hoge uitwisseling van lucht dat dit meestal tot vochtschade leidt op langere termijn. Bevat het dakbeschot echter veel kieren, dan wordt dit weer grotendeels ondervangen.

Over het algemeen kan gezegd worden dat er een onbalans in de toe- en afvoer van vocht moet worden nagestreefd: dus minder toevoer dan afvoer mogelijk is.

Bij ruwe rondhouten sporen en het ontbreken van een houten beschot is het kierdicht werken tussen de sporen niet kritisch, omdat alle luchttransporten direct onder de pannen weg waaien. Echter, bij te veel kierwerking verliest het isolatiemateriaal zijn werking, omdat de warmte dan weg ventileert. Bij sporenkappen kan vaak heel goed gewerkt worden met dekens van minerale wol, omdat deze in de vorm te drukken zijn van de oneffenheden en in de breedte ook vaak te corrigeren zijn. Deze zijn ook altijd te verkrijgen met een damprem die dan aan de binnenzijde geplaatst moet worden - de warme kant.

#### *.4 Vloer*

Isoleren van de vloer kan bij voldoende hoogte van de kruipruimte van onderuit plaats vinden. Het eenvoudigst kan dit gedaan worden met luchtkussens van aluminiumfolie, die aan de houten balklaag worden opgehangen. Bij veel monumentale panden is de kruipruimte echter minimaal en kan dit niet worden uitgevoerd. In dat geval kan gebruik gemaakt worden van ingeblazen isolatiemateriaal dat tevens vocht vanuit de ondergrond tegen houdt. Hiermee kan de kruipruimte via één of meer vloeropeningen tot onder of tussen de balklaag worden opgevuld. Geschikte materialen hiervoor zijn geëxpandeerde kleikorrels en schelpen.

Isoleren aan de bovenzijde wordt veelal bemoeilijkt door authentieke vloeren die niet aangetast mogen worden, of door de geringe werkhoogte zonder deuren en plintaansluitingen aan te tasten. Waar dit wel mogelijk is, kan men kierdichte isolerende zachte beplating aanbrengen met daarop een nieuwe vloer of vloerbedekking. De kierdichte beplating dient te voorkomen dat lucht vanuit de kruipruimte via de houten vloer naar boven komt. De aansluiting van de zachte beplating op de wanden is derhalve net zo essentieel en kan eventuele bestaande vochtproblemen wegnemen.

---

De isolerende beplating mag derhalve nauwelijks krimpen of uitzetten, omdat dan op termijn toch weer kieren bij de plinten ontstaan.

Daarnaast dient de kruipruimte matig geventileerd te worden. Dit gebeurt meestal via muurroosters. Maar in de praktijk worden vele fouten geconstateerd, waardoor veel vochtproblemen ontstaan. Dit heeft voornamelijk te maken met verkeerde ventilatiemogelijkheden in kruipruimte, eventuele spouwruimtes, kelders, muurroosters van verblijfsruimtes, meterkasten, leidingkokers en dergelijke. Door de jaren heen zijn bovendien vele bouwkundige kieren ontstaan langs kozijnen en onder vensterbanken en is het cement op diverse balkopleggingspunten weg gebrokkeld. Door al deze bedoelde en niet bedoelde kieren en openingen zijn allerlei kruisverbanden in luchtstromen mogelijk tussen de genoemde constructie- en verblijfsruimtes. En afhankelijk van de windsterkte en windrichting wijzigen deze kruisverbanden voortdurend, waardoor het moeilijk is om verbanden te leggen tussen oorzaak en gevolg.

Om hieraan het hoofd te bieden is het van belang om alle constructie- en verblijfsruimtes apart te ventileren met buitenlucht. Kort gezegd is de essentie dat alle ruimtes geïsoleerd geventileerd dienen te worden! Als dit werkelijk goed wordt doorgevoerd, zijn veel vochtproblemen van de baan.

#### **b. Ventilatie:**

Het beter benutten van warmte wordt ook bereikt door het terugdringen van ventilatieverliezen. Hieronder vallen maatregelen om de hoeveelheid lucht die door het pand heen trekt daadwerkelijk te verminderen, maar ook maatregelen zoals warmteterugwinning uit afgevoerde ventilatielucht, of het verlagen van de binnentemperatuur in relatie tot bijvoorbeeld stralingsverwarming.

Het terug dringen van ventilatieverliezen in verwarmde ruimtes is niet zonder gevaar. Zoals hiervoor reeds besproken is ventilatie bij isolatie een factor die heel bewust gehanteerd moet worden. Het zonder meer dichten van kieren en gaten leidt bij monumentale panden veelal tot vochtproblemen. Luchtverversing is bovendien altijd nodig om het in verblijfsruimtes leefbaar te houden. Er is minimaal 17 m<sup>3</sup>/h per persoon aan verse lucht nodig. In de praktijk houdt men meestal 30 m<sup>3</sup>/h aan; en als er gerookt wordt 60 m<sup>3</sup>/h. Voor specifieke ruimtes is een wettelijk hoeveelheid vereist van 25 m<sup>3</sup>/h voor een toilet, 50 m<sup>3</sup>/h voor een bad- of wasruimte en 75 - 150 m<sup>3</sup>/h voor een keuken. Dit is 150 - 225 m<sup>3</sup>/h totaal en is voldoende voor 5 resp. 8 personen.

Ventileren kost echter ook energie, want de verse buitenlucht wordt door de verwarming automatisch opgewarmd tot de binnentemperatuur. De gemiddelde buitentemperatuur tijdens het stookseizoen van september tot en met mei bedraagt 6,8°C. Bij een gemiddelde binnentemperatuur van 17,5°C rekening houdend met dag- en nachttemperatuur, moet de lucht gemiddeld 10,7°C opgewarmd worden gedurende 24 uur per dag, 7 dagen in de week en 34 weken in het stookseizoen.

---

Met een HR-ketel waarvan het gebruiksrendement op bovenwaarde maximaal 84% bedraagt, is het jaarlijkse gasverbruik voor de ventilatie van toilet, badkamer en keuken 370 - 560 m<sup>3</sup>gas/a en wordt berekend met:  $150 \cdot \dots$  of  $225 \cdot 24 \cdot 7 \cdot 34 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot (17,5 - 6,8) / (1000 \cdot 35,17 \cdot 0,84)$ . Hierin vertegenwoordigen de getallen 1,2 en 1,0 de dichtheid en de soortelijke warmte van lucht en 35,17 de verbrandingswaarde van gas op bovenwaarde. Gerekend op onderwaarde volgens de Europese norm is de verbrandingswaarde 31,65 MJ/m<sup>3</sup>, terwijl dan tevens het gebruiksrendement van 93,3% op onderwaarde gehanteerd moet worden. De uitkomst blijft hetzelfde.

Bij het sterk reduceren van ventilatieverliezen door kierdichting dient men altijd ventilatievoorzieningen aan te houden of extra aan te brengen, welke men bewust kan bedienen. Bij zeer goede kierdichting dient men over te gaan op mechanische afzuiging met een debiet van minimaal de hiervoor aangegeven hoeveelheden. Dat wil niet zeggen dat de ventilatieverliezen zich daartoe beperken, want ook de openslaande deuren en ramen zullen door het gebruik ervan extra ventilatielucht met zich meebrengen en is erg gedragsafhankelijk. In de praktijk kan dit variëren van 0,5 - 3 keer de mechanische ventilatie, afhankelijk van hoe bewust men hiermee omgaat.

Een veel voorkomend gedrag is het open laten van slaapkamerramen omdat dit "lekker fris is". De openstaande en/of kierende binnendeuren laten daardoor echter veel warme lucht verloren gaan en dient kritisch heroverwogen te worden.

Wordt in de nieuwe situatie gekozen voor mechanische afzuiging, dan is het toepassen van warmteterugwinning een veelal economisch rendabele vervolgstap. Momenteel zijn voor de standaard hoeveelheden van 150 en 225 m<sup>3</sup>/h kant en klaar units te verkrijgen met een warmteterugwinrendement van 90%. Toepassing van deze units brengt net zoveel lucht naar binnen als dat er afgezogen wordt. Verse lucht wordt daarmee beter verdeeld en op een hogere temperatuur naar binnen geblazen en kan als een kwaliteitsverbetering worden aangemerkt.

Het toepassen van stralingsverwarming met paneelradiatoren, wand- of vloerverwarming heeft tot gevolg dat de luchttemperatuur met 1 - 2°C verlaagd kan worden met behoud van de gewenste behaaglijkheid. De opwarming van verse buitenlucht is als gevolg daarvan 10 - 20% minder en dient in de beschouwingen meegenomen te worden.

### **3) Passieve zonne-energie toepassen**

Het benutten van zonnewarmte voor verwarming van ruimtes of ventilatielucht is een heel andere methode om tot een reductie in de verwarmingskosten te komen. In principe blijft de warmtevraag gelijk, maar wordt voor een deel ingevuld door de zon, zodat de restvraag die ingevuld moet worden door een brandstof reduceert. Bij passieve zonne-energie wordt geen energieverbruikende apparatuur gebruikt, maar alleen de natuurlijke werking van stralingswarmte en opgewarmde lucht.

---

Opgewarmde oppervlakken geven directe stralingswarmte, waardoor de luchttemperatuur van de verblijfsruimte lager kan zijn terwijl toch dezelfde behaaglijkheid ervaren wordt. Dit aspect leidt dus niet alleen tot een aanvulling op de warmtevraag, maar tevens tot een reductie van ventilatieverliezen. Opwarming van lucht vindt plaats door het zogenaamde broeikaseffect. Hiervan kan via serres, luchtcollectoren of Trombemuren gebruik gemaakt worden om verse buitenlucht voor te verwarmen alvorens deze binnen te laten.

Opwarming van lucht vindt plaats door het zogenaamde broeikaseffect. Hoog frequent licht valt door een glasvlak en wordt geabsorbeerd door een vlak erachter, bijvoorbeeld een wand of een vloer. Het oppervlak warmt op en geeft zijn warmte af aan de aangrenzende lucht, die vervolgens de nijging heeft om op te stijgen omdat deze lichter is dan de koudere lucht. Bij ramen op het zuiden zal de lucht dan ook vaak opstijgen en bij noordgevels weer dalen, hetgeen een luchtcirculatie tot gevolg heeft waardoor de warmte zich automatisch verdeelt. Hiervan kan goed gebruik gemaakt worden bij serres die door een deur gescheiden worden van binnenvertrekken. Als men de beschikbare warmte wil toelaten, laat men de deur open staan; is het in de serre te koud, laat men de deur dicht.

Bij mechanische ventilatie kan men de verse buitenlucht eerst laten opwarmen middels een luchtcollector of een Trombemuur. De luchtcollector met zijn glasvlak op het zuiden zou bijvoorbeeld in een dakvlak opgenomen kunnen worden; de Trombemuur met zijn glasvlak op een zuidwand. De richting mag voor de effectiviteit gerust wat afwijken. Gezien echter de consequenties die dit met zich meebrengt voor het aanzien van een monumentaal pand, is dit vaak niet geoorloofd. Hoewel op naar achter gelegen vlakken vaak meer mogelijk is dan voorvlakken, die het aanzien van een pand bepalen. Een luchtcollector op het dak kan men natuurlijk het aanzien meegeven van een dakraam, waardoor de aantasting in sommige gevallen kan meevallen. De Trombemuur zou in het patroon van de ramen aangebracht kunnen worden, mits daar ruimte voor is. Aan de andere kant moet de opgewarmde lucht ook een weg naar binnen kunnen vinden, waardoor een bijdrage ontstaat aan het verwarmen van binnenvertrekken. Als de warmte op dakniveau wordt gewonnen, zal bijna altijd een ventilator met kanalenwerk moeten worden toegevoegd om de warme lucht te verdelen naar de vertrekken op lager gelegen verdiepingen. Het "passieve" gaat er dan wel vanaf, maar wanneer er voldoende ruimte is voor deze kanalen van Ø100 - Ø300 mm kan het een zinvolle uitvoering zijn.

#### **4) Warmtebron verbeteren**

Nadat alle maatregelen genomen worden om de jaarlijkse warmtevraag en de benodigde warmtecapaciteit tot een minimum te beperken, kan de warmtebron geëvalueerd worden. De warmtevraag dient met de warmtebron zo goed mogelijk bediend te worden, dat wil zeggen op de juiste tijd de juiste hoeveelheid warmte op de juiste plek.

---

“De juiste tijd” wordt bereikt met regelapparatuur die met allerlei factoren rekening houdt, zoals de gewenste binnentemperatuur, weersomstandigheden en de gebouwkenmerken zoals opwarmefecten, kierwerking, interne en externe warmtelast.

“De juiste hoeveelheid warmte” geeft aan dat er net voldoende warmte in een ruimte wordt gedoceerd om de gewenste binnentemperatuur net te halen en zo stabiel mogelijk te houden. Dit is enerzijds afhankelijk van de regeling en anderzijds van de warmteaccumulatie in het verwarmingssysteem (waarop de regeling kan anticiperen). Deze bepaalt hoe lang het duurt voordat de gewenste warmte vrij komt, maar ook hoe lang het systeem nog warmte afgeeft nadat het niet meer nodig is. De juiste hoeveelheid is daarom in de meeste gevallen alleen bij benadering haalbaar.

“Op de juiste plek” houdt in dat de opgewekte warmte, nu veelal buiten de verwarmde ruimte, zoveel mogelijk in de verwarmde ruimte terechtkomt. Het is daarbij echter niet te voorkomen dat er ook warmte verloren gaat in de warmtebron en in het distributiesysteem tussen warmtebron en ruimte.

In relatie tot het voorgaande is het verbeteren van de regeling een eerste stap om de warmtebron optimaal te laten functioneren. Vervolgens kan overwogen worden om de warmtebron zelf te verbeteren, hetgeen meestal neerkomt op het vernieuwen ervan. In veel gevallen zal de oude ketel plaats maken voor een nieuwe HR-ketel.

Voor hen die verder willen gaan dan het traditionele kunnen de inbreng van nieuwe technieken overwegen. Dat is bijvoorbeeld het toepassen van een warmtepomp, zonnecollectorsysteem, warmte/kracht-installatie, warmte/koude-opslag in de bodem, windenergie en dergelijke.

Kort samengevat is de volgorde van punten als volgt:

- a. Installatietechnische regelingen vernieuwen of verbeteren
- b. Warmteopwekking vernieuwen, of verbeteren
- c. Nieuwe technieken toepassen

#### **a. Installatietechnische regelingen vernieuwen of verbeteren**

De meest toegepaste regeling voor het cv-water is de weersafhankelijke regeling (WAR), welke uitgebreid kan worden met een optimaliseringsregeling. De WAR regelt de maximaaltemperatuur van het cv-water afhankelijk van de buitentemperatuur: hoe kouder het buiten is hoe warmer het water wordt afgegeven. Bij grote installaties met groepenindeling kan dit per groep uitgevoerd worden. Optimalisering kijkt bovendien nog naar de binnentemperatuur en berekent de tijd waarop de installatie opgestookt of uitgezet kan worden om steeds op het juiste moment de gewenste binnentemperatuur te bereiken. Bovendien kan de WAR nog uitgebreid worden met modules die rekening houden met de zons- en windinvloed op het pand.

---

Andere regelingen die het energiegebruik kunnen terugdringen betreffen het automatische schakelen of belastingafhankelijk regelen van elektrische componenten, zoals circulatiepompen en eventuele ventilatoren. Zo kan afhankelijk van de gevraagde hoeveelheid cv-water de circulatiepomp toeren geregeld worden, terwijl bij uitgeschakelde ketel de pomp met enige nadraaitijd uitgeschakeld kan worden. Bij moderne cv-ketels wordt de pomp al automatisch geschakeld. De toerenregeling is vaak alleen rendabel bij grotere installaties.

Ventilatie kan over het algemeen met enige nadraaitijd ook uitgeschakeld worden zodra niemand meer aanwezig is. Dat geldt ook voor toiletruimtes, bad- of wasruimtes en keukens. Ervaring met de ingestelde tijdprogramma's zal moeten uitwijzen hoe lang de ventilatie moet nadraaien. Er kan ook voor gekozen worden om de ventilatie enige tijd eerder in te schakelen om luchtjes, die door emissies van materialen kunnen ontstaan, weg te nemen.

#### **b. Warmteopwekking vernieuwen, of verbeteren**

Na het treffen van isolerende maatregelen kan met een kleinere warmtebron worden volstaan. Een reductie van de verwarmingscapaciteit met 50% of meer kan in sommige gevallen heel goed bereikt worden. De ondergrens wordt veelal bepaald door de tapcapaciteit van warm water. Bij het gebruik van een bad ligt deze op 24 kW. Zonder bad kan volstaan worden met 13 kW - de capaciteit van een keukengeiser. Is de benodigde verwarmingscapaciteit lager dan de warmtapwatercapaciteit, dan kan gebruik gemaakt worden van een modulerende ketel.

Er zijn vele uitvoeringen mogelijk, waarbij de HR-ketel het meest rendabel is. De meest gangbare keuze is een HR-combiketel met een gesloten systeem en een elektronische regeling. De rookgasafvoer dient hierop aangepast te worden en betekent in veel gevallen dat de oude bouwkundige schoorsteen niet of moeilijk gebruikt kan worden. De rookgassen zijn namelijk vaak vochtig en bevatten zuurhoudende componenten die het cement tussen de stenen aantasten. Bekleding van het kanaal met een metalen of aluminium mantel kan uitkomst bieden, mits er geen gemetselde windkap op de schoorsteen staat. Wil men in dat geval toch gebruik maken van het bouwkundige kanaal, dan kan gekozen worden voor een VR-ketel. Hiervan zijn de rookgassen warmer en daardoor droger, zodat de inwerking van zuren vermeden wordt.

Het verbeteren van bestaande ketels komt neer op het verbeteren van het stookrendement. Dit kan na isolatie heel goed bereikt worden door het toepassen van een lagere watertemperatuur. Immers de verwarmingscapaciteit van de bestaande radiatoren bij 90/70°C is door het isoleren overgedimensioneerd geraakt. Bij een reductie van bijvoorbeeld 50% in de benodigde verwarmingscapaciteit kan de regeling van de installatie afgestemd op 65/45°C. Dit kan het beste in de praktijk bepaald worden door de zogenaamde knijp-en-piep methode: net zo lang terugregelen totdat het onbehaaglijk gaat worden en vervolgens weer iets ruimer instellen.



---

Bij het gebruik van een kamerthermostaat en een aan/uit-regeling op de ketel kan men de maximaal-thermostaat van de ketel met de hand lager instellen, bijvoorbeeld naar het voorbeeld hierboven op 65°C.

Het rendement kan in een enkel geval ook verbeterd worden door het bijplaatsen van een extra rookgaswarmtewisselaar, zodat de bestaande ketel een HR-uitvoering krijgt. Dit is alleen bij enkele grotere ketels mogelijk.

Het schoonmaken van brander en warmtewisselaar valt onder de good-housekeeping maatregelen.

#### **d. Nieuwe technieken toepassen**

##### *.1 Warmtepomp*

De warmtepomp onttrekt, zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 3.4, laag thermische warmte uit de omgeving, bijvoorbeeld van 10°C uit grondwater en transformeert deze naar een hoog thermisch niveau van bijvoorbeeld 55°C. De aandrijfenergie die hiervoor nodig is, is circa een derde of een kwart van de energie die vrij komt. Elektrisch aangedreven warmtepompen verbeteren daarmee het elektrische rendement van de elektriciteitscentrales met een factor 3 tot 4. Uitgaande van een marginaal elektrisch rendement van 45% op bovenwaarde, inclusief netverliezen, wordt de brandstofinzet in de elektriciteitscentrale voor 135 - 180% benut. Uit milieuoogpunt een zeer voordelig gebruik van brandstof.

De warmtepomp is bij uitstek een geschikte warmtebron voor nageïsoleerde monumentale panden. De warmtevraag blijft zoals gezegd vaak groot genoeg om een interessante terugverdientijd te verkrijgen voor de hiermee gemoeide meerinvestering ten opzichte van bijvoorbeeld een HR-ketel. Bovendien kan door het isoleren met lagere watertemperaturen gestookt worden en komt de houten constructie zeer ten goede. Zie hoofdstuk 3.4.

Lage temperatuursystemen (LTS) met warmtestralende oppervlakken zijn hier goed op hun plaats en kunnen bij een grootscheepse renovatie zo mogelijk het oude verwarmingssysteem vervangen. Het gaat daarbij om vloer- en wandverwarming of stralingspanelen. Gebruik makend van verwarmingsradiatoren dienen deze ruim drie keer zoveel verwarmend oppervlak te hebben dan een 90/70°C gestookt CV-systeem. Na-isolatie kan een zekere overdimensionering van bestaande radiatoren met zich meebrengen, maar zal veelal niet voldoende zijn. In een enkel geval zal gebruik gemaakt kunnen worden van plafondverwarming. Water is daarbij steeds het warmtevervoerend medium.

##### *.2 Stralingspanelen*

Stralingspanelen zijn grote vlakke radiatoren die verticaal tegen wanden staan opgesteld en vervangen in feite de radiatoren. Door de grote oppervlakken ontstaat een aangename warmtestraling bij lage radiatortemperatuur. Het convectieve aandeel van de warmteoverdracht is een stuk lager dan bij de traditionele radiatoren.

---

### *.3 Wandverwarming*

Wandverwarming wordt net als vloerverwarming gerealiseerd met slangen die in lussen in of op de muur worden aangebracht en met stucwerk worden weggewerkt. De wandtemperatuur mag hoger zijn dan de vloertemperatuur, terwijl de egalisatie van de oppervlaktetemperatuur niet zo belangrijk is als bij vloerverwarming. Vanwege de grote oppervlakken ontstaat een zeer aangenaam binnenklimaat en kan de luchttemperatuur 1 - 2°C lager worden gezet.

### *.4 Vloerverwarming*

Vloerverwarming volgens traditionele opbouw is in bestaande panden vaak niet mogelijk omdat daarvoor de beschikbare hoogte van minimaal 6 - 8 cm ontbreekt. In dergelijke gevallen kan echter ook gebruik gemaakt worden van een vlak inlegsysteem met dunne warmteleidingen, gevat in 2 cm isolatie met daar over heen een warmteverdeelplaat om de warmte zo egaal mogelijk aan de oppervlakte af te geven. Op dit systeem kan eventueel weer een houten vloer gelegd worden, waarbij de totale pakketdikte niet meer dan zo'n 3 cm hoeft te bedragen. Deze optie biedt voor monumentale panden een goed renovatiemiddel.

### *.5 Zonnecollectoren*

Zonnecollectoren worden veelal succesvol toegepast voor de opwarming van warm tapwater. Verwarming van ruimtes is een minder goede optie, omdat er weinig verwarming nodig is als de zon schijnt. Dit is weer anders als er gebruik gemaakt kan worden van een lange termijnbuffer, zoals een bodemcollector bij de warmtepomp. De zomerwarmte kan dan worden opgeslagen om in de koude periode met behulp van de warmtepomp weer te onttrekken. De temperaturen zullen daarbij niet spectaculair hoog worden, omdat de buffer zeer groot is en de warmte zich verdeelt. De warmtepomp zorgt echter voor de temperatuursprong, nodig voor het verwarmingssysteem in het stookseizoen.

Inpassing van zonnecollectoren kan net als bij luchtcollectoren op problemen stuiten als het gaat om de aantasting van het aanzicht. Plaatsing van een tapwaterboiler zal over het algemeen geen probleem zijn en kan het best zo dicht mogelijk bij de zonnecollector. De voor de hand liggende ruimte is dan vaak de zolder. Maar wellicht zijn er ook mogelijkheden voor een collector tegen een wand in de tuin of op een balkon. Waar de boiler dan het best geplaatst kan worden is bij elk pand anders. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met een zo kort mogelijke leiding naar de tappunten in de keuken en de bad- of wasruimte. Ook wasmachines kunnen hiermee hun voordeel doen en besparen een belangrijk deel van het elektriciteitsverbruik.

### *.6 Warmte/kracht-installaties*

Warmte/kracht-installaties wekken elektriciteit en warmte op met een totaalrendement van maximaal 88% en kan voor eigen gebruik ingezet worden. Ten opzichte van de elektriciteitscentrale wordt de brandstofbenutting met een factor 2 verbeterd.

---

Kleine units worden over het algemeen aan/uit geregeld; de grotere units kunnen ook modulerend geregeld worden. Afhankelijk van welk type en welke vermogensvraag bij de modulerende units, ligt de verhouding tussen beide vermogens vast. In de zomer zal de warmte/kracht-installatie dan ook veelal uit staan omdat geen warmte gewenst is. De meeste units draaien daarom netgekoppeld, zodat de stroomvoorziening altijd soepel blijft verlopen. De kleinste units hebben een elektrisch vermogen van rond 5 kW, hoewel nog kleinere van ca. 1 kW worden ontwikkeld. Bij grote gebouwen is het interessant om een warmte/kracht-installatie te laten neerzetten door het energiebedrijf. Investeren is dan niet nodig en via de energienota wordt een zodanige verrekening van gas en elektriciteit toegepast dat beide partijen daarvan voordeel hebben.

#### *.7 Warmte/koude-opslag*

Warmte/koude-opslag in de bodem is met name interessant bij gebouwen die in de zomer ook koeling nodig hebben, bijvoorbeeld kantoren en musea. Bij veel monumentale panden speelt dit geen belangrijke rol, temeer daar de gebouwmassa vanwege de steensmuren (of dikker) voor een goede accumulatie zorgen. Warmte en koude kunnen wisselend in de bodem worden opgeslagen middels grondwater, dat van een bron naar een put wordt overgeheveld en bovengronds wordt verwarmd door zonne-energie, of afgekoeld door een warmtepompsysteem.

#### *.8 Windenergie*

Windenergie zal in veel gevallen niet kunnen, omdat de meeste monumentale panden in een stedelijke omgeving staan. De meer landelijk gelegen objecten, zoals kastelen en landhuizen, liggen vaak in een historisch cultuurlandschap waardoor vanwege de landschappelijke waarde restricties worden opgelegd om er een windturbine te plaatsen. Echter, alles is in beweging en kan in de toekomst anders gewaardeerd worden. Bijvoorbeeld omdat de energieopwekking belangrijker wordt geacht en de inpassing met een vakwerkmast wellicht toch acceptabel blijkt te zijn.

### **5) Organisatie en gedrag**

Nadat alle technische mogelijkheden zijn benut om het pand zo energiezuinig mogelijk te verwarmen, rest alleen nog de gebruikersinvloed. Organisatie en gedrag zijn daarin de bepalende factoren. De organisatie bepaalt wanneer en hoe het pand gebruikt wordt; het gedrag bepaalt de mate waarin dit plaats vindt. Het tijdstip en de tijdsduur waarop verwarming nodig is bijvoorbeeld een zaak van organisatie; de temperatuurinstelling en de mate waarin geventileerd wordt is bijvoorbeeld een zaak van gedrag.

Deze aspecten zijn voor iedere gebruiker anders en min of meer gebouwonafhankelijk. Hoewel de kwaliteit van het gebouw met zijn installaties uiteraard wel bepalend zijn voor wat het gedrag uiteindelijk aan invloed heeft op het energiegebruik. In de ranking van maatregelen en de daaruit voortvloeiende energiebesparing komt deze schakel derhalve aan het eind te staan.

---

De ervaring leert dat wanneer men alert blijft op het energieverbruik en het jaarverbruik jaarlijks vergelijkt met voorgaande jaarverbruiken, er een besparing gerealiseerd wordt van zo'n 10%. Het voeren van besparingscampagnes laat in de praktijk alleen een tijdelijk effect zien en soms is er veel creativiteit voor nodig om grotere groepen gebruikers voor dit aspect blijvend te interesseren. Onder het motto 'gemak dient de mens' kan vaak meer bereikt worden en zullen initiatiefnemers moeten nadenken over wat men prettig vindt en wat weinig moeite kost om een energiezuinig gedrag te stimuleren.

Een simpel gegeven is bijvoorbeeld het gemakkelijk bereikbaar houden van verwarmingsknoppen en schakelaars. Zonder dat zal men niet steeds de moeite nemen om ze te bedienen. Bovendien kunnen bewegingsmelders en tijd klokken worden ingezet 'om de mens te dienen'.

Een opsomming van enkele maatregelen wordt hierbij weergegeven:

- Meer gebruikers gelijktijdig in een pand om van dezelfde ruimteverwarming gebruik te maken.
- Gebruik van powermanagement op de pc's, c.q. inkoop van energiezuinige apparatuur.
- Efficiënt verlichten: dus niet te veel en niet te lang, door bijvoorbeeld schakelaars bij de uitgang van een ruimte te plaatsen.
- Geen koeling toepassen als er verwarmd wordt, bijvoorbeeld door de bedieningsknoppen op een logische en makkelijk bereikbare plek te plaatsen en tussendeuren gesloten houden tussen gekoelde en/of sterk geventileerde ruimtes en verwarmde ruimtes.
- Piekverbruiken voorkomen als in het elektriciteitsstarief apart voor piekverbruik betaald moet worden. Dat betekent het spreiden van activiteiten, eventueel met behulp van schakel klokken om bijvoorbeeld keukenapparatuur na elkaar te laten inschakelen.
- ..... (vul zelf in).

---

## 6. TARIEVEN EN SUBSIDIES

### 6.1 Beoordelingscriteria

Om de economische haalbaarheid van een maatregel te beoordelen kan gebruik gemaakt worden van de reeds eerder genoemde eenvoudige terugverdientijd (t.v.t. in jaren). Hiervoor wordt de (meer)investering gedeeld door de jaarlijkse besparing die deze maatregel met zich meebrengt. De (meer)investering betreft het overblijvende deel van de (meer)investering die met de maatregel gemoeid is. Dat betekent dat hierbij rekening gehouden wordt met de subsidiemogelijkheden via concrete bijdragen van de overheid of energiebedrijven, of via belasting- en rentevoordelen die geboekt mogen worden.

De jaarlijkse besparingen hangen enerzijds samen met de hoeveelheid gas- of elektriciteitsbesparing die bereikt wordt en anderzijds met de gehanteerde tarieven.

### 6.2 Energietarieven

De tarieven voor gas en elektriciteit gedurende een terugverdienperiode van een maatregel zijn niet op voorhand bepaald. Dit in verband met de veranderende energiemarkt (meer aanbieders/concurrentie) en het beleid van de rijksoverheid (ecotax, c.q. REB). Opgemerkt dient te worden dat de prijzen van energie, conform het landelijk beleid, de laatste jaren een stijgende tendens hebben vertoond. De verwachting is dat deze trend door de overheid om strategische redenen voortgezet zal worden. Derhalve zal voor gas in zone-A tarief een gemiddelde kostprijs gehanteerd worden van rond 60 cent per m<sup>3</sup> inclusief milieuheffing en exclusief BTW.

De kosten van elektriciteit bedragen momenteel 25,55 cent per kWh in dagtarief en 12,75 cent per kWh in nachttarief, inclusief milieuheffing en regulerende energieheffing (REB) van 2,95 ct/kWh. Gezien de positieve bijdrage in de rendementsverbetering van de elektriciteitsopwekking die het gebruik van een warmtepomp met zich meebrengt is de verwachting dat de REB voor warmtepompen zal komen te vervallen. Derhalve zal voor het warmtepompverbruik gerekend worden met een elektriciteitsprijs van 22,6 cent per kWh in dagtarief en 10,3 cent per kWh in nachttarief. Deze tarieven gelden voor kleinverbruikers, zijn exclusief BTW en er wordt rekening gehouden met het dubbeltarief.

De genoemde prijzen zullen worden gehanteerd bij het afwegen van de keuzen in hoofdstuk 8 (deel 2)

---

### 6.3 Subsidieregelingen

Voor bepaalde (onderdelen van) maatregelen bestaan subsidies en/of belastingvoordelen. Enkele regelingen zijn van toepassing voor particulieren, maar de meeste regelingen zijn alleen van toepassing voor bedrijven. Hier volgt een opsomming.

1) Er is via de Energiebedrijven subsidie te verkrijgen voor eigenaren en gebruikers van onroerend goed voor het uitvoeren van energiebesparende maatregelen (Algemene Stimuleringsregeling Energiebesparing van het energiebedrijf - voorheen ISO-HR). Dit is afhankelijk van de maatregel.

2) Per 2 mei 1997 bestaat de mogelijkheid om via het Regionaal Energie Besparingsfonds (REB-fonds) 20% subsidie te verkrijgen op de resterende (meer)investering van alle maatregelen die in de zogenaamde energielijst voorkomen. Hieronder valt ook de warmtepomp. Deze regeling is geldig tot 31 december 2000. Bovendien kan de resterende 80% via de energierekening worden afbetaald door de energienota na het treffen van de maatregel op hetzelfde (lees: oude) niveau te continueren. Tijdens de afbetalingsperiode van maximaal 7 jaar wordt met een 2 - 3% lagere rente gerekend dan regulier gebruikelijk. In de berekeningen zal gerekend worden met 2,5%. Voorwaarde is wel dat de (meer)investering van de maatregel zich binnen 7 jaar terug verdient

3) Nuon heeft voor haar klanten de zogenaamde STIMMI-regeling. Hiermee kan subsidie verkregen worden voor minder rendabele maatregelen, waarbij de CO<sub>2</sub>-reductie bepalend is voor de hoogte ervan. Deze is zowel van toepassing op warmtepompen (max. fl. 400 per ton vermeden CO<sub>2</sub>) als voor na-isoleren van bestaande bouw (max. fl. 200 per ton vermeden CO<sub>2</sub>), c.q. maximaal 20% van de projectkosten.

4) Nuon heeft voor warmtepompen een Warmtepompsubsidieregeling, waarbij een deel van het investeringsbedrag van het warmtepompsysteem terug verkregen kan worden: fl. 1.000 voor het bronsysteem en fl. 750 per kW opgesteld elektrisch vermogen.

5) In de regeling Energie-investeringsaftrek (EIA) en de Regeling Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen (VAMIL), kan voor bepaalde bedrijfsmiddelen een belastingvoordeel worden verkregen. Het voordeel van de EIA komt tot uiting in een vermindering van de inkomstenbelasting of vennootschapsbelasting en bedraagt per onderdeel, voorkomend op de zogenaamde energielijst, 40 - 52% van de investering. Met een percentage van rond de 37% inkomstenbelasting, c.q. 35% vennootschapsbelasting komt dit voordeel neer op circa 14 - 19%. Het voordeel van de VAMIL betreft een boekhoudkundig rentevoordeel en kan in de praktijk neerkomen op 2 - 4%. In de berekeningen betreffende de VAMIL is, indien van toepassing, uitgegaan van een voordeel van 3%.

---

De Energielijst geeft aan welke bedrijfsmiddelen voor de EIA- of de VAMIL-regeling in aanmerking komen. Voor isolatie geldt een maximum investeringsbedrag van fl. 50/m<sup>2</sup> dat voor energie-investeringsaftrek in aanmerking komt.

6) Particulieren kunnen gebruik maken van een extra lage rente via de regeling Groen Lenen onder de categorie "duurzame energie" of "overige projecten". Maatregelen op het gebied van "duurzame energie" voor de energetische renovatie van monumentale panden omvatten onder meer PV energie, thermische zonne-energie (zonnecollectoren), warmtepompen, aardwarmte, wind- en waterenergie. Onder de categorie 'overige projecten' vallen zaken m.b.t. natuurontwikkeling, dus voor dit rapport niet relevant, de bescherming van het milieu w.o. natuur en bos. Via deze regeling kan een lening afgesloten worden (maximaal fl. 75.000) tegen een rentepercentage oplopend tot 1,5% lager dan de gebruikelijke rente. Hiertoe moet een verzoek ingediend worden bij een bank die een fiscaal Groenfonds heeft.

7) Bedrijven kunnen mogelijk gebruik maken van een extra lage rente via de regeling Groen Financieren onder de categorie "duurzame energie" of "overige projecten". Via deze regeling kan een financiering afgesloten worden voor de totale renovatie (minimaal fl. 50.000) tegen een rentepercentage oplopend tot 1,5% lager dan de gebruikelijke rente. Hiertoe moet een verzoek ingediend worden bij een bank die een fiscaal Groenfonds heeft.





---

## 7. BESCHRIJVING SITUATIE PILOTPROJECT

### 7.1 De Witte Roos

Het pilotproject, de Witte Roos aan de Oude Delft 73 te Delft, betreft een grachtenpand bestaande uit een voor- en een achterhuis, zie plattegronden in bijlage 1. Het voorhuis bestaat uit vier (bruikbare) verdiepingen en het achterhuis uit twee verdiepingen. Het pand is in het verleden in gebruik geweest als vrouwenhuis en staat op dit moment sinds enkele jaren leeg. Eigenaar is ir. Tj. Deelstra, directeur van The International Institute for the Urban Environment het IIUE, tevens opdrachtgever. De wens is om het pand op een milieu- en energieverantwoorde wijze te renoveren, te restaureren en geschikt te maken voor kantoorfunctie met de mogelijkheid voor het houden van vergaderingen, seminars en dergelijke. In het pand komt een (Europees) voorlichtingscentrum; het Stadsforum voor Duurzame Ontwikkeling. Bezoekers, congresgangers en zakelijke relaties kunnen kennis opdoen over elektriciteits- en brandstofbesparing, waterbesparing, afvalbeheer, materiaalgebruik, een gezond binnenklimaat en dergelijke. Het pand “De Witte Roos” dient hierbij als voorbeeldproject.

### 7.2 De ontwikkeling van het woonhuis vanaf de middeleeuwen tot 1800

Bij alle huistypen, zoals beschreven in de bijlage woningtypologieën van het Nederlandse woonhuis (bijlage 1), kunnen de in dit rapport beschreven maatregelen genomen worden. Het is relevant voor dit rapport om aan te geven hoe “de Witte Roos” zich heeft ontwikkelt onder invloed van de destijds heersende typologieën.

**< 1400:** Het eerste bekende huis dat als zodanig is te herkennen is het hallehuis. Hieruit ontstond, door de behoefte aan extra opslag voor de oogst, het zaalhuis rond het jaar 1000. Oorspronkelijk werd in leem gebouwd (ook in de steden) en daarna werden houtconstructies meer toegepast. De woning bestond uit een ruimte (de zaal) en extra kamers werden bereikt door aftimmeringen binnen deze zaal.

**1400-1650:** huizen met toegevoegde ruimten komen meer in trek onder invloed van de grote stadshuizen en kastelen. De belangrijkste wijziging is het voornamer maken van het voorhuis waardoor de haard en de keuken werden verplaatst naar de achterzijde van het huis. De standaard plattegrond wordt driedelig; voorhuis, binnenhaard en achterkamer. Het kenmerk van deze ontwikkeling is het verdwijnen van de zaal als enige ruimte.

De meer primitieve bebouwing in de stad is een roede (3.75m) breed en is van leem en hout gemaakt. Het eerste gebruik van steen resulteerde in het opvullen van het houten vakwerk. Door het grote

---

brandgevaar werden rond 1450 stenen zijmuren verplicht. Tussen  $\pm$  1400 -  $\pm$  1650 ontwikkelde de wetgeving zich verder totdat het complete huis behalve de voorgevel van steen diende te zijn.

Omstreeks het midden van de 17de eeuw is de toepassing van de middeleeuwse houtconstructies voorbij. De constructie werd simpeler en steeds meer aan het oog onttrokken.

Het zaalhuis wordt het meest toegepaste en ontwikkelde type. Het ontwikkelt zich van eenvoudig zaalgebouw tot een huis met o.a. een insteek, een kelder, verdieping(en), achterkamer(s), achterhuis en/of achterkeuken.

Er komt tijdens deze periode ook een ontwikkeling in de breedte wat resulteert in extra typen zoals het huis met zijbeuk, zijkamer(s), zijhuis of het dwars geplaatste voorhuis.

**1650-1800:** in deze periode wordt het huis met vrijstaand achterhuis het overheersende type. Voorheen was dit al voor de meest voornamen huizen de algemeen gebruikte vorm. De gecompliceerde huizen raken in onbruik waarbij er veel werd verbouwd aan reeds bestaande huizen.

De indeling veranderde dusdanig waardoor de trap en de gang meer waarde kregen en de ruimten minder hokkerig werden. De haard bleef belangrijk maar nam minder ruimte in.

Het interieur onderging een grote verbetering. De wanden werden gestukadoord en/of beschilderd waarbij de ruimten veel lichter en ruimer aandeden. Dit had ook als gevolg dat de brandwerendheid toenam.

In de gevel werden de kleine glas-in-lood raampjes in de loop van de 18de eeuw vervangen door een schuifvenster met vast kalf. De belangrijkste verandering was het verdwijnen van de houten gevel en het meer gesloten karakter van de huizen waarbij het leven op straat zich verplaatste naar binnen.

De woonhuisvormen die in de 17de en 18de eeuw voornamelijk werden toegepast waren het huis met achterhuis (het meest voorkomende type), het dubbele huis of het huis met een aparte bovenwoning (alleen in de grote steden).

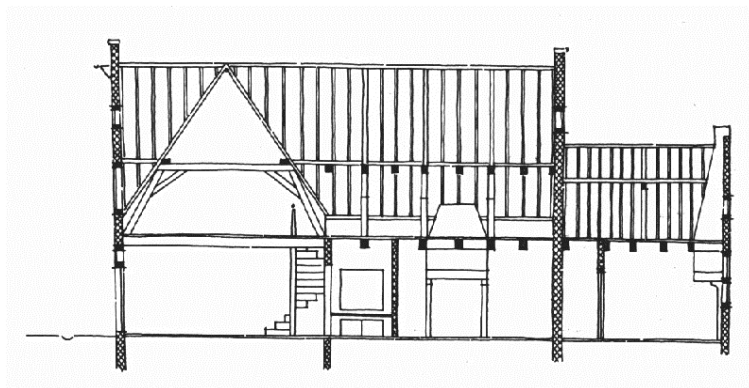
### 7.3 Typologie van “de Witte Roos”



(tekening a)

---

Dit pand is van oorsprong een 16de eeuwse huis (tekening a). Vlak voor de bouw van dit pand had een grote stadsbrand gewoed in Delft. Dit verklaart mede waarom er meteen voor stenen wanden en gevels werd gekozen. Uit die tijd zijn nog het metselwerk, de balklagen en kappanten overgebleven. De houtconstructie in het huis is kenmerkend voor de 16de eeuw waarin een overgang plaatsvond tussen het houten huis en het stenen huis. Het is van oorsprong (zie bijlage 1) een typisch zaalhuis met een halve kelder, achterkamer, twee verdiepingen (het hoofdhuis) een binnenplaats en een achterhuis (zie tekening b). Linksvoor bevindt zich een strook waar ooit een steeg liep en die aan de voorzijde overbouwd werd met een zijhuis. Het achterhuis was bereikbaar door deze poort en was apart in gebruik als brouwerij. De kap van het voorhuis was oorspronkelijk met de kap loodrecht op de straat gericht maar dit kreeg. Waarschijnlijk al in de 17de eeuw, gezien het kruisvenster in de topgevel rechts opzij, werd het voorhuis inclusief het zijhuis verbouwd en kreeg een kap evenwijdig aan de straat.



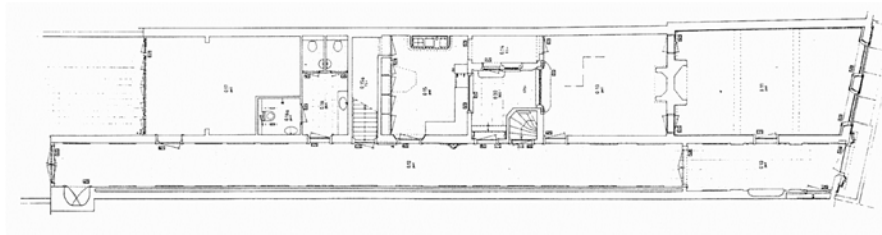
(tekening b)

De volgende grote verbouwing is tot stand gekomen in de 18de eeuw toen het pand ingrijpend is veranderd in Lodewijk de XIV-stijl. Hiervan is de voorgevel een duidelijk resultaat met kenmerkende elementen als de ingangspartij, de consoles van de gootlijst en de dakkapel. De oorspronkelijke voorgevel werd vervangen door de huidige hogere voorgevel. Er kwam hierdoor een extra verdieping bij. De kap moest daarom aan de voorzijde worden verhoogd waardoor het dakvlak hier iets minder steil werd. In die tijd ontstond ook de monumentale, met stucwerk versierde gang. Die gang wekt door de lengte van bijna veertig meter de indruk dat het om een bijzonder diep pand gaat. Dat is evenwel een illusie om indruk te maken op de bezoekers die meestal niet verder kwamen dan deze gang en enkele representatieve ruimtes. De gang wordt voor een deel gevormd door de overbouwde steeg en loopt bovendien nog tot voorbij het achterhuis in de tuin door. Op de begane grond rechts vooraan is het fraaiste vertrek van het huis gelegen. Het is een stijlkamer met houten plafondornamenten, lambriseringen en een schoorsteenmantel in Lodewijk XIV-stijl.

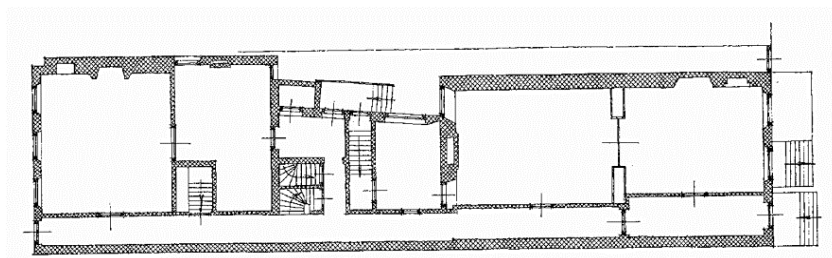
Het kenmerkende van dit pand (tekening c) is dat er in de geschiedenis vele verbouwingen hebben plaatsgevonden. Dit was typerend voor de ontwikkeling van het Nederlandse woonhuis uit die periode. In de 18de eeuw werd namelijk veel meer verbouwd dan dat er nieuwe projecten werden opgezet.

Het bewoonde deel van het huis, dat steeds statiger werd, breidde zich verder uit totdat het ook het achterhuis bevatte. Door de verbouwing, die ervoor zorgt dat de nok van het huis evenwijdig aan de straat loopt, wordt deze grotere statigheid al in een vroeg stadium bereikt. Latere ontwikkelingen in de 18de eeuw zorgen voor een zeer ontwikkeld pand.

Het uiteindelijke type (zie bijlage 1) valt te omschrijven als een zaalhuis met dwarsgeplaatst voorhuis met zij- en achterkamer, drie verdiepingen, halve kelder, achterhuis en slechts verbonden door een bij het huis betrokken vroegere poort. De indeling is nog steeds kenmerkend voor de 18de eeuw (tekening d): een voorhuis gescheiden door een binnenplaats van het achterhuis en het achtererf. De entree heeft zich verplaatst naar de gang die als samenbindend element het voorhuis, achterhuis en achtererf verbindt. De trap bevindt zich tussen het voorhuis en het achterhuis na de binnenplaats wat toendertijd gebruikelijk was.



(tekening c)



(tekening d)

## 7.4 Bouwkundig

Het pand is opgebouwd uit baksteen en grenst aan weerszijden aan andere panden. In het voorhuis is een bruikbare zolder aanwezig (bereikbaar met vlizotrap) en in het achterhuis is een loze zolder aanwezig. Het dak is grotendeels schuin met een houten dakbeschot met daarop dakpannen. Het balkon aan achterzijde bestaat uit een bitumineus plat dak belegd met tegels. Op enkele andere plaatsen in gebruik gemaakt van zinken dakbedekking. De beglazing bestaat grotendeels uit schuiframen (enkelglas), daarnaast is in de deuren veel enkelglas aanwezig.

---

In het pand met een totaal bruikbaar vloeroppervlak (bvo) van 610 m<sup>2</sup> zijn de volgende vloeroppervlakken beschikbaar:

- Kelder : circa 30 m<sup>2</sup>;
- Begane grond : circa 240 m<sup>2</sup>;
- Eerste verdieping : circa 165 m<sup>2</sup>;
- Tweede verdieping : circa 105 m<sup>2</sup>;
- Derde verdieping : circa 70 m<sup>2</sup>.

Aan de achterzijde van het pand is een kleine tuin aanwezig van circa 110 m<sup>2</sup>. Deze tuin is onlangs naar achteren vergroot en is van belang voor het aanbrengen van een bodemcollector voor een warmtepompsysteem.

## **7.5 Installatie**

Het pand werd tot op heden verwarmd/vorstvrij gehouden door een gas gestookte cv-installatie. De ketel hiervoor staat op de eerste verdieping in een aparte cv-ruimte. De ketel betreft een Ferroli (bouwjaar 1971, type 2FGN87) met een vermogen van 100,5 kW (nominale belasting 137 kW). In het pand zijn de cv-leidingen en radiatoren nog aanwezig, maar verkeren in een slechte staat van onderhoud. De ketel zal, gezien de leeftijd van 28 jaar vervangen moeten worden.

Voor de warmtapwatervoorziening is een elektrische boiler aanwezig. Het pand zelf heeft de gebruikelijke aansluitingen op de openbare nutsvoorzieningen, zoals gas, water, elektriciteit en telefoon.

Een bijzondere voorziening betreft de waterkelder onder de lange gang begane grond. Deze wordt niet gebruikt, maar zal na de renovatie weer gebruikt worden voor de opvang van regenwater om te gebruiken voor toiletspoeling en een buitenkraan in de tuin.

## **7.6 Vaststelling nulsituatie**

Door middel van een rekenmodel (zie bijlage 2) is de nulsituatie van het pand betreffende transmissie- en ventilatieverliezen vastgesteld. Uitgaande van de toekomstige bestemming van het pand (kantoren), is hiervoor gekeken naar de verschillende oppervlakken, warmtedoorgangscoefficienten (U- of k-waarden), kierwerking en interne warmtelast door zon en apparatuur.

Uit de berekeningen volgt dat onder normale omstandigheden en rekening houdend met een extra opwarmcapaciteit van 30% een installatievermogen van 100,5 kW nodig zou zijn. Met de huidige CV-

---

ketel, die een gebruiksrendement heeft van 64%, wordt het gasverbruik op 26.900 m<sup>3</sup> per jaar geprognosticeerd. Dit verbruik kan hoog genoemd worden en hangt samen met de slechte staat waarin het pand momenteel verkeert.

De EPC-berekening geeft een hogere uitkomst, maar voor de besparingsberekeningen gaan we uit van 26.900 m<sup>3</sup> per jaar.

Helaas zijn de verbruiksgegevens uit het recente verleden niet geschikt om de verbruiksprognose te verifiëren. Dit komt omdat het pand de laatste jaren niet echt warm gestookt is, maar slechts vorstvrij is gehouden. Het verbruik van de laatste twee jaar is circa 15.000 m<sup>3</sup> gas per jaar en staat in redelijke relatie met de prognose voor de normaal verwarmde toestand van het pand. Het berekende installatievermogen is wel verifieerbaar en komt met de 30% opwarmcapaciteit op het huidige geïnstalleerde ketelvermogen van 100,5 kW.

Het elektriciteitsverbruik voor de nulsituatie kan worden ingeschat op basis van het toekomstig gebruik van het pand. Enerzijds als kantoor en anderzijds als centrum voor vergaderingen, seminars en voorlichting.

De belangrijkste posten kunnen als volgt worden ingeschat:

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| – verlichting       | 12.000 kWh/a |
| – pc's              | 1.600 „      |
| – kantoorapparatuur | 1.400 „      |
| – keukenapparatuur  | 1.000 „      |
| – diversen          | 2.000 „      |
| Totaal:             | 18.000 kWh/a |

## 7.7 EPC van de nulsituatie

De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) volgens NEN-2916 voor utiliteitsgebouwen bedraagt 5,16 voor de nulsituatie en voldoet zoals verwacht niet aan de EPC-eis van 1,90 voor kantoorgebouwen. In bijlage 5A is een verkorte versie van het resultaat weergegeven.

Het brandstofverbruik voor verwarming wordt bepaald op 1.007.609 MJ (=Q<sub>prim</sub>;verwarming) en komt overeen met een gasverbruik van 28.650 m<sup>3</sup> per jaar.

Gezien de gehanteerde accumulatiemethode voor de temperatuur-tijd in de EPC-berekening, mag een hogere uitkomst verwacht worden dan volgens het Aquarius-rekenmodel. In de kuststreek is de accumulatiewaarde namelijk lager dan het gemiddelde in Nederland waarop de EPC-berekening is afgestemd.

---

## 7.8 Primair brandstofverbruik en emissie nulsituatie

Het primair brandstofverbruik kan worden uitgedrukt in m<sup>3</sup> aardgasequivalent (m<sup>3</sup>aeq), hetgeen voor de verwarming met behulp van een CV-ketel hetzelfde is als het geprognoseerde aardgasverbruik: 26.900 m<sup>3</sup>aeq per jaar.

De vraag naar elektriciteit wordt opgewekt in de elektriciteitscentrale en veroorzaakt een primair brandstofverbruik van rond 4.100 m<sup>3</sup>aeq ( $18.000 / (8,79 * 0,54 * 0,925)$ ). Hierbij wordt rekening gehouden met een gemiddeld opwekkingsrendement van 54% op onderwaarde en een distributienetverlies van 7,5% op laagspanningsniveau (0,925).

Het totaal primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik samen op 31.000 m<sup>3</sup>aeq per jaar en brengt een emissie met zich mee van 55.200 kg CO<sub>2</sub>.

---

## **8. MAATREGELEN PILOTPROJECT “DE WITTE ROOS”**

### **8.1 Inleiding**

Volgens het concept voor energetisch renoveren worden als voorbeeld de maatregelen behandeld, zoals die bij het pilotproject “de Witte Roos” aan de Oude Delft 73 te Delft uitgevoerd en/of overwogen worden. Ook de alternatieven die overwogen zijn, maar niet gekozen worden, zullen worden besproken.

Van de maatregelen worden kort de beschrijving, het besparingspotentieel en de kostenraming weergegeven. De besparingen worden enerzijds op basis van de beschikbare gebouwgegevens en energiebalansen bepaald en anderzijds op basis van ervaringscijfers en kengetallen. De genoemde cijfers worden zo veel mogelijk met uitgangspunten en berekeningen onderbouwd.

De kosten worden bepaald aan de hand van actuele prijzen zoals aangegeven in het DACE-prijzenboekje, zakboekjes van Misset en Elsevier, kengetallen van Novem, kosteninschattingen op basis van ervaring en opgevraagde offertes.

### **8.2 Good-housekeeping**

Maatregelen met betrekking tot good-housekeeping zijn bij de totaalrenovatie van het pand “de Witte Roos” niet aan de orde. Als er al leidingen geïsoleerd kunnen worden of de ketel gereinigd, verdwijnen deze toch bij de aanleg van een geheel nieuw verwarmingssysteem met warmtepomp in combinatie met wand-, vloerverwarming. Dit geldt ook voor bouwkundige en elektrotechnische zaken.

### **8.3 Reduceren van energieverlies**

In overleg met de opdrachtgever is een aantal energiebesparende maatregelen geselecteerd, die met grote waarschijnlijkheid zullen worden uitgevoerd. Voor wat betreft de maatregelen die het energieverlies reduceren, zijn hier de volgende te noemen:

- a) isolatie van het dak
- b) isolatie van de buitenwanden
- c) glasisolatie
- d) isolatie van de vloeren
- e) mechanische ventilatie met warmteterugwinning (WTW)
- f) gebruik van wand- en vloerverwarming



---

Maatregelen die nog overwogen worden zijn:

- binnenhofje overkappen met glas

Maatregelen die wel overwogen maar niet gekozen zijn, betreffen:

- isolatie aan de binnenkant van het hellend voorhuisdak
- isoleren van de voorgevel
- isoleren van kelderwanden

### **a) Isolatie van het dak**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

1. Het plafond boven de lange gang op begane grond isoleren met uitgerolde minerale woldekens van 10 cm dikte zonder dampremmende laag, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_c \geq 3,13$  m<sup>2</sup>K/W. Dit betreft de gang (0.12) met 80 m<sup>2</sup>.
2. Hellende daken isoleren met 5,5 cm hoogwaardige isolatieplaten tussen de panlatten, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_c = 3,02$  m<sup>2</sup>K/W. Dikkere isolatie is niet mogelijk vanwege de aansluitproblemen van het pannen dak die dan gaan ontstaan (op de vlakken waar pv-cellen komen wordt 3,0 cm isolatie geplaatst., zie punt 3) Tussen het dakbeschot en de platen wordt voorzien in een dampremmende folie. Aan de buitenzijde (tussen de platen en de pannen) wordt een wind- en waterkerende folie aangebracht. De dakpannen en bestaande panlatten moeten worden verwijderd vervolgens zullen tengels worden aangebracht. De isolatieplaten worden tussen de tengels gelegd, over de tengels worden nieuwe panlatten aangebracht. Dit betreft alle hellende daken, behalve de gang en de vlakken waarop photovoltaïsche (pv) cellen worden aangebracht, met een totale oppervlakte van 244 m<sup>2</sup>.
3. Alle vlakken in hellende daken waarop pv-cellen komen te liggen isoleren met 3,0 cm hoogwaardige isolatieplaten. Hierdoor ontstaat een isolatiewaarde van  $R_c = 1,70$  m<sup>2</sup>K/W. Dikkere isolatieplaten zijn niet mogelijk vanwege de esthetische inpassing van de PV-cellen in het dakvlak. Het betreft gedeelten van het dakvlak boven de balkonkamer (1,18) met 8,4 m<sup>2</sup>, kamer boven keuken (1.17) met 6,8 m<sup>2</sup> en de achterkamer 2e etage (3.15) met 10,1 m<sup>2</sup>: totaal 25,3 m<sup>2</sup>.
4. Platte daken met zinken dakbedekking isoleren met minimaal 11 cm kurk en nieuwe zinken dakbedekking, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_c \geq 3,00$  m<sup>2</sup>K/W. De isolatie komt daarvoor ingepakt te liggen tussen twee dampdichte dakbedekkingen en is bovendien goed beloopbaar door de stevigheid van het kurk. Dit betreft de gang 1<sup>e</sup> etage (1.16) met 6,3 m<sup>2</sup>.

- 
5. Balkon boven tuinkamer isoleren met minimaal 11 cm kurk en nieuwe dakbedekking van EPDM aanbrengen, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_e \geq 3,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De isolatie komt daarvoor ingepakt te liggen tussen twee dampdichte dakbedekkingen en is bovendien goed beloopbaar door de stevigheid van het kurk. Dit betreft  $14,7 \text{ m}^2$ .

De warmteweerstand (R) van het isolatiemateriaal moet tenminste  $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  zijn om voor de EIA-regeling in aanmerking te komen. De vlakken in de hellende daken waar pv-cellen worden aangebracht voldoen hier niet aan. Deze waarde is niet te bereiken met alternatieven vanwege de esthetische inpassing van zonnepanelen in het dak.

#### *Besparingen:*

1. Plafondisolatie boven de gang begane grond verkleint het verliesoppervlak van  $93$  tot  $80 \text{ m}^2$  en geeft een besparing van  $1.550 \text{ m}^3\text{gas/a}$ . Betrokken op het nieuwe verliesoppervlak van  $80 \text{ m}^2$  geeft dit een besparing van  $19,4 \text{ m}^3\text{gas/m}^2$  per jaar.
2. Hellende daken met  $5,5 \text{ cm}$  hoogwaardige isolatieplaten met een totaaloppervlak van  $244 \text{ m}^2$  geeft een besparing van  $4.000 \text{ m}^3\text{gas/a}$ . Dit geeft een specifiek besparingsgetal van  $16,4 \text{ m}^3\text{gas/m}^2$  per jaar.
3. De  $25 \text{ m}^2$  dakvlak met  $3 \text{ cm}$  isolatie, waarop photovoltaïsche (pv) cellen zijn geprojecteerd, geven een besparing van  $340 \text{ m}^3\text{gas/a}$  en geeft een specifiek besparingsgetal van  $13,5 \text{ m}^3\text{gas/m}^2$  per jaar.
4. Het plat dak en het balkondak met  $11 \text{ cm}$  kurk betreft  $21 \text{ m}^2$  en geeft een besparing van  $350 \text{ m}^3\text{gas/a}$  en een specifieke besparing van  $16,7 \text{ m}^3\text{gas/m}^2$  per jaar.
5. Naast de transmissieverliezen nemen ook de ventilatieverliezen af doordat de kieren in het dakbeschot worden in- of uitgesloten door de isolatie. Voor de afname van de ventilatieverliezen wordt een reductie van de natuurlijke ventilatiehoeveelheid geschat op gemiddeld  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , waardoor de ventilatievoud zakt van  $0,66$  naar  $0,60 \text{ x/h}$ . De bijbehorende besparing bedraagt  $390 \text{ m}^3$  gas per jaar.

De totale besparing komt daarmee op rond  $6.600 \text{ m}^3\text{gas/a}$ . Zie ook rekenmodel met en overzichtstabel in bijlage 2 en 3.

#### *Kosten:*

1. Voor het leggen van isolatiedekens op het plafond van de gang, inclusief voorbereidende werkzaamheden, worden de kosten geraamd op  $f 60/\text{m}^2$ ; met  $80 \text{ m}^2$  komt de investering op  $f 4.800$ .
2. Voor het isoleren van de hellende daken onder de pannen worden de kosten geraamd op  $f 152 / \text{m}^2$  en is als volgt opgebouwd:

---

|                                                                |   |            |
|----------------------------------------------------------------|---|------------|
| – arbeidsloon voor het verwijderen van pannen en latten        | : | f 20,- /m2 |
| – isolatieplaten van 5,5 cm Kooltherm K8                       | : | f 26,- /m2 |
| – arbeidsloon om de folies, tengels en isolatie aan te brengen | : | f 30,- /m2 |
| – panlatten en tengels                                         | : | f 4,- /m2  |
| – folies                                                       | : | f 4,- /m2  |
| – arbeidsloon om de latten aan te brengen                      | : | f 16,- /m2 |
| – arbeidsloon voor het terug leggen van de pannen              | : | f 18,- /m2 |
| – bijleveren van 25% pannen door breuk                         | : | f 9,- /m2  |
| – overhead, toezicht, winst en risico 24%                      | : | f 25,- /m2 |

Voor het dakoppervlak van 244 m2 komen hiermee de kosten op f 37.088. Voor herstellen van vorst en ondervorst wordt bovendien een post opgenomen van f 1.500, zodat de totale kosten voor dit onderdeel geraamd worden op f 38.588. Voor het isoleren van de dakvlakken onder de PV-cellen, worden de kosten geraamd op f 116,-. Voor het dakoppervlak van 25,3 m2 komen de hiermee de kosten op f 2.935. De totale kosten komen daarmee op rond f 41.500.

3. Het isoleren van het zinken dak en balkondak wordt geraamd op f 205 /m<sup>2</sup> zodat de kosten voor 21 m<sup>2</sup> neerkomen op f 4.300.

De totale kosten voor alle daken samen komen hiermee op rond f 51.000.

#### *Subsidies:*

1. Bij een minimale warmteweerstand van  $R_c = 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  en het gebruik van cfk-vrij isolatiemateriaal kan via het Energiebedrijf subsidie worden verkregen van f 6/m<sup>2</sup>. In dit geval kan dat betrokken worden op 370 m<sup>2</sup>, hetgeen een kostenreductie van f 2.220 met zich meebrengt.
2. Gezien de terugverdientijd van 7,0 jaar voor de isolatiemaatregelen alleen, dus exclusief reparatiewerkzaamheden, betreffende een bedrag van circa f 30.000, kan een bijdrage aangevraagd worden bij het REB-fonds. Dit houdt in dat er 20% op de overblijvende kosten terug verkregen kan worden en betreft f 5.560 (zie bijgestelde berekening met verbeterde isolatie in bijlage 3 in vergelijking met rapport Haalbaarheidsonderzoek Warmtepompinstallatie van januari 1999 waarin nog een bedrag van rond f 4.900 werd gehanteerd). Het overblijvende bedrag kan tegen gemiddeld 2,5% lagere rente afbetaald worden via de energienota en brengt een voordeel van f 555 met zich mee.
3. De EIA-regeling is op een gedeelte van de investering van toepassing waarbij de isolatiewaarde van  $R = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $=d/\lambda$ ) gehaald wordt. Dit betreft de onderdelen 1, 2, en 4: totaal 345 m<sup>2</sup>. Het maximum investeringsbedrag dat voor EIA in aanmerking komt bedraagt f 50/m<sup>2</sup> waardoor een kostenvermindering ontstaat van f 3.320.

De VAMIL-regeling is niet van toepassing. De totale subsidie bedraagt derhalve rond f 11.700 en de uiteindelijke kosten inclusief de kosten voor reparatie en renovatie komen daarmee op rond f 39.000.

---

De kosten van het isoleren alleen komen neer op f 18.300, zodat de terugverdiëntijd daarvan 4,6 jaar bedraagt.

### **Alternatief 1: Hellend dak voorhuis van binnenuit isoleren**

#### *Beschrijving:*

Hellende daken op de twee bovenste verdiepingen van het voorhuis isoleren aan de binnenzijde van het dakbeschot door 2 cm isolatieplaten op te sluiten tussen de gordingen met behulp van een voor- en achter liggende lat. Met een latdikte van 2 cm ontstaat een spouw van 2 cm achter de isolatie, die matig geventileerd wordt door middel van boorgaten Ø 6 mm in het dakbeschot: eenmaal aan de bovenkant en eenmaal aan de onderkant van de langgerekte spouw. De regenwerende folie die nu reeds op het dak aanwezig is, moet daarvoor ter plaatse van het boorgat een modificatie ondergaan om inwatering te voorkomen. Dit kan door het invoegen van een strook PE-folie over houten afstandhouders om de ventilatie van het boorgat te waarborgen.

Aan de binnenkant blijven de gordingen in het zicht, omdat de isolatie en de afdeklathoogte onder de hoogte van de gordingen blijven, hetgeen ook wordt nagestreefd om het aanzien van de zolder zoveel mogelijk te bewaren.

#### *Niet gekozen, omdat:*

Op zich is een dergelijke uitvoering bouwtechnisch in orde. De uitvoering is echter moeilijker dan op het eerste gezicht lijkt. De ruimte tussen de gezaagde gordingen is onregelmatig en niet altijd even recht, terwijl deze tussenruimte ook regelmatig doorbroken wordt door aanhechtingen in de kapconstructie. Elk isolatievak is daardoor maatwerk en kost veel tijd. Kierdicht werken is een belangrijke voorwaarde bij het isoleren aan de binnenkant, maar de kans dat er toch luchtlekken ontstaan is door de bewerkelijkheid moeilijk te voorkomen. Daarmee is dit alternatief niet zonder risico's vanwege het mogelijke gevaar van inwendige condensatie op het houten dakbeschot.

Bovendien moeten de pannen toch voor een deel verwijderd worden, omdat enerzijds de ventilatievoorzieningen met PE-folie moeten worden aangebracht en anderzijds reparaties aan de vorst en ondervorst uitgevoerd moeten worden. Het isoleren aan de buitenzijde wordt daardoor kosteneffectiever en brengt minder risico's met zich mee.

---

## **Alternatief 2: zolders isoleren**

### *Beschrijving*

Beloopbare zolders (die niet als leef/werkruimte worden gebruikt) en onbegaanbare vlieringen op de volgende wijze isoleren:

1. Onbegaanbare vlieringen isoleren met uitgerolde minerale woldekens van 10 cm dikte zonder dampremmende laag, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_e \geq 3,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
2. Hellende daken op beloopbare zolders in het achterhuis isoleren met spijkerflensdekens van 10 cm dikte tussen de gordingen en een dampremmende laag aan de binnenzijde (warme zijde), waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_e \geq 3,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dit betreft de zolder boven de balkonkamer (1.18) met 44 m<sup>2</sup>, kamer boven keuken (1.17) met 35 m<sup>2</sup>.

### *Niet gekozen, omdat:*

Dit alternatief is niet gekozen omdat op deze daken pv-cellen zullen worden aangebracht. Voor de esthetische inpassing is het noodzakelijk dat het vlak met dakpannen hoger wordt gelegd, hiervoor moeten alle pannen van het dak worden verwijderd. Het isoleren aan de buitenzijde wordt daardoor kosteneffectiever en brengt evenals het vorige alternatief minder bouwfysische risico's met zich mee.

## **b) Isolatie van de buitenwanden**

### Gekozen uitvoering

#### *Beschrijving:*

1. De anderhalfsteens ingebouwde buitenmuren met of zonder lambrisering aan de binnenkant, isoleren met 2 cm dikke isolatieplaten van geëxtrudeerd PS-schuim. Dikkere isolatie is vaak niet mogelijk, omdat de aansluiting in hoeken, bij kozijnen en bij plafonds dit niet toelaten en met name bij de lambrisering in de voorkamer. Hierdoor ontstaat een isolatiewaarde van  $R = 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dit betreft de voorkamer (0.11) met 39,4 m<sup>2</sup>, achterkamer (0.13) met 25,0 m<sup>2</sup>, doorloopruimte (0.14) met 8,3 m<sup>2</sup>, keukenkast (0.15) met 6,0 m<sup>2</sup>, de tuinkamer (0.17) en de door te breken sanitaire ruimte met 35 m<sup>2</sup>, gang 1<sup>e</sup> etage (1.16) met 39,7 m<sup>2</sup>, kamer boven keuken (1.17) met 7,4 m<sup>2</sup> (hier kan 4 cm isolatie i.p.v. 2), gang voorhuis (1.14) met 17,5 m<sup>2</sup>, achterkamer voorhuis (1.15) met 4,1 m<sup>2</sup>, voorkamer 1<sup>e</sup> etage (1.11) met 30 m<sup>2</sup> (hier kan 6 cm isolatie i.p.v. 2) en de kitchenette (1.13) met 1,8 m<sup>2</sup>. Als er lambrisering is, wordt deze tijdelijk verwijderd en de wand daarachter uitgevlakt. De platen worden vervolgens met vorstbestendige lijmspecie aangebracht en voorzien van een hechtlaag voor stucwerk of behang, dan wel van tengels/raggels c.q. stijl- en regelwerk met bespanningsdoek, boven de lambrisering. In de hechtlaag kan een glasvezelnet opgenomen worden om scheurwerking te voorkomen. Van de wanden zonder lambrisering moet eerst los stucwerk verwijderd worden, waarna de wand wordt uitgevlakt.

- 
2. De anderhalfsteens dikke buitenmuren aan de binnenzijde isoleren met 12 cm minerale wol, een dampremmende laag en een gipsplaat op regelwerk, waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_c = 3,01 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dit betreft de balkonkamer (1.18) met  $57 \text{ m}^2$ , de kamer boven de keuken (1.17) met  $13,5 \text{ m}^2$ , de achterkamer voorhuis 1<sup>e</sup> etage (1.15) met  $19 \text{ m}^2$ , het kabinet (1.10) met  $16,3 \text{ m}^2$  (6 cm isolatie), de voorkamer 2<sup>e</sup> etage (2.10) met  $35,8 \text{ m}^2$  en de zolder 3<sup>e</sup> etage (3.10) met  $37 \text{ m}^2$ . De gipsplaat wordt met stuc of behang afgewerkt; op een deel (1.17 en 1.15) komt wandverwarming, zie maatregel f. De dampremmende laag van bijvoorbeeld PE-folie of gebitumineerd kraftpapier wordt over het regelwerk kierdicht aangebracht, alvorens de gipsplaten te bevestigen.
  3. Als onderdeel 2, maar dan met 6 cm minerale wol voor woningscheidende of ingebouwde buitenmuren in verband met het aanbrengen van warmtewanden (maatregel f), waardoor een isolatiewaarde ontstaat van  $R_c = 1,67 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dit betreft de kitchenette (1.13) met  $8,0 \text{ m}^2$ .

*Opmerking:*

Ter plaatse van de balkkoppen wordt een zekere ruimte vrij gelaten van isolatie, zodat de warmte rondom de balkoplegging de wand kan binnendringen en de conditie van het hout gewaarborgd blijft. In de betreffende ruimte zullen de glasvlakken zodanig geïsoleerd worden, dat condensatie van vochtige lucht altijd op een glasvlak kan plaatsvinden, voordat dit op de betreffende wand gebeurt. Een gedeelte van het glasvlak dient derhalve altijd het koudste oppervlak in de ruimte te blijven en een alarmerende functie te behouden ten aanzien van extra ventilatiebehoefte.

*Besparingen:*

1. Het isoleren van anderhalf steens buitenmuren met isolatieplaten betreft  $214 \text{ m}^2$  en heeft een effectief oppervlak van  $211 \text{ m}^2$ . De besparing is  $2.540 \text{ m}^3\text{gas/a}$  en geeft een specifiek besparingsgetal van  $12,0 \text{ m}^3\text{gas/a}$ .
2. Het te isoleren oppervlak van steens buitenwanden met bij elkaar  $187 \text{ m}^2$  en een effectief oppervlak van  $128 \text{ m}^2$  buitenoppervlak geeft een besparing van  $2.530 \text{ m}^3\text{gas/a}$  en een specifiek besparingsgetal van  $19,9 \text{ m}^3\text{gas/a}$ .

De voorgevel en de gangwand zijn belangrijke onderdelen die niet in de maatregel betrokken kunnen worden, zodat het transmissieverlies daar hetzelfde blijft.

De totale besparing is rond  $5.100 \text{ m}^3\text{gas/a}$ , zie rekenmodel met en overzichtstabel in bijlage 2 en 3.

De woningscheidende wanden zijn niet meegenomen in de transmissieberekening.

---

#### *Kosten:*

1. Voor het isoleren van de anderhalfsteens buitenmuren met 2 cm dikke isolatieplaten van geëxtrudeerd PS-schuim worden de kosten geraamd op  $f\ 160\ /\text{m}^2$  en is als volgt opgebouwd:

|                                                      |   |                        |
|------------------------------------------------------|---|------------------------|
| – uitvlakken en aanhelen van wanden met los stucwerk | : | $f\ 25,-\ /\text{m}^2$ |
| – isolatieplaten van 2 cm geëxtrudeerd PS-schuim     | : | $f\ 10,-\ /\text{m}^2$ |
| – arbeidsloon om de isolatie aan te brengen          | : | $f\ 20,-\ /\text{m}^2$ |
| – afwerklaag aanbrengen met stuc en sauswerk         | : | $f\ 75,-\ /\text{m}^2$ |
| – overhead, toezicht, winst en risico 24%            | : | $f\ 30,-\ /\text{m}^2$ |

Voor het betreffende wandoppervlak van  $227\ \text{m}^2$  komen hiermee de kosten op rond  $f\ 36.320$ . Voor het verwijderen en weer terug plaatsen van de lambrisering in de voorkamer wordt een post opgenomen van  $f\ 1.700$ , zodat de totale kosten voor dit onderdeel geraamd worden op  $f\ 38.000$ .

1. Het isoleren van de steens muren met 12 cm en 6 cm minerale wol wordt geraamd op  $f\ 160\ /\text{m}^2$  zodat de kosten voor  $187\ \text{m}^2$  neerkomen op rond  $f\ 29.900$ .

De totale kosten voor alle wanden samen komen hiermee op rond  $f\ 67.900$ .

#### *Subsidies:*

1. Bij een minimale warmteweerstand van  $R_c = 1,3\ \text{m}^2\text{K/W}$  en het gebruik van cfk-vrij isolatiemateriaal kan via het Energiebedrijf een subsidie worden verkregen van  $f\ 7/\text{m}^2$ . In dit geval kan dit betrokken worden op rond  $355\ \text{m}^2$ , hetgeen een kostenreductie van  $f\ 2.485$  met zich meebrengt.
2. Gezien de terugverdientijd van 7,0 jaar voor de isolatiemaatregelen alleen, dus exclusief reparatie- en renovatiewerkzaamheden, betreffende een bedrag van  $f\ 24.000$ , kan een bijdrage aangevraagd worden bij het REB-fonds. Dit houdt in dat er 20% op de overblijvende kosten terug verkregen kan worden en betreft  $f\ 4.300$  (zie bijgestelde berekening met verbeterde isolatie in bijlage 3 in vergelijking met rapport Haalbaarheidsonderzoek Warmtepompinstallatie van januari 1999 waarin de terugverdientijd nog te groot was). Het overblijvende bedrag kan tegen gemiddeld 2,5% lagere rente afbetaald worden via de energienota en brengt een voordeel met zich mee van  $f\ 430$ .
3. De EIA-regeling is op een gedeelte van de investering van toepassing waarbij de isolatiewaarde van  $R_c = 3,0\ \text{m}^2\text{K/W}$  ( $=d/\lambda$ ) gehaald wordt. Dit betreft onderdeel 2 met  $162\ \text{m}^2$ . Het maximum investeringsbedrag dat voor EIA in aanmerking komt bedraagt  $f\ 50/\text{m}^2$  waardoor een kostenvermindering ontstaat van  $f\ 1560$ .

De VAMIL-regeling is niet van toepassing. De totale subsidie bedraagt derhalve rond  $f\ 8.800$ . De uiteindelijke kosten komen op rond  $f\ 59.000$ . De kosten van het isoleren alleen komen op  $f\ 15.200$ , zodat de terugverdientijd daarvan 5,0 jaar bedraagt.

---

## **Alternatief 1: Binnenhofje overkappen met glas**

### *Beschrijving:*

De buitenwanden grenzend aan het binnenhofje, tussen het voor- en achterhuis, behoeven niet geïsoleerd te worden als het binnenhofje overkapt wordt met glas, zodat er een serre ontstaat. Dit geeft vele voordelen in verband met isoleren van wanden en het kunnen ventileren met voorverwarmde lucht, maar is qua uitvoering moeilijk vanwege de vorm die toegepast kan worden. In verband met de aansluiting op de wanden moet op verschillende hoogtes rekening gehouden worden met raampartijen en aan een kant met een dakgoot.

De voordelen in verband met het isoleren zijn, dat de noodzaak vervalt om de ingesloten wanden en ramen te isoleren, waarmee een aantal moeilijke isolatieonderdelen wegvalt. Bovendien wordt de gangwand, die op geen enkele manier geïsoleerd kan worden in verband met sierstucwerk en een wandfontein aan de binnenwand en de koudebrugproblemen die ontstaan als van buitenaf geïsoleerd wordt, beter beschermd. Dit vanwege de gemiddeld hogere wandtemperatuur die daarvan het gevolg is en een geringere kans op schimmelvorming of loskomend stucwerk door condenserend leefvocht.

### *Wordt overwogen:*

Deze optie blijft voorlopig open en wordt nader onderzocht op technische en financiële mogelijkheden.

## **Alternatief 2: Voorgevel isoleren**

### *Beschrijving:*

Voorgevel achter de houten coulissen, waarin de raamluiken worden opgeborgen, isoleren door middel van ingeblazen minerale wol in de holle ruimtes tegen de buitenwand aan.

### *Niet gekozen, omdat:*

Dit is geen goed alternatief, omdat enerzijds geen damprem aangebracht kan worden aan de warme zijde van de isolatie en anderzijds de holle ruimtes zeer sterk in afmetingen variëren en bij de luikkasten ontbreken. Het weglaten van een kierdichte damprem is absolute ontoelaatbaar vanwege inwendige condensvorming achter de isolatie tegen de buitenmuur. De onregelmatige isolatiedikte veroorzaakt koudebruggen op de niet of nauwelijks geïsoleerde delen. Bovendien zou de isolatie door moeten lopen tot in de dag van de kozijnen, hetgeen niet mogelijk is zonder de monumentale waarde van de binnengevelbekleding aan te tasten.

Er is derhalve voor gekozen om de voorgevel helemaal niet te isoleren. De warmte van binnen kan daardoor de binnengevel gelijkmatig op een redelijke temperatuur houden, waardoor de kans op



---

condenserend vocht niet toeneemt. Omdat dit gevaar echter altijd bestaat, mogen de ramen niet te goed geïsoleerd worden. Het glas dient altijd het koudste binnenoppervlak te blijven, zodat daarop het eerst condensvorming optreedt en de lucht aan het glas gedroogd wordt. Condens op de ramen is voor de gebruiker een signaal dat gekeken moet worden naar de ventilatiebehoefte in de betreffende ruimte. Wanden die ook nog aan het zicht onttrokken zijn door een houten lambrisering, mogen deze rol van het glas absoluut niet overnemen. Dat betekent dat de isolatiewaarde van het glas de isolatiewaarde van de stenen buitengevel niet mag overtreffen.

Een steensdikke buitenmuur die van binnen afgewerkt is met een stuclaag van een cm heeft een R-waarde van 0,37 m<sup>2</sup>K/W. Dubbelglas heeft een R-waarde van 0,33 m<sup>2</sup>K/W, zodat deze combinatie goed samengaat. Beter isolerend glas, zoals HR-glas is niet gewenst. Ook bij anderhalfsteens dikke wanden is dat nog zo, omdat dan de isolatiewaardes te dicht bij elkaar liggen.

Buiten dat is het bij de kozijnen het meest kritisch, omdat daar vaak alleen de kozijndikte geldt van bijvoorbeeld 7-8 cm. Bij het pilotproject de Witte Roos zijn bij de voorgevel dagstukken van hout toegepast, zodat daardoor de weg van de minste geleidingsweerstand wordt opgerekt tot de wanddikte. Op andere plaatsen is dat echter niet het geval, zodat daar niet meer dan voorzetglas toegepast mag worden. Dit wordt bij de volgende maatregel behandeld.

### **c) Glasisolatie**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

1. Aanbrengen van voorzetramen uitgevoerd als een harmonicascherm dat net als de binnenluiken opzij geschoven of gedraaid kan worden. Hierdoor kunnen de schuiframen in functie blijven. Dit betreft alle glasoppervlakken behalve de tuindeurgevel. De kierende werking van de harmonicaconstructie dient ervoor te zorgen dat condensatie van vochtige lucht op het buitenglasvlak kan blijven plaatsvinden, zodat een alarmfunctie uitgaat voor de behoefte aan extra ventilatie in de ruimte.
2. De glasgevel rondom de tuindeuren worden voorzien van gewoon dubbelglas met een U-waarde van 2,8 W/m<sup>2</sup>K. De tuindeuren zelf blijven onveranderd voorzien van enkelglas om condensatie van vochtige lucht naar zich toe te trekken.

*Besparingen:*

1. Het te isoleren oppervlak met voorzetglas betreft 71 m<sup>2</sup> en brengt een besparing met zich mee van 1.800 m<sup>3</sup>gas/a. Dit geeft een specifieke besparing van 25 m<sup>3</sup>gas/m<sup>2</sup> per jaar.

- 
2. Door het gelijktijdig verbeteren van de kozijnkwaliteit zal de kierwerking afnemen en daarmee ook de ventilatieverliezen. Schatting is dat hierdoor de natuurlijke ventilatie eveneens zal reduceren met 100 m<sup>3</sup>/h, hetgeen een besparing met zich meebrengt van 400 m<sup>3</sup>gas/a.

De totale besparing komt daarmee op rond 2.200 m<sup>3</sup>gas/a.

*Kosten:*

De kosten van het aanbrengen voorzetramen bedragen, mede gezien de hoge moeilijkheidsgraad, zo'n f 500/m<sup>2</sup>, zodat de totale kosten voor 76 m<sup>2</sup> rond f 38.000 bedragen. Subsidieregelingen zijn niet van toepassing. De terugverdientijd bedraagt 28 jaar.

### **Alternatief 1: Voorzetglas in schuiframen**

*Beschrijving:*

Aanbrengen van een extra standaard blank glazen plaat aan de binnenzijde van de beglazing, zonder het aanwezige glas te verwijderen, waardoor de U-waarde afneemt van 5,0 naar 2,8 W/m<sup>2</sup>K. De buitenstijlen blijven van buiten normaal zichtbaar en heeft een hogere prioriteit dan het zicht van binnenuit. De kozijnen moeten daarvoor op diverse punten worden aangepast om de diepte van de sponningen voldoende groot te maken. In de schuiframen worden kleine ruiten in het bestaande roedenpatroon aangebracht en deels verzonken, waarna ze met glaslatjes op de bestaande roeden worden vastgelijmd.

*Niet gekozen, omdat:*

Het roedenpatroon wordt door de opdikking esthetisch te zwaar en derhalve niet acceptabel bevonden.

### **d) Isolatie van de vloeren**

Gekozen uitvoering

*Geen vloerisolatie.*

### **Alternatief 1: Isoleren met schelpen**

*Beschrijving:*

Onder de voorkamervloer (circa 40 m<sup>2</sup>) zal een laag schelpen worden gespoten (bijvoorbeeld door Isoschelp Yerseke) nadat hiervoor een laag zand is weggehaald. De laag schelpen zal een R-waarde

---

van minimaal 3,0 moeten hebben om de EIA-regeling van toepassing te doen zijn. Met de maatregel worden vochtproblemen voorkomen en wordt tevens isolatie bewerkstelligd.

*Besparingen:*

Door deze maatregelen in te voeren wordt een jaarlijkse besparing gerealiseerd van rond 400 m<sup>3</sup> gas/a.

*Kosten:*

De kosten voor het aanbrengen van een laag schelpen in de kruipruimte bedragen f 30/m<sup>2</sup>; voor het uitgraven van een laag zand f 50/m<sup>2</sup>; totaal f 80/m<sup>2</sup>. Voor 40 m<sup>2</sup> is dit f 320.

### **e) Mechanische ventilatie met warmteterugwinning**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

Installatie van mechanische ventilatie met luchtkanalen voor inblaas en afzuiging van ventilatielucht, ventilatoren, roosters, inclusief verwarming van de luchttoevoer en inclusief warmteterugwinning (wtw). Het totale luchtverzet dient daarbij in de basissituatie 1.545 m<sup>3</sup>/h te bedragen. Voor extra ventilatie tijdens congressen zullen in de ruimtes 0.11, 0.13, 1.11, 2.10+2.15 aparte ventilatie-units worden geplaatst met een totale capaciteit van 2.400 m<sup>3</sup>/h. In de keuken zal bovendien nog een afzuigkap met een aparte afvoer worden aangebracht met een capaciteit van 150 m<sup>3</sup>/h.

De warmteterugwin-unit met een hoog rendement van 90% wordt als een extra investering beschouwd waardoor een besparing op de nodige ventilatie in de kantoren ontstaat.

*Besparingen:*

Door het mechanische ventileren zal het niet meer nodig zijn om met open ramen en deuren te ventileren, waardoor de gemiddelde natuurlijke ventilatie (ongecontroleerde ventilatie door kieren en openslaande ramen en deuren) tot naar schatting 200 m<sup>3</sup>/h zal afnemen. Tijdens de wekelijkse bedrijfstijd van 5 x 10 uur per dag wordt mechanisch 1.545 m<sup>3</sup>/h lucht ververst waaruit de warmte wordt teruggewonnen. Gewogen naar tijd geeft dit een gemiddelde basisventilatie van 460 m<sup>3</sup>/h (1.545\*5\*10/168). De natuurlijke ventilatie gaat continu door.

De besparing die hierdoor ontstaat bedraagt 2.900 m<sup>3</sup>gas/a. De geïnstalleerde ventilatoren gebruiken daarentegen extra elektriciteit en betreft 2.340 kWh/a (52\*5\*10\*0,45\*2). Omgerekend naar primaire brandstof is dit 530 m<sup>3</sup>aeq/a, zodat de uiteindelijke besparing op primaire brandstof gelijk is aan rond 2.400 m<sup>3</sup>aeq/a.

---

#### *Kosten:*

De kosten voor de mechanische ventilatie zijn aan de hand van een nauwkeurige calculatie geraamd op f 85.000. De kosten van de HR warmteterugwin-unit worden geraamd op f 10.000, zodat de totale kosten neerkomen op f 95.000.

1. Via het REB-fonds kan voor de meerinvestering van de warmteterugwin-unit als onderdeel van het systeem een subsidie van 20% verkregen worden. De kosten hiervoor worden geraamd op f 9.000 en zijn met een kostenbesparing van f 1.280 per jaar binnen 7 jaar terugverdiend. Op de overige 80% is nog 2,5% rentevoordeel te boeken door afbetaling via de energienota. De kosten worden hiermee gereduceerd met f 2.000.
2. Bovendien kan via de EIA- en de VAMIL-regeling circa 22% (19,2% + 3%) op deze kosten nog eens f 2.000 worden teruggekregen.

De totale subsidie bedraagt nu rond f 4.000. De uiteindelijke kosten komen op rond f 90.000. Deze investering kan niet als terugverdieninvestering beschouwd worden, maar als een noodzakelijke comfortverbetering als het gaat om een kwalitatief hoogwaardig kantoor, dat tevens open staat voor publiek vanwege de voorbeeldfunctie die het wil geven.

De kosten van de warmteterugwinning alleen komen op f 5.000, zodat de terugverdientijd daarvan 3,9 jaar bedraagt.

#### **f) Gebruik van wand- en vloerverwarming**

Gekozen uitvoering

##### *Beschrijving:*

Op de bestaande wanden, zo veel als nodig is voor de gevraagde warmtebehoefte per ruimte (aangegeven in de bestekomschrijving), wandverwarming aanbrengen door middel van vloerverwarmingsslangen. Deze kunnen mechanisch bevestigd worden op de bestaande stenen binnenwanden of op de nieuwe beplating van de nageïsoleerde buitengevelwanden. De leidingen, net als bij vloerverwarming, aansluiten op een verdeler en de temperatuur regelen met regelventiel per afgaande groep. De leidingen op de wanden rondom inpakken met leemstuc van 3 cm dikte, in meerdere lagen aangebracht. De toplaag in een kleurlaag aanbrengen, afgestemd op de wensen voor het interieur. Het gaat daarbij om de volgende oppervlakken:

1. Buitengevel met isolatie betreffende de kamer boven de keuken (1.17) met 13,5 m<sup>2</sup>, de achterkamer voorhuis 1<sup>e</sup> etage (1.15) met 19 m<sup>2</sup>, de kitchenette (1.13) met 8,0 m<sup>2</sup>, de voorkamer 2<sup>e</sup> etage (2.10) met 35,8 m<sup>2</sup> en de zolder 3<sup>e</sup> etage (3.10) met 37 m<sup>2</sup>. Hiervoor worden op de gipsplaat de wandverwarmingsslangen (dezelfde als voor vloerverwarming) mechanisch bevestigd en met 3 cm

---

leemstuc afgedekt. De mechanische bevestiging van de slangen dient ten dele op het regelwerk plaats te vinden, zodat de leemlaag via de slangen goed komt vast te zitten aan de constructie. Een bewapening van gaas kan daarbij extra steun geven.

2. Binnenwanden zonder isolatie met een totaal oppervlak van 100 m<sup>2</sup>.
3. Aanbrengen van vloerverwarming bestaande uit dunne platen van PS-schuim met daarin/op een metalen warmteverdeelsysteem: in het achterhuis een deel van de vloeren op de begane grond circa 60 m<sup>2</sup> en op de verdiepingsvloeren 140 m<sup>2</sup>. Over het droog verlegde systeem worden nieuwe vloerdelen gelegd (tuinkamer 0.17). In de keuken wordt onder de vloer met marmeren tegels een laag zand weg gegraven, zodat er ruimte ontstaat voor traditionele vloerverwarming waarop de marmeren tegels worden teruggelegd.

#### *Besparing:*

Uit ervaring, maar ook uit berekeningen volgens Fanger, kan met wand- en vloerverwarming de luchttemperatuur 1-2°C lager ingesteld worden. Hierdoor reduceren de transmissie- en ventilatieverliezen en kan de stookgrens verlaagd worden. Gezien de ruimtelijke verhoudingen wordt de dagtemperatuur van 20°C met 1,17°C verlaagd en de nachttemperatuur van 15°C met 1,21°C, waardoor de gemiddelde binnentemperatuur van 16,8 naar 15,6°C zakt. Hierbij wordt vloerverwarming nog buiten beschouwing gelaten, omdat dit niet overal wordt toegepast.

Er wordt in totaal 57 m<sup>2</sup> buitengevel voorzien van warmtewanden en betreft voornamelijk de anderhalf steens wanden met een totaal oppervlak van 211 m<sup>2</sup>. Het warmteverlies als gevolg van het verhogen van de binnenwandtemperatuur door de wandverwarming neemt met 35% toe. Gemiddeld is dit 9,5% ( $57 \cdot 35 / 211$ ) voor het gehele oppervlak. Hiermee wordt de U- of k-waarde in het rekenmodel gecorrigeerd.

Door beide tegengestelde effecten blijft een besparing over van 500 m<sup>3</sup>gas/a, zie overzichten in bijlage 2 en 3.

#### *Kosten:*

De kosten voor het aanbrengen van wand- en vloerverwarming worden geraamd op f 200/m<sup>2</sup>. De investeringskosten worden voor 129 m<sup>2</sup> wandverwarming op rond f 26.000 en voor 200 m<sup>2</sup> vloerverwarming op f 40.000 geraamd, samen f 66.000.

Van het Energiebedrijf kan subsidie verkregen worden van f 4/m<sup>2</sup> voor 60 m<sup>2</sup> begane grondvloer en is een bedrag van f 240 bedragen.

De REB-, EIA- en VAMIL-regeling is niet van toepassing. De totale subsidie bedraagt derhalve f 240. De uiteindelijke kosten blijven rond f 66.000. Deze investering kan niet als terugverdieninvestering beschouwd worden, maar als een noodzakelijke kostenpost om de warmte in het pand te distribueren – een vervanging van het traditionele radiatorsysteem.

---

## 8.4 Passieve zonne-energie toepassen

De impact die passieve zonne-energie via glas in ramen op het pand heeft, is verdisconteerd in het rekenmodel voor de geprognosticeerde warmtebehoefte. De binnenkomende zonnewarmte is een bijdrage in de warmtelast die in het pand aanleiding geeft tot een gemiddeld lagere stookgrens, net als de interne warmtelast vanwege verlichting, menselijke warmteafgifte en kantoorapparatuur. Maatregelen die in het pilotproject “de Witte Roos” een extra bijdrage leveren betreffen het eventueel overkappen met glas van het binnenhofje en de volgende maatregel:

g) Trombewand

### g) Toepassen van een Trombewand

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

Installatie van een Trombewand op een gedeelte van de buitenkant van de zuidmuur boven de gang aan de achterzijde van het pand (circa  $2,5 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$ ). Een Trombewand wordt uitgevoerd met een glasplaat, welke wordt gemonteerd op de zonzijde van een blinde muur met een luchtsponw ertussen. Door het broeikaseffect wordt de lucht in de spouw opgewarmd en zal door thermische trek naar boven stromen. De opgewarmde lucht boven in de spouw wordt afgezogen en toegevoerd aan het luchtventilatiesysteem van het pand. In principe verloopt de aanzuig van verse lucht in het stookseizoen altijd via de Trombemuur. In de zomer wordt de lucht zonder tussenkomst van de Trombemuur direct van buiten aangezogen om onnodige warmtelast te voorkomen.

*Besparingen:*

De interne warmteproductie wordt door deze maatregel verhoogd, zodat minder gestookt hoeft te worden (de stookgrens wordt verlaagd). Voor de Trombewand is een vermogen berekend van circa  $117 \text{ W/m}^2$ . De totale gasbesparing die hierdoor ontstaat bedraagt  $2.000 \text{ m}^3\text{gas/a}$ .

*Kosten:*

De kosten van de installatie van een Trombewand worden geraamd op circa  $f 550/\text{m}^2$ , zodat de totale kosten  $f 8.300$  bedragen.

1. Gezien de terugverdientijd van 6,9 jaar kan een bijdrage aangevraagd worden bij het REB-fonds, hetgeen inhoudt dat er 20% op de overblijvende kosten terug verkregen kan worden. Het overblijvende bedrag kan tegen gemiddeld 2,5% lagere rente afbetaald worden via de energienota. De totale subsidie betreft  $f 1.800$ .

2. De EIA- en de VAMIL-regeling zijn (nog) niet van toepassing, omdat het een nieuwe techniek betreft. Voor de EIA-regeling is de techniek echter aangemeld en ervan uitgaande dat tegen de tijd dat er een aanvraag wordt ingediend deze geldig zal zijn, kan een bijdrage verwacht worden van *f* 1.600.

De totale subsidie bedraagt rond *f* 3.400. De uiteindelijke kosten komen daarmee op rond *f* 5.000, zodat de terugverdientijd daarvan 4,2 jaar bedraagt.

## 8.5 Warmtebron verbeteren

Na uitvoering van de hiervoor behandelde isolatiemaatregelen is het benodigde vermogen voor verwarming nog 58 kW (in nulsituatie 100 kW). Van dit vermogen kan circa 24 kW worden geleverd met wandverwarming en vloerverwarming. De overige circa 34 kW zal geleverd moeten worden met luchtverwarming.

De af te geven wand- en vloerverwarming betreft het volgende:

| Ruimte                          | Wandverwarm.<br>[m2] | Vloerverw.<br>[m2] | Vermogen<br>[kW] |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| Voorkamer 0.11                  | 37.1                 |                    | 3.26             |
| Achterkamer 0.13                | 21.0                 |                    | 1.85             |
| Doorloopruimte 0.14             |                      |                    |                  |
| Keuken 0.15                     |                      | 15.7               | 0.99             |
| Toiletten 0.16                  |                      |                    |                  |
| Tuinkamer 0.17                  |                      | 37.2               | 2.34             |
| Gang 0.12                       |                      |                    |                  |
| Kelder 00.1                     |                      |                    |                  |
| Bibliotheek 1.18                |                      |                    |                  |
| Gang + trappenhuis 1.16         |                      |                    |                  |
| Kamer boven keuken 1.17         | 31.5                 |                    | 2.77             |
| Gang voorhuis 1.14              |                      |                    |                  |
| Achterkamer voorhuis 1.15       | 13.5                 |                    | 1.19             |
| Voorkamer voorhuis 1.11         | 17.6                 |                    | 1.55             |
| Kitchenette 1.13                | 8.0                  |                    | 0.70             |
| Kabinet 1.10                    |                      |                    |                  |
| Achter+Voorkamer 2.15+2.10      |                      | 97.0               | 6.11             |
| Zolder 3.10                     |                      | 50.0               | 3.15             |
| Luchtverwarming in alle ruimtes |                      |                    | 34.1             |
| Totaal                          | 129                  | 200                | 58.0             |

---

Maatregelen die vallen onder het verbeteren van de warmtebron zijn de volgende:

- h) vervanging van de CV-ketel door een warmtepompsysteem
- i) installatie van zonnecollectoren gekoppeld aan de bron van de warmtepomp
- j) installatie van photovoltaïsche zonnecellen

Maatregelen die wel overwogen maar niet gekozen zijn, betreffen:

- alternatieven voor de warmtepompinstallatie
- toepassen van een zonneboiler voor warm tapwater

#### **h) Vervanging CV-ketel door warmtepompsysteem**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

Installatie van een warmtepomp inclusief een gesloten verticale grondcollector die warmte uit de bodem onttrekt (geen grondwateronttrekkingen) en overbrengt op het warmtedistributiesysteem met wand-, vloer- en luchtverwarming. Het gevraagde vermogen kan niet alleen gerealiseerd worden door het warmtepompsysteem (WP-systeem), omdat vanwege ruimtegebrek maximaal 6 grondsondes (50 meter diep) kunnen worden geplaatst. Derhalve is naast het warmtepompsysteem een kleine HR-combiketel benodigd, om aan de uiteindelijke warmtevraag voor transmissie- en ventilatieverlies tegemoet te komen. Hiermee kan tevens warm tapwater bereid worden, zodat geen extra boilervat benodigd is. Het geoffreerde warmtepompsysteem inclusief grondcollectoren betreft een systeem met een nominaal vermogen van 23 kW<sub>th</sub>. Dit betekent dat de rest van het benodigde vermogen van 35 kW (58 - 23) door de HR-combiketel moet worden aangevuld.

*Besparingen:*

Het WP-systeem met een vermogen van 23 kW kan 80% van de jaarlijkse warmtevraag dekken, op basis van de belastingsduur (73%) en de gunstige belastingeffecten door toepassing langzame opwarming in de ochtend en van de wand- en vloerverwarming (7%).

Hierbij dient voorrang verleend te worden aan de warmtelevering door de warmtepomp ten opzichte van de warmtelevering door de HR-combiketel. Dit geeft een gasbesparing van 6.370 m<sup>3</sup>/a; het nieuwe gasverbruik bedraagt nu 1.130 m<sup>3</sup>/a.

Het WP-systeem gebruikt echter elektriciteit om de warmte van de grondcollectoren op een temperatuurniveau te brengen van 35°C - de aanvoertemperatuur voor wand- en vloerverwarming.

Bij een brontemperatuur van gemiddeld 6°C bedraagt de c.o.p. circa 4,5 hetgeen als gemiddelde waarde wordt aangehouden. Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp komt hiermee op 8.230 kWh/a. De circulatiepomp in de grondcollector veroorzaakt eveneens extra elektriciteitsverbruik en



---

wordt ingeschat op 70 kWh/a, zodat het meerverbruik aan elektriciteit 8.300 kWh/a bedraagt. Samen met het elektriciteitsverbruik van het kantoor in de nulsituatie van 18.000 kWh komt het totaalverbruik op 28.600 kWh/a. Het totaal primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik nu samen op 7.600 m<sup>3</sup>aeq per jaar en brengt een emissie met zich mee van 13.500 kg CO<sub>2</sub>: een reductie van 75% ten opzichte van de nulsituatie.

Als ervan uitgegaan wordt dat 75% van de elektriciteit uit het dagtarief wordt gehaald en 25% uit het nachttarief (voor 07.00 uur pand opwarmen), bedragen de jaarlijkse energiekosten van gas- en elektriciteitsverbruik samen f 6.480 ( $1.500 \cdot 0,60 + 28.100 \cdot (0,75 \cdot 0,226 + 0,25 \cdot 0,103)$ ), hetgeen een kostenbesparing met zich meebrengt van f 2.210.

*Kosten:* De kosten voor het totale systeem bestaat uit de volgen de onderdelen.

|                                 |   |          |
|---------------------------------|---|----------|
| – WP-systeem (offerte)          | : | f 37.543 |
| – Installatiekosten             | : | f 1.000  |
| – HR-combiketel + warm tapwater | : | f 9.700  |
| Totaal                          | : | f 48.243 |

Voor de kosten van het warmtepompsysteem inclusief grondcollectorsysteem met 6 grondsondes is gebruikt gemaakt van de offerte uitgebracht door Techneco, waarin tevens rekening gehouden is met de kosten voor een kraan nodig om de grondboormachine in de achtertuin te tillen. In de warmtapwatervoorziening wordt de elektrische boiler vervangen door een HR-combiketel.

Bij de investering van de warmtepomp moet ook rekening gehouden worden met de infrastructuur voor de warmtedistributie en de consequenties voor de warmtapwatervoorziening. Voor de haalbaarheid is een aparte studie verricht waarin de subsidiemogelijkheden worden behandeld. Zie rapport Haalbaarheidsonderzoek Warmtepompinstallatie van januari 1999.

### **Alternatief 1: HR-ketel**

#### *Beschrijving:*

Installatie van een atmosferische HR-ketel met een capaciteit van 58 kW (inclusief rookgasafvoer en thermo-elektrische beveiliging), een warmtedistributiesysteem met wand-, vloer- en luchtverwarming met daarnaast warmtapwatervoorziening door middel van een indirect gestookte boiler.

*Besparingen:* Door de overblijvende warmtevraag te dekken met een HR-ketel in plaats van de bestaande ketel ontstaat na het treffen van alle voorgaande energiebesparingsmaatregelen een

---

besparing van 1.850 m<sup>3</sup> gas op het overblijvende gasverbruik. Het nieuwe gasverbruik bedraagt 5.650 m<sup>3</sup>/a. De vraag naar elektriciteit blijft hetzelfde als in de nulsituatie en bedraagt 18.000 kWh per jaar.

Het totaal primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik nu samen op 10.300 m<sup>3</sup>aeq per jaar en brengt een emissie met zich mee van 18.300 kg CO<sub>2</sub>: een reductie van 67% ten opzichte van de nulsituatie.

In geld uitgedrukt bedragen de jaarlijkse energiekosten f 7.360 en geeft een besparing van f 1.1140, zie spreadsheetoverzicht in de bijlage 3.

*Kosten:* De kosten voor het totale systeem bestaat uit de volgen de onderdelen.

- installatie van een HR-ketel : f 12.000
- warmtapwatervoorziening : f 9.700
- Totale projectkosten : f 21.700

*Subsidies:*

1. De REB-, en de VAMIL-regeling zijn niet van toepassing.
2. Via de EIA-regeling kan bij aanschaf van een ketel circa f 2.300 (0.52\*0.37\*12.000) worden terugverkregen. De terugverdientijd van de overblijvende investering is 17 jaar en ligt binnen de levensduur van een CV-ketel waarvoor 20 jaar aangehouden wordt.

*Niet gekozen, omdat:*

Mits de meerinvestering voor een warmtepompinstallatie voor een deel gedragen wordt door subsidies, is de terugverdientijd van de overblijvende investering van ruim 5 jaar interessant. Gezien de voorbeeldfunctie van het pand “de Witte Roos” voor energetische projecten in internationaal verband wordt de warmtepomp gekozen en niet voor de HR-ketel.

## **Alternatief 2: WP-systeem met grachtwater als warmtebron**

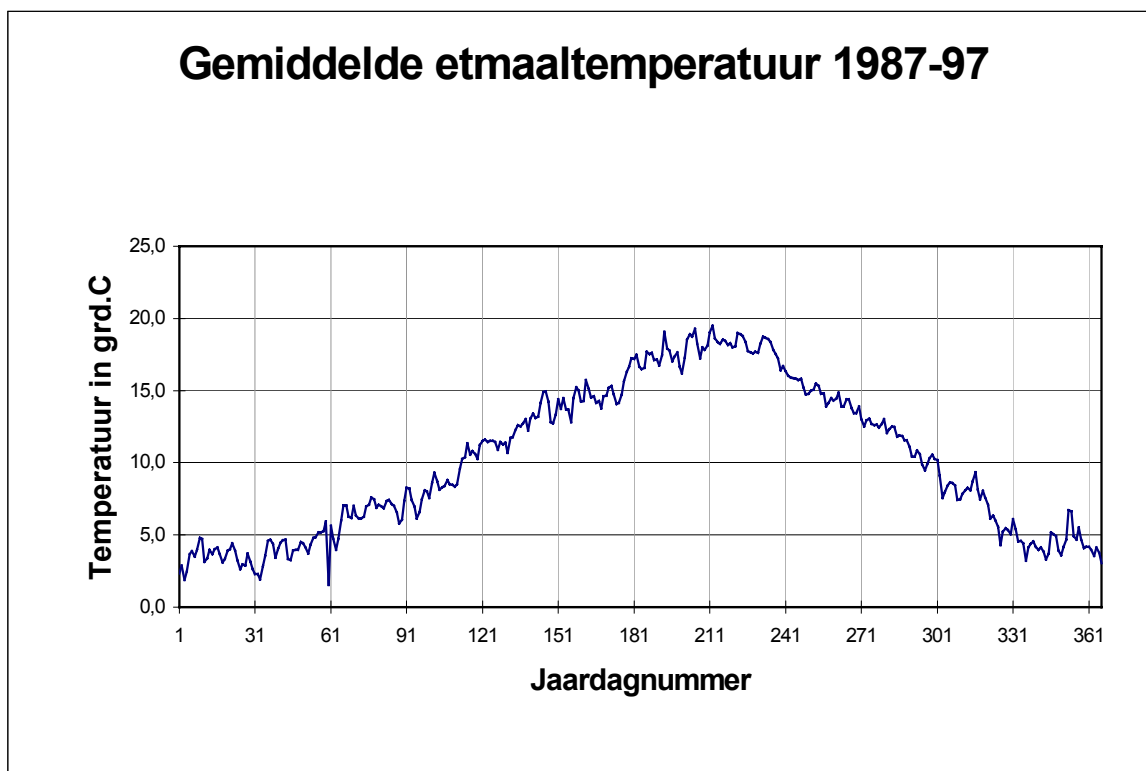
*Beschrijving:* Installatie van een warmtepomp inclusief een aanvoer- en retourleiding naar de gracht van de Oude Delft om grachtwater in te nemen als omgevingswarmtebron en deze overbrengt op het warmtedistributiesysteem met wand-, vloer- en luchtverwarming. Het afgekoelde water met een maximaal debiet van 6,1 m<sup>3</sup>/h dient stroomafwaarts op 6 m afstand van het innamepunt gespuid te worden om thermische kortsluiting in de gracht te voorkomen. De stroming in de gracht wordt veroorzaakt door gemeentelijke bemaling (debiet Oude Delft circa 1.000 m<sup>3</sup>/h), terwijl Gist Brocades warmte in het grachtwater loost en de temperatuur doet stijgen. Voor de periode dat het grachtwater in de winter beneden 5°C komt, kan het WP-systeem geen gebruik meer van het water wegens bevriezingsgevaar voor de warmtewisselaar. Een gasgestookte CV-ketel met 100% (= 58 kW) capaciteit zal

---

daarom stand-by moeten blijven staan. Eventueel kan hiervoor de bestaande oude ketel nog dienst doen.

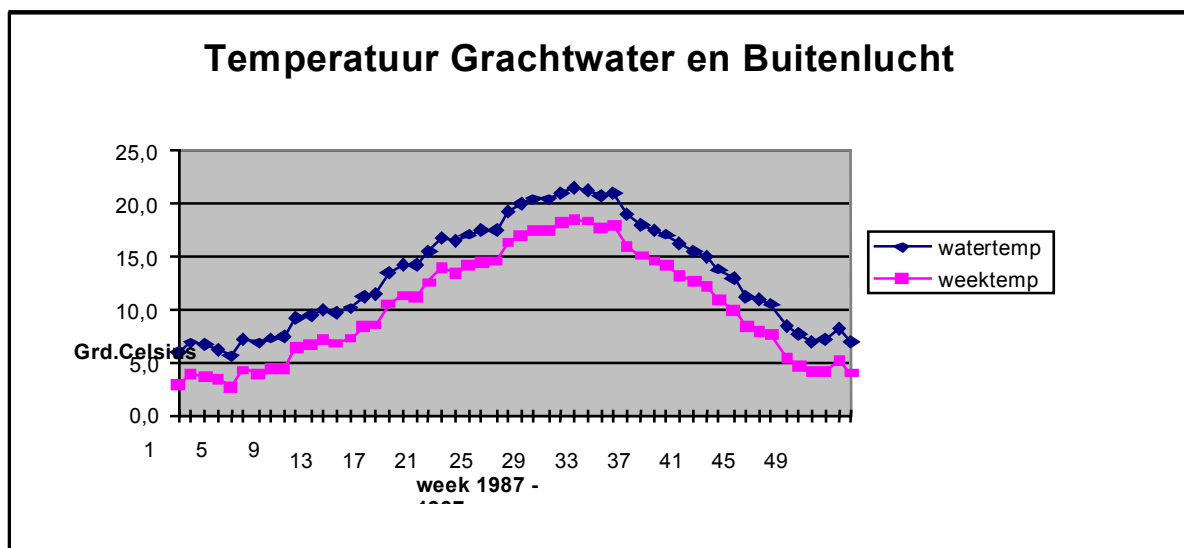
*Besparing:* De temperatuur van het grachtwater blijkt uit metingen gemiddeld 2,9°C hoger te liggen dan de gemiddelde weektemperatuur van de buitenlucht. Ervan uitgaande dat onder de 5°C grachtwartertemperatuur de warmtepomp wordt uitgeschakeld vanwege bevroingsgevaar in de warmtewisselaar, blijkt dat er in het meetjaar 1996 41 weken gebruik gemaakt kan worden van het WP-systeem. In de zomer vallen daar nog eens 8 weken vanaf, omdat er geen warmtevraag voor ruimteverwarming is. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van het WP-systeem in de winter is het noodzakelijk om over een tweede verwarmingsbron te kunnen beschikken met een capaciteit van de maximale warmtevraag voor ruimteverwarming (= 58 kW). De warmtepomp kan daarentegen kleiner zijn. Een maximaal voordeel wordt bereikt bij een capaciteit van 55%, c.q. een thermisch vermogen van 32 kW. De warmte dekking door het WP-systeem is in dat geval 54%. Hierbij is rekening gehouden met een wekelijks variërende warmtevraag en een glijdende c.o.p.-waarde gekoppeld aan de heersende watertemperatuur van de gracht. Door de gunstige waarde hiervan ligt deze nu op 5,4 gemiddeld (exclusief bronpomp) – beduidend hoger dan bij het gebruik van een bodemcollector.

Beschouwen we niet alleen '96, maar kijken we over een periode '87-'97 naar de etmaaltemperaturen op dezelfde dagen in het jaar om deze vervolgens met elkaar te middelen, dan ontstaat het volgende temperatuurverloop.



Het gevolg van de middeling over 11 jaar is dat het dynamisch verloop van de etmaaltemperatuur vlakker wordt, hetgeen met name in de winter een vertekend resultaat oplevert voor het functioneren van de warmtepomp.

Worden deze waarden per week gemiddeld en worden bij de weekgemiddelden de temperatuurafwijking van het grachtwater van 2,9°C opgeteld, dan ontstaat er voor het verloop van de grachtwatertemperatuur het volgende beeld.



Ervan uitgaande dat ook nu onder de 5°C grachtwatertemperatuur de warmtepomp wordt uitgeschakeld, zou er geen beperking voor het WP-systeem in de winter optreden. De grachtwatertemperatuur lijkt daar nu altijd boven te blijven, zie bovenste lijn in de grafiek.

Omdat dit in de praktijk anders is, kunnen we deze benaderingsmethode niet zonder meer doorzetten. Het zou reëel zijn om rekening te houden met een aantal weken waarin de warmtepomp niet kan draaien. Nemen we van 1996 de weken van uitval voor het WP-systeem over in de berekeningen met de gemiddelde waarden, dan blijken de resultaten nog gunstiger uit te komen. Immers, in de koudste periode met de laagste prestaties voor de warmtepomp wordt deze uitgeschakeld en neemt de CV-ketel het over. De c.o.p. komt daardoor nog hoger te liggen, en wel op 6,0 terwijl de warmtedekking door het WP-systeem met hetzelfde vermogen nu 56% is.

De jaarlijkse energievraag in primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik 3% lager uit dan de gekozen warmtepompuitvoering.

*Kosten:* Voor de totale installatie met WP-systeem en HR-ketel hebben we te maken met de volgende onderdelen en bijbehorende kosten:

- |                                                 |   |           |
|-------------------------------------------------|---|-----------|
| – warmtepomp 32 kW met rvs warmtewisselaar      | : | f 19.800  |
| – 40 m aanvoer- en retourleiding naar de gracht | : | f 100.000 |
| – HR-ketel 58 kW                                | : | f 12.000  |

---

|                           |   |           |
|---------------------------|---|-----------|
| – warmtapwatervoorziening | : | f 9.700   |
| – De totale projectkosten | : | f 141.500 |

De kosten voor de warmtepomp zijn inclusief f 1.000 installatiekosten. De 40 m aanvoer- en retourleiding, inclusief circulatiepomp grachtwater, heeft een diameter van Ø 40 mm en wordt gelegd vanuit de installatieruimte voor de WP door gang met marmeren tegels en onder fundament, straat en kademuur door naar de gracht met een beschermende voorziening voor het aanleggen van boten.

*Niet gekozen, omdat:*

Gezien de hoge investeringskosten voor de 40 m aanvoer- en retourleiding vanuit de installatieruimte door gang met marmeren tegels en onder fundament, straat en kademuur door naar de gracht, is dit geen aantrekkelijke optie. Bovendien moet toch een CV-ketel met 100% capaciteit stand-by blijven staan, zodat het WP-systeem niets vervangt en alleen extra investering vraagt. Gezien de noodzaak van hoge subsidies om deze optie rendabel te maken, wordt de kans van slagen klein geacht omdat de subsidieverlenende instanties hierin moeilijk zullen meegaan.

### **Alternatief 3: WP-systeem met bodemcollector in gracht**

*Beschrijving:* Installatie van een warmtepomp inclusief een gesloten verticale bodemcollector in de gracht, die de warmte uit de bodem onttrekt (geen grondwateronttrekking of grachtwatergebruik). Het gevraagde vermogen van 58 kW kan nu voor 100% gerealiseerd worden door een WP-systeem, omdat de grachtbodem voldoende oppervlak biedt voor 17 grondsondes (50 m diep). Een extra ketel is nu niet nodig (monovalent systeem).

*Besparingen:*

Het WP-systeem kan nu 100% van de jaarlijkse warmtevraag dekken, zodat er geen gas meer nodig is. Het WP-systeem gebruikt daarentegen 17.400 kWh/a. Hierbij wordt dezelfde C.O.P. van 4,5 aangehouden als bij de bodemcollector in de tuin. Samen met het verbruik door de circulatiepomp en van het kantoor in de nulsituatie van 18.000 kWh komt het totaal elektriciteitsverbruik op 35.600 kWh/a. Het totaal primair brandstofverbruik ligt voor verwarming en elektriciteitsverbruik nu 4% lager dan voor de gekozen uitvoering.

*Kosten:* Voor de totale installatie met WP-systeem en HR-ketel hebben we te maken met de volgende onderdelen en bijbehorende kosten:

|                                                 |   |           |
|-------------------------------------------------|---|-----------|
| – warmtepomp 58 kW en grachtbodemcollector      | : | f 95.000  |
| – 40 m aanvoer- en retourleiding naar de gracht | : | f 100.000 |

---

---

|                           |   |           |
|---------------------------|---|-----------|
| – warmtapwatervoorziening | : | f 9.700   |
| – De totale projectkosten | : | f 204.700 |

De kosten voor de warmtepomp zijn inclusief installatiekosten. De 40 m aanvoer- en retourleiding, inclusief circulatiepomp grachtwater, heeft een vergelijkbare uitvoering als in de vorige optie.

*Niet gekozen, omdat:*

Door de hoge investeringen van de grachtcollector en de leiding door gang valt de terugverdientijd buiten de levensduur van de technische installaties.

#### **Alternatief 4: WP met grondwater als warmtebron**

*Beschrijving:* Installatie van een warmtepomp inclusief het slaan van een grondwaterbron in de achtertuin voor het onttrekken van warmte. Het gevraagde vermogen van 58 kW kan nu voor 100% gerealiseerd worden door een WP-systeem. Een extra ketel is nu niet nodig (monovalent systeem).

*Besparingen:* Het WP-systeem kan nu 100% van de jaarlijkse warmtevraag dekken, zodat er geen gas meer nodig is. Het WP-systeem gebruikt daarentegen 14.500 kWh/a. Hierbij wordt een C.O.P. van 5,4 aangehouden, omdat hier de gemiddelde watertemperatuur op 10°C ligt – hoger dan bij een gesloten systeem. Samen met het verbruik door de circulatiepomp en van het kantoor in de nulsituatie van 18.000 kWh komt het totaal elektriciteitsverbruik op 32.700 kWh/a. Het totaal primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik nu samen op 7.400 m<sup>3</sup>aeq per jaar en brengt een emissie met zich mee van 13.200 kg CO<sub>2</sub>: een reductie van rond 76% ten opzichte van de nulsituatie en daarmee hoger dan de voorgaande opties.

Grondwateronttrekking wordt daarentegen minimaal belast met 17 ct/m<sup>3</sup>, afgezien van eventuele extra milieuheffingen. Per jaar is bij een afkoeling van 4°C een grondwaterhoeveelheid nodig van 10.500 m<sup>3</sup>/a, hetgeen de kostenbesparing met f 1.770 vermindert.

De jaarlijkse energievraag in primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik 6% lager uit dan de gekozen warmtepompuitvoering.

*Kosten:* Voor de totale installatie met WP-systeem en grondwaterbron hebben we te maken met de volgende onderdelen en bijbehorende kosten:

|                                                 |   |           |
|-------------------------------------------------|---|-----------|
| – warmtepomp 58 kW                              | : | f 50.000  |
| – grondwaterbron + 40 m spuileiding naar gracht | : | f 110.000 |
| – warmtapwatervoorziening                       | : | f 9.700   |

---

---

– De totale projectkosten : f 169.700

De kosten voor de warmtepomp zijn inclusief installatiekosten. De 40 m spuileiding heeft dezelfde bijkomende werkzaamheden als in de vorige opties, zodat van de voorgaande kostencalculatie wordt uitgegaan met een reductie op materiaal en werk geraamd op f 10.000. Voor het slaan van een bron worden extra kosten berekend van f 20.000, zodat de post voor bron en spuileiding op f 110.000 wordt gesteld.

*Niet gekozen, omdat:*

De terugverdientijd van de investering is te hoog. Bovendien is de gemeente Delft tegen deze optie, omdat het grondwater veel ijzerhydroxide bevat. Het verkrijgen van een vergunning is derhalve onzeker.

#### **i) Installatie van zonnecollectoren gekoppeld aan de bron van de warmtepomp**

De te overwegen uitvoering

*Beschrijving:* Het aanbrengen van twee zonnecollectoren met een effectief totaal oppervlak van 4,24 m<sup>2</sup> op het pannendak van het achterhuis. Het door de zon opgewarmde water wordt zonder tussenkomst van een buffervat over een warmtewisselaar geleid, die de warmte overdraagt aan het aanvoerwater vanuit de bodemcollector. Hierdoor stijgt deze in temperatuur met een jaarmaximum van 0,43°C in de maand mei, hetgeen leidt tot een verhoging van de c.o.p. van de warmtepomp. In de zomer, als er geen warmtevraag is, wordt de zonnewarmte via de bodemcollector in de bodem opgeslagen door de warmtepomp buiten werking te stellen en de bronpomp bij voldoende overtemperatuur te laten draaien.

*Besparing:* De maandelijkse invloed van de zonnestraling over de belangrijkste zonne-uren van de dag heeft een gemiddelde temperatuurverhoging tot gevolg van het bodemcollectorwater tijdens de stookuren overdag en varieert van 0,02°C in de maand december tot 0,43°C in de maand mei. Dit is berekend voor een volumestroom door de bodemcollector van de gekozen warmtepomp van 23 kW<sub>th</sub>. Uitgaande van een gemiddelde c.o.p. van 4,50 voor de warmtepomp, stijgt de c.o.p. onder invloed van de toegevoerde warmte naar gemiddeld 4,55. Het vermogen van de warmtepomp neemt daardoor iets toe en zal iets langer gaan draaien. Bovendien maakt de bronpomp extra draaiuren in de zomer om de zonnewarmte in de bodem te laten infiltreren. Het verbruik van elektriciteit neemt daardoor toe met 1.000 kWh/a, terwijl een extra gasbesparing ontstaat van 620 m<sup>3</sup>gas/a. De besparing op primaire brandstof is 4% extra ten opzichte van het WP-systeem zonder zonnecollectoren.

---

Samen met het verbruik door de circulatiepomp en van het kantoor in de nulsituatie van 18.000 kWh komt het totaal elektriciteitsverbruik op 29.700 kWh/a. Het totaal primair brandstofverbruik komt voor verwarming en elektriciteitsverbruik nu samen op 7.300 m<sup>3</sup>aeq per jaar en brengt een emissie met zich mee van 13.000 kg CO<sub>2</sub>: een reductie van 76% ten opzichte van de nulsituatie.

Als ervan uitgegaan wordt dat 75% van de elektriciteit uit het dagtarief wordt gehaald en 25% uit het nachttarief (voor 07.00 uur pand opwarmen), bedragen de jaarlijkse energiekosten van gas- en elektriciteitsverbruik f 6.110, hetgeen een besparing met zich meebrengt van f 170 ten opzichte van het WP-systeem zonder zonnecollectoren.

*Kosten:* De kosten van twee collectoren, geïsoleerd leidingwerk van het dak naar de warmtepomp en een warmtewisselaar worden geraamd op f 3.300.

1. Het energiebedrijf verstrekt f 100 per GJ besparing. Met een gasbesparing van 620 m<sup>3</sup>gas/a is dit 21,8 GJ en de bijdrage bedraagt derhalve f 2.180.
2. De terugverdientijd voor de REB-regeling komt daarmee op 6,6 jaar, zodat een bijdrage aangevraagd kan worden bij het REB-fonds, hetgeen inhoudt dat er 20% op de overblijvende kosten terug verkregen kan worden. Het overblijvende bedrag kan tegen gemiddeld 2,5% lagere rente afbetaald worden via de energienota. De totale subsidie betreft f 250.
3. Via de EIA- en de VAMIL-regeling is nog een kostenreductie te verwachten van f 735.

De totale subsidie bedraagt rond f 3.200. De uiteindelijke kosten komen daarmee op rond f 100, zodat de terugverdientijd daarvan 0,6 jaar bedraagt.

## **j) Installatie van photovoltaïsche zonnecellen**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

Installatie van drie vlakken pv-cellen in de hellende daken met een zuidoriëntatie. Het betreft gedeelten van het dakvlak boven de balkonkamer (1,18) met 8,4 m<sup>2</sup>, kamer boven keuken (1,17) met 6,8 m<sup>2</sup> en de achterkamer 2e etage (3,15) met 10,1 m<sup>2</sup>: totaal 25,3 m<sup>2</sup>.

Er zal een experimenteel systeem worden toegepast:

Over de aangebrachte isolatieplaten (3cm) wordt een dakbedekking aangebracht van EPDM-folie, deze vervangt de water- en windkerende folie die aangebracht zou worden. De dampremmende folie onder de isolatieplaten wordt, om condensatie in het dakbeschot te voorkomen, ter plaatse van de zonnepanelen eveneens vervangen door EPDM-folie.

Boven de dakbedekking zal een aluminium regelwerk worden aangebracht waaraan de pv-panelen worden bevestigd. Door de EPDM dakbedekking is het niet nodig dat de pv-panelen zorg moeten



---

dragen voor de waterkering. De panelen kunnen als een plat vlak in het dakvlak worden opgenomen zonder dat er klemprofielen of overlappen van de panelen te zien zijn.

De isolatie platen onder de pv-panelen zijn minder dik dan onder de dakpannen om genoeg ventilatieruimte onder de panelen te creëren. Hierdoor liggen de panelen visueel verzonken in het vlak van de dakpannen.

In overleg met een installateur is gekozen voor 28 AC-modules. Eén AC-module bestaat uit 2 panelen van 65 x 71 cm. Deze AC-modules zijn apart af te lezen en te controleren. Bij beschaduwning van een AC-module zullen dan andere modules gewoon blijven werken.

#### *Besparing:*

Een AC-module heeft een opbrengst van 120 Wp. De totale opbrengst komt hiermee op 3360 Wp. Rekening houdend met het aantal zonuren, de oriëntatie van het dakvlak en verliezen in de omvormers komt de opbrengst van alle panelen samen op circa 3.250 kWh per jaar. Met een kleinverbruikerstarief van 25,55 cent per kWh in dagtarief is de kostenbesparing f 830,- per jaar ( $3250 \times 0,2555$ ).

#### *Kosten:*

De kosten van installatie van het systeem en de architectonische inpassing in het dak worden geraamd op f 68.600 dit is onder te verdelen in:

- leveren en aanbrengen van de panelen en het
- montagesysteem inclusief EPDM dakbedekking en garantie : f 58.280
- bouwkundige inpassing en meerwerk : f 4.220
- leges en architecten kosten (detaillering en vergunning) : f 6.100

#### *Subsidies:*

1. Het project is bij Novem in de BSE regeling aangemerkt als demonstratieproject, waarbij tot 40% van de kosten vergoed kunnen worden. Voor dit project is een subsidie beschikbaar gesteld van maximaal f 25.000,-.
2. Het energiebedrijf “Energie Delfland” wil het project eveneens als demonstratieproject aanmerken, temeer omdat in “De Witte Roos” hoogstwaarschijnlijk een energiecentrum zal worden gehuisvest waarin “Energie Delfland” zal participeren. Het energiebedrijf stelt daarom een subsidie beschikbaar onder dezelfde voorwaarden als Novem van eveneens f 25.000,-. Normaliter subsidieert het energiebedrijf f3,- per Wp.
3. De Windmolenvereniging Noord Holland stelt een bedrag van f 2.000,- ter beschikking voor dit project in het kader van het bevorderen van schone energie. Dit bedrag is een gift en valt niet onder enige subsidieregeling.
4. Bovendien kan via de EIA- en de VAMIL-regeling circa 22% ( $19,2\% + 3\%$ ) op de meerinvestering nog eens f 3.652,- worden teruggekregen.

---

Na aftrek van subsidies en giften komen de totale kosten voor de pv-cellen op f 12.948 De terugverdientijd van het systeem komt daarmee op 15,6 jaar.

Alternatieven:

Er zijn tegenwoordig vele systemen op de markt, zowel de pv-cellen als de montagesystemen zijn vooral visueel nogal verschillend. De opbrengst van de verschillende leveranciers van pv-panelen is niet erg verschillend doch een aantal springen er positief uit. Bij de keuze van de panelen is vooral gelet op de esthetische inpassing het geheel. Bij het montagesysteem zijn aandachtspunten als reliëf en aansluitingen aan de randen belangrijk, bij de panelen zijn kleur en vorm van de cellen aandachtspunten. Een ander belangrijk punt in dit project was de opbrengst per m<sup>2</sup> van het paneel. Een relatief klein oppervlak van het dak is gunstig gelegen t.o.v. de zon. Dit is de reden waarom er niet voor - het esthetisch betere - amorf pv-materiaal maar voor kristallijn pv-materiaal gekozen is. Als laatste is naar de prijs/kwaliteitsverhouding van de verschillende aanbieders gekeken.

#### **k) Daglichtafhankelijk geregelde HFTL-verlichting**

Gekozen uitvoering

*Beschrijving:*

Toepassing van HFTL-verlichting met spiegeloptiek voor de algemene ruimteverlichting in de kantoren met armaturen, waarin een daglichtafhankelijk regelbaar voorschakelapparaat is opgenomen.

*Besparing:*

Ten opzichte van het normale verbruik van TLD-verlichting (40 W per armatuur) met 100 kWh per jaar ( $40 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 50 / 1000$ ) per buis, ontstaat door deze keuze een besparing van circa 45% en komt overeen met 45 kWh per jaar per buis. Het totale elektriciteitsverbruik voor verlichting in de nulsituatie is vastgesteld op 12.000 kWh/a en is gebaseerd op 10 W/m<sup>2</sup>. Naar schatting zal zo'n 10.000 kWh worden opgenomen door TLD-verlichting, zodat een totale besparing kan ontstaan van 4.500 kWh/a voor in totaal zo'n 100 buizen. Met een kleinverbruikerstarief van 25,55 cent per kWh in dagtarief is de kostenbesparing f 1.150 per jaar ( $4.500 \cdot 0,2555$ ).

*Kosten:* De kosten per armatuur worden geraamd op f 150 per stuk. De meerkosten per armatuur worden geraamd op f 80 zodat dit voor 100 armaturen f 8.000 bedraagt. De totale investering bedraagt f 23.000.

---

*Subsidies:*

1. Het energiebedrijf geeft via de Stimuleringsregeling  $f$  25 per armatuur subsidie. Voor 100 armaturen is dat  $f$  2.500.
2. Via de EIA-regeling circa 19% op deze kosten nog eens  $f$  4.400 worden teruggekregen.

De VAMIL-regeling is niet van toepassing. Na aftrek van de subsidies komen de uiteindelijke kosten neer op  $f$  15.000. De terugverdiendtijd van de meerkosten is direct terug verdiend.

## **8.6 Organisatie en gedrag**

The International Institute for the Urban Environment is een organisatie die zich bezighoudt met projecten om te komen tot een meer duurzame samenleving en omgeving.

Sinds haar oprichting in 1989 bepleit het IIUE nu al 10 jaar om in het (internationale) beleid extra aandacht te schenken aan de verstedelijking en de gevolgen hiervan voor het milieu, zowel op macroniveau als op microniveau. Dit vraagstuk verdient steeds meer aandacht aangezien bijna de helft van de wereldbevolking in steden woont. Afgezien van het feit dat dichtbevolkte gebieden door de verhoogde milieudruk een bedreiging vormen voor de duurzaamheid van het fysieke milieu, bieden steden ook milieuvoordelen: door de ruimtelijke concentratie van menselijke activiteiten worden kwetsbare ecosystemen in rurale gebieden ontzien. In stedelijke concentraties is er voldoende draagvlak voor voorzieningen met een hoog milieurendement, zoals openbaar vervoer of recycling. Bovendien kunnen in steden veel mensen snel bereikt worden waardoor gedragsveranderingen richting milieuvriendelijk handelen kansrijker zijn.

De toekomstige gebruikers van het pand zullen hoofdzakelijk werknemers van het IIUE zijn die met deze doelstelling hun projecten realiseren. Het spreekt dan ook voor zich dat de bedrijfscultuur erop gericht is het milieu zo weinig mogelijk te belasten. Dit vertaalt zich in zuinig omgaan met energie; niet onnodig verlichting laten branden, computers tijdig uitzetten, zuinig omgaan met warmte en water e.d. Ook zaken als het scheiden van afval, minder afval produceren en papier opnieuw gebruiken zijn binnen het IIUE vanzelfsprekende zaken.

In het ontwerp voor de Witte Roos wordt rekening gehouden met plaatsing van schakelaars en de bedieningsmogelijkheden van de verwarmingsinstallatie. Werkplekken zullen vooral gelegen zijn in de ruimten die wand- en vloerverwarming hebben. Hierdoor zal de warmtepomp optimaal gebruikt worden en het aandeel van de gasgestookte ketel zo klein mogelijk blijven.

---

## 8.7 Samenvatting maatregelen

De in dit hoofdstuk gepresenteerde maatregelen worden in de volgende tabel samengevat:

| Maatregel in volgorde van toepassing | Besparing (m <sup>3</sup> gas/a) | Prim.brandstof-verbruik na invoering maatregel (m <sup>3</sup> aeq/a) | Uiteindelijke kosten (f) | Terugver-dientijd E-onderdeel (jaar) |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Huidige situatie                     | -                                | 31.000                                                                | -                        | -                                    |
| Dakisolatie                          | 6.600                            | 24.400                                                                | 39.000                   | 4,6                                  |
| Wandisolatie                         | 5.100                            | 19.300                                                                | 59.000                   | 5,0                                  |
| Isolatieglas                         | 2.300                            | 17.000                                                                | 38.000                   | 28                                   |
| Mech. Ventilatie                     | -                                | 17.000                                                                | 85.000                   | n.v.t.                               |
| Warmteterugwinning                   | 2.900                            | 14.600                                                                | 5.000                    | 3,9                                  |
| Warmtewanden                         | 500                              | 14.100                                                                | 66.000                   | n.v.t.                               |
| Trombewand                           | 2.000                            | 12.100                                                                | 5.000                    | 4,1                                  |
| Warmtepompinstallatie                | 6.400                            | 7.700                                                                 | 16.000                   | 5,1                                  |
| Zonnecollector v. wp                 | 600                              | 7.300                                                                 | 0                        | 0,6                                  |
| Photovoltaïsche cellen               | -                                | 6.500                                                                 | 13.000                   | 15,6                                 |
| Daglichtafh. Regeling                | -                                | 5.500                                                                 | 15.000                   | 0                                    |
|                                      |                                  |                                                                       |                          |                                      |
| <b>Totalen</b>                       |                                  |                                                                       | <b>341.000</b>           |                                      |

## 8.8 Primaire brandstofbesparing

Het gasverbruik voor verwarming met behulp van de bestaande CV-ketel is na het treffen van de maatregelen vermindert van 26.900 tot 620 m<sup>3</sup> per jaar. De vraag naar elektriciteit neemt toe van 18.000 naar 28.700 kWh per jaar. Door de zonnecollectoren en de elektriciteitsbesparende maatregelen neemt het elektriciteitsverbruik weer af tot 22.000 kWh per jaar.

Het primaire brandstofverbruik neemt af van 31.000 naar 5.500 m<sup>3</sup>aeq/a, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot vermindert van 55.200 naar 9.800 kg per jaar. Ten opzichte van de nulsituatie bedraagt de reductie van primaire brandstof 25.500 m<sup>3</sup>aeq en CO<sub>2</sub>-uitstoot 45.400 kg en is de besparing 82%.

Zie voor een cijfermatig overzicht het spreadsheetoverzicht in bijlage 2 en 3.

---

## 8.9 EPC van de eindsituatie

In de eindsituatie, na het treffen van de maatregelen, is energieprestatiecoëfficiënt gelijk aan EPC = 1,87 en voldoet daarmee aan de EPC-eis voor nieuwbouw van 1,90 voor kantoorgebouwen.

In bijlage 5B is een verkorte versie van het resultaat weergegeven.

Het brandstofverbruik voor verwarming wordt bepaald op 249.988 MJ (=Q<sub>prim;verwarming</sub>) en komt overeen met een gasverbruik van 7.100 m<sup>3</sup> per jaar. Deze uitkomst is praktisch gelijk aan het primair brandstofverbruik berekend met het Aquarius-rekenmodel (alleen verwarming) en laat een goede relatie zien tussen beide modellen. De overeenkomst schept tevens een onderbouwd beeld ten aanzien van alle tussen gelegen stappen in het Aquarius-rekenmodel volgens de conceptuele benadering.

---

## 9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Door te werken volgens de systematiek van het energetisch renoveren is het mogelijk om monumentale panden op een esthetisch verantwoorde wijze te restaureren en een grote energiebesparing te realiseren. Dit rapport laat de verschillende mogelijkheden zien.

### **De isolatie**

Voor elk gebouwonderdeel en -detail moeten de verschillende mogelijkheden worden bekeken, de beschrijving in het pilotproject maakt dit duidelijk. Daarbij moeten de bouwfysische, bouwtechnische en esthetische eigenschappen van dit deel of detail zorgvuldig onderzocht worden, vervolgens dienen ze in verband te worden gebracht met de bouwfysische, bouwtechnische en esthetische eigenschappen en waarden van het gehele gebouw.

De keuze van isolatiematerialen en -waarden wordt enerzijds bepaald door het streven naar maximale energiebesparing anderzijds door het streven het gebouw zo lang mogelijk te kunnen behouden. Zorgvuldige afweging van de ingrepen en het vergelijken van mogelijke gevolgen op bouwfysica, bouwtechniek en esthetiek van het gebouw zijn bepalend voor de mate van isolatie en de keuze van de materialen.

Uit de berekeningen voor het pilotproject blijkt dat er zeer grote energiebesparingen gerealiseerd kunnen worden. Er zullen in het pilotproject maatregelen genomen worden die een acceptabele terugverdientijd hebben maar ook maatregelen die uit een meer idealistische overweging en die financieel nooit terugverdiend zullen worden. Winst voor het milieu blijft het natuurlijk altijd.

### **De ventilatie**

Monumentale panden zijn altijd natuurlijk geventileerd. Door isolatie maatregelen kan een natuurlijk evenwicht in de ventilatie en de luchtvochtigheid worden verstoord. Wanneer dat gebeurd heeft dat ernstige bouwfysische consequenties. Er moet rekening worden gehouden met het vochtgehalte in de lucht en kan door mechanische of elektronische systemen bewaakt worden, of via natuurlijke indicatie vastgesteld worden.

In het pilotproject is voor een natuurlijke indicator gekozen die aangeeft dat een ruimte geventileerd moet worden. In bijna elk vertrek is een venster aanwezig met een isolatiewaarde die lager is dan die van de wanden. Condens zal zich aldus vormen op de ramen wanneer de luchtvochtigheid te hoog wordt. Condensvorming op de ramen is zodoende een indicatie dat er geventileerd moet worden.

Voor de ventilatie van “de Witte Roos” is gekozen voor een combinatie van natuurlijke (raam open) en mechanische ventilatie. Omdat er in “de Witte Roos” grotere groepen mensen aanwezig zijn is dit noodzakelijk. Bij normaal gebruik zal natuurlijke ventilatie van de ruimten volstaan.

---

Wanneer er grote groepen aanwezig zijn kan via het luchtverwarmingssysteem zowel warme als koele lucht worden aangevoerd. Uit de afgezogen lucht wordt warmte terug gewonnen.

### **De verwarmingsinstallatie**

Een verwarmingssysteem met lage temperatuur is goed geschikt voor monumentale panden. Hierdoor worden bouwtechnische problemen verminderd. Afhankelijk van de locatie van een gebouw kan in meer of mindere mate gebruikt worden gemaakt van aardwarmte met behulp van een warmtepomp. Wanneer gekozen wordt voor systemen met hogere temperaturen moet extra worden gelet op bouwtechnische en bouwfysische aspecten zoals het te warm worden van materialen en de luchtvochtigheid. Houten constructieonderdelen bijvoorbeeld kunnen gaan scheuren als ze te droog worden.

In het pilotproject bleek het aanwezige en bereikbare grondoppervlak te klein te zijn om grondsondes aan te brengen die genoeg warmte konden leveren voor het gehele gebouw. Ook was er niet genoeg wand- en vloeroppervlak beschikbaar om verwarmingsleidingen in aan te brengen. Er is daarom voor een combinatie gekozen. Een warmtepomp met wand- en vloerverwarming zal worden gebruikt voor de reguliere warmtevraag. De zonneboiler die voor warm tapwater bedoeld is zal eveneens bijdragen aan de verwarming van het water in het warmtepompsysteem. Een HR-combiketel zal voor luchtverwarming zorgen, dit luchtsysteem wordt tevens gebruikt voor luchtverversing indien er grote groepen aanwezig zijn in het gebouw.

### **De elektrische installatie**

Het elektriciteitsgebruik kan op meerdere manieren worden gereduceerd. Gebruik maken van energiezuinige elektrische apparatuur ligt het meest voor de hand. Denk hierbij aan verlichting, maar ook aan kantoorapparatuur, en huishoudelijke apparatuur. Daarnaast is het belangrijk dat op een duurzame manier in de elektriciteitsvraag kan worden voorzien. Er zijn vele modellen fotovoltaïsche zonnecellen (PV) op de markt waarmee elektriciteit uit zonlicht kan worden opgewekt. Deze panelen vereisen een zorgvuldige inpassing in de architectuur van het gebouw. Ook kan men afhankelijk van de locatie onder andere gebruik maken van wind- of waterkracht voor het opwekken van elektriciteit.

In het pilotproject wordt elektriciteit bespaard door gebruik te maken van daglichtafhankelijke HFTL-verlichting. Afhankelijk van het invallende daglicht wordt de verlichtingssterkte in de ruimten automatisch geregeld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van energiezuinige HFTL-verlichting.

Doordat er gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp is de vraag naar elektriciteit gestegen ten opzichte van de nulsituatie. Een klein deel van de elektriciteit wordt geleverd door de PV-cellen op de dakvlakken met zuidoriëntatie. Er is gekozen voor een experimenteel montagesysteem, waardoor de inpassing in de architectuur van het gebouw optimaal is. De overige elektriciteit wordt geleverd door

---

windturbines via de Windmolenvereniging Delft. Op deze wijze wordt door middel van duurzame energiebronnen in de totale behoefte aan elektriciteit voorzien.

### **Besparingen in het pilotproject**

Het gasverbruik voor verwarming met behulp van de bestaande CV-ketel is na het treffen van de maatregelen vermindert van 26.900 tot 620 m<sup>3</sup> per jaar. De vraag naar elektriciteit neemt toe van 18.000 naar 28.700 kWh per jaar. Door de zonnecollectoren en de elektriciteitsbesparende maatregelen neemt het elektriciteitsverbruik weer af tot 22.000 kWh per jaar, dit wordt door windturbines opgewekt.

Het primaire brandstofverbruik neemt af van 31.000 naar 5.500 m<sup>3</sup>aeq/a, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot verminderd van 55.200 naar 9.800 kg per jaar. Ten opzichte van de nulsituatie bedraagt de reductie van primaire brandstof 25.500 m<sup>3</sup>aeq en CO<sub>2</sub>-uitstoot 45.400 kg en is de besparing 82%. Doordat de elektriciteit van het gebouw uit duurzame bronnen zal worden geleverd, neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot af met 98% ten opzichte van de nulsituatie.

De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) volgens NEN-2916 voor utiliteitsgebouwen bedraagt 5,16 voor de nulsituatie en voldoet zoals verwacht niet aan de EPC-eis van 1,90 voor kantoorgebouwen. In de eindsituatie, na het treffen van de maatregelen, is EPC = 1,87 en voldoet daarmee nu wel aan de EPC-eis voor nieuwbouw. Dit is geen wettelijke eis, maar wel een alleraardigst eindresultaat.

Om tot een laag energieverbruik te komen moeten de gebruikers van een gebouw in hun gedrag bewust omgaan met energie. Zaken als het uitschakelen van de verlichting en computers wanneer dat kan en zuinig omgaan met warmte kunnen het energieverbruik verder reduceren.



---

## BIJLAGEN

---

**BIJLAGE 1      SITUATIE EN PLATTEGRONDEN PILOTPROJECT TE DELFT**











---

## **BIJLAGE 2      REKENMODEL TRANSMISSIE- EN VENTILATIEVERLIEZEN**

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van het dynamisch rekenmodel van Aquarius gebaseerd op transmissie- en ventilatieverliezen. Hiermee wordt de jaarlijkse warmtebehoefte van een pand berekend.

Door wijzigingen in het rekenmodel aan te brengen, welke samenhangen met de energetische verbeteringen van de maatregelen, wijzigt het geprognosticeerde jaarverbruik en is de energiebesparing per maatregel vast te stellen.

Voor de berekening van de besparingen in dit rapport worden hierna de resultaten per maatregel afgedrukt. Hieraan vooraf wordt de rekenmethodiek en de uitgangspunten voor het rekenmodel toegelicht.

### **B 2.1 Gebruik van het Aquarius-rekenmodel**

De eerste stap bestaat uit het bepalen van de nulsituatie door het invullen van de gegevens van de situatie op dit moment “Huidige Situatie”. Door het kopiëren van het eerste ingevulde blad en het op een enkel punt te wijzigen met betrekking tot de beoogde maatregel, kan de besparing bepaald worden uit het verschil in het eindresultaat voor de warmtebehoefte in bijvoorbeeld m<sup>3</sup>gas/a, maar ook in kWh/a. Door steeds het laatste blad te kopiëren en één enkele wijziging aan te brengen, kan steeds uit het verschil in het eindresultaat de besparing per maatregel bepaald worden. Dit wordt zo vaak herhaald toegepast totdat de nieuwe c.q. gewenste situatie “Nieuwe Situatie” ontstaat.

In het eerste rekenblad worden om te beginnen de oppervlakken ( $A$  in m<sup>2</sup>) per constructie ingevoerd, waardoor (warmte-)transmissieverliezen plaatsvinden. Per constructie dient bovendien een warmte-doorgangscoefficiënt ( $U$ -waarde in W/m<sup>2</sup>K) berekend of ingevoerd te worden. Eventueel kan een weegfactor (dimensieloos) worden gekozen of ingevuld, waarna de transmissieverliezen automatisch worden gesommeerd. De ventilatieverliezen worden berekend en/of geschat met behulp van de gebouwinhoud en de ventilatievoud, waarmee een gemiddelde hoeveelheid op te warmen lucht in m<sup>3</sup>/h wordt berekend. Over de verliezen wordt een aanwarmtoeslag verrekend, waarna de totale verliezen worden berekend. De geprognosticeerde verbruiken worden met behulp van graaddagen bepaald, waarin een correctie wordt toegepast afhankelijk van de isolatiekwaliteit, de zoninvloed en de interne warmtelast.



---

## B 2.2 Aannames en uitgangspunten

Aannames worden in het rekenmodel zoveel mogelijk herkenbaar weergegeven overeenkomstig de genoemde cijfers in de tekst. Voor de warmtedoorgangscoefficienten, oppervlakken, weegfactoren en ventilatiehoeveelheden wordt zoveel mogelijk de getalswaarden aangehouden van de in de EPC-berekening gebruikte waarden; kleine afwijkingen voorbehouden vanwege effectieve oppervlakken en de te behandelen oppervlakken met isolatiematerialen.

### *Rekenmodel*

De berekening voor het warmteverlies van het pand is gebaseerd op transmissie- en ventilatieverliezen, waarbij de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Benodigd energiegebruik wordt m.b.v. het aantal graaddagen bepaald: 2.912 per jaar voor het gebied van Vlissingen. Deze waarde in het Aquarius-rekenmodel heeft een vergelijkbare betekenis als de accumulatierekenwaarde  $(\theta_i - \theta_e) \times 2,63$  in het EPC-rekenmodel NEN 2916 voor de warmteverliesberekening in hoofdstuk 6.4.1. en 6.5.1. Door de terugkoppeling van warmteverliezen in een correctie op de stooktemperatuur, volgens de rekenmethode van de Werkgroep Gasbesparingscijfers in 1984, is dit een dynamisch rekenmodel;
- Transmissieverliezen worden gesommeerd en vermenigvuldigd met het aantal graaddagen en een omrekeningsfactor 24/1000 (24 Wh per graaddag uitgedrukt in kWh:  $24\text{uur/graaddag} \times 1\text{uur/1000} \times 3,6$ ) om de jaarlijkse warmtevraag in MJ/a te bepalen; het gasverbruik wordt bepaald door dit te delen door het rendement en de verbrandingswaarde van 35,17 MJ/m<sup>3</sup>aardgas op bovenwaarde;
- Ventilatiehoeveelheid in m<sup>3</sup>/h gebaseerd op natuurlijke ventilatie via kieren; de bijbehorende ventilatievoud wordt daarmee berekend;
- Ventilatieverlies wordt berekend vanuit de hoeveelheid ventilatielucht in m<sup>3</sup>/h met een soortelijke warmte van 1,0 kJ/kg.K en een soortelijk gewicht van 1,24 kg/m<sup>3</sup> en uitgedrukt in W/K ( $1,0 \times 1,24 / 3,6$ ), hetgeen vervolgens met het aantal graaddagen en de omrekeningsfactor 24/1000 wordt vermenigvuldigd om de warmtevraag in MJ/a te bepalen; het gasverbruik wordt bepaald door dit te delen door het rendement en de verbrandingswaarde van 35,17 MJ/m<sup>3</sup>aardgas op bovenwaarde;
- Interne warmtelast betreft de invloed van de passieve zonne-energie en de interne warmtelast door aanwezige personen, verlichting en apparatuur en wordt samen met het totale warmteverlies gebruikt om de stookgrensafwijking te berekenen. Voor de interne warmtelast wordt 5 W/m<sup>2</sup> genomen. De gemiddelde warmtewinst door de zon wordt op 25 W/m<sup>2</sup> glasoppervlak gesteld;

- 
- Het elektriciteitsverbruik door de warmtepomp wordt berekend door de warmtevraag te delen door de c.o.p.-waarde van de warmtepomp, welke op een gemiddelde waarde van 3,8 gesteld wordt, waarbij het opgenomen elektriciteitsverbruik van de bronpomp is meegerekend;
  - Het benodigde thermische vermogen dat door de CV-ketel of de warmtepomp moet worden afgegeven aan het gebouw, wordt berekend door het warmteverlies in W/K van transmissie en ventilatie te vermenigvuldigen met het maximale temperatuurverschil van binnen naar buiten, zijnde 27°C bij 20°C binnen en -7°C buiten. Dit wordt vermeerderd met een opwarmtoeslag van 30% voor de huidige situatie en 15% voor de nieuwe situatie met een vernieuwde warmtebron.

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT  
(HUIDIGE SITUATIE)

| Transmissie                  | Opp.                | k                         | tr.verl |         |           |                     |         |           |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>2</sup> ]   | [W/(m <sup>2</sup><br>K)] | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| hellend dak                  | 244                 | 1,79                      | 437     |         |           |                     |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25                  | 1,79                      | 45      |         |           |                     |         |           |
| plat dak                     | 21                  | 1,87                      | 39      |         |           |                     |         |           |
| hellend dak gang bg          | 93                  | 1,79                      | 166     |         |           |                     |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64                  | 1,83                      | 118     |         |           |                     |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211                 | 1,83                      | 388     |         |           |                     |         |           |
| steens gevel                 | 128                 | 2,07                      | 265     |         |           |                     |         |           |
| gangwand bg                  | 164                 | 2,07                      | 340     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel                   | 76                  | 5,00                      | 378     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5                   | 5,00                      | 24      |         |           |                     |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2                   | 3,40                      | 6       |         |           |                     |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13                  | 3,40                      | 43      |         |           |                     |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44                  | 2,56                      | 32      |         |           |                     |         |           |
| vloer boven kelder           | 30                  | 1,89                      | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar            | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188                 | 3,57                      | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m <sup>3</sup> /a] | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |                     |                           | 2449    | 66129   | 515224    | 23054               | 86,0    | 143118    |
| Ventilatie                   | afzuig              | n                         | v.verl  |         |           |                     |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>3</sup> /h] | [x/h]                     | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| max:                         |                     |                           |         |         |           |                     |         |           |
| gem.:                        | 1200                | 0,66                      | 413     | 11160   | 86950     | 3891                | 14,5    | 24153     |
| Tot. vent+tr                 |                     |                           | 2863    | 77289   | 602174    | 26945               | 100,5   | 167271    |

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE)

| Transmissie                  | Opp.                | k                         | tr.verl |         |           |                     |         |           |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>2</sup> ]   | [W/(m <sup>2</sup><br>K)] | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| hellend dak                  | 244                 | 0,33                      | 81      |         |           |                     |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25                  | 0,59                      | 15      |         |           |                     |         |           |
| plat dak                     | 21                  | 0,33                      | 7       |         |           |                     |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80                  | 0,32                      | 25      |         |           |                     |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64                  | 1,83                      | 118     |         |           |                     |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211                 | 1,83                      | 388     |         |           |                     |         |           |
| steens gevel                 | 128                 | 2,07                      | 265     |         |           |                     |         |           |
| gangwand bg                  | 164                 | 2,07                      | 340     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel                   | 76                  | 5,00                      | 378     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5                   | 5,00                      | 24      |         |           |                     |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2                   | 3,40                      | 6       |         |           |                     |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13                  | 3,40                      | 43      |         |           |                     |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44                  | 2,56                      | 32      |         |           |                     |         |           |
| vloer boven kelder           | 30                  | 1,89                      | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar            | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188                 | 3,57                      | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m <sup>3</sup> /a] | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |                     |                           | 1890    | 51023   | 377131    | 16875               | 66,3    | 104759    |
| Ventilatie                   | afzuig              | n                         | v.verl  |         |           |                     |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>3</sup> /h] | [x/h]                     | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| max:                         |                     |                           |         |         |           |                     |         |           |
| gem.:                        | 1100                | 0,60                      | 379     | 10230   | 75614     | 3383                | 13,3    | 21004     |
| Tot. vent+tr                 |                     |                           | 2269    | 61253   | 452745    | 20259               | 79,6    | 125762    |

Gewijzigd: k-waarde hellende daken en plat dak (4x) + ventilatie (afzuig)

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE)

| Transmissie                  | Opp.                | k                         | tr.verl |         |           |                     |         |           |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>2</sup> ]   | [W/(m <sup>2</sup><br>K)] | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| hellend dak                  | 244                 | 0,33                      | 81      |         |           |                     |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25                  | 0,59                      | 15      |         |           |                     |         |           |
| plat dak                     | 21                  | 0,33                      | 7       |         |           |                     |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80                  | 0,32                      | 25      |         |           |                     |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64                  | 1,83                      | 118     |         |           |                     |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211                 | 0,77                      | 163     |         |           |                     |         |           |
| steens gevel                 | 128                 | 0,31                      | 40      |         |           |                     |         |           |
| gangwand bg                  | 164                 | 2,07                      | 340     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel                   | 76                  | 5,00                      | 378     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5                   | 5,00                      | 24      |         |           |                     |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2                   | 3,40                      | 6       |         |           |                     |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13                  | 3,40                      | 43      |         |           |                     |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44                  | 2,56                      | 32      |         |           |                     |         |           |
| vloer boven kelder           | 30                  | 1,89                      | 20      | Verlies | verl/jaar | gas/jaar            | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188                 | 3,57                      | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m <sup>3</sup> /a] | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |                     |                           | 1440    | 38884   | 268890    | 12032               | 50,5    | 74692     |
| Ventilatie                   | afzuig              | n                         | v.verl  |         |           |                     |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>3</sup> /h] | [x/h]                     | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| max:                         |                     |                           |         |         |           |                     |         |           |
| gem.:                        | 1100                | 0,60                      | 379     | 10230   | 70742     | 3165                | 13,3    | 19651     |
| Tot. vent+tr                 |                     |                           | 1819    | 49114   | 339632    | 15197               | 63,8    | 94342     |

Gewijzigd: k-waarden anderhalf en steen wanden (2x)

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN))

| Transmissie                  | Opp.                | k                         | tr.verl |         |           |                     |         |           |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>2</sup> ]   | [W/(m <sup>2</sup><br>K)] | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| hellend dak                  | 244                 | 0,33                      | 81      |         |           |                     |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25                  | 0,59                      | 15      |         |           |                     |         |           |
| plat dak                     | 21                  | 0,33                      | 7       |         |           |                     |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80                  | 0,32                      | 25      |         |           |                     |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64                  | 1,83                      | 118     |         |           |                     |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211                 | 0,77                      | 163     |         |           |                     |         |           |
| steens gevel                 | 128                 | 0,31                      | 40      |         |           |                     |         |           |
| gangwand bg                  | 164                 | 2,07                      | 340     |         |           |                     |         |           |
| glas-dubbel                  | 76                  | 2,80                      | 212     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5                   | 5,00                      | 24      |         |           |                     |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2                   | 3,40                      | 6       |         |           |                     |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13                  | 3,40                      | 43      |         |           |                     |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44                  | 2,56                      | 32      |         |           |                     |         |           |
| vloer boven kelder           | 30                  | 1,89                      | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar            | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188                 | 3,57                      | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m <sup>3</sup> /a] | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |                     |                           | 1274    | 34394   | 227582    | 10183               | 44,7    | 63217     |
| Ventilatie                   | afzuig              | n                         | v.verl  |         |           |                     |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>3</sup> /h] | [x/h]                     | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| max:                         |                     |                           |         |         |           |                     |         |           |
| gem.:                        | 1000                | 0,55                      | 344     | 9300    | 61538     | 2754                | 12,1    | 17094     |
| Tot. vent+tr                 |                     |                           | 1618    | 43694   | 289120    | 12937               | 56,8    | 80311     |

Gewijzigd: k-waarden glas (2x) + ventilatie (afzuig)

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN+WTW)

| Transmissie                  | Opp.    | k           | tr.verl |         |           |          |         |           |
|------------------------------|---------|-------------|---------|---------|-----------|----------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m^2]   | [W/(m^2 K)] | [W/K]   |         |           |          |         |           |
| hellend dak                  | 244     | 0,33        | 81      |         |           |          |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25      | 0,59        | 15      |         |           |          |         |           |
| plat dak                     | 21      | 0,33        | 7       |         |           |          |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80      | 0,32        | 25      |         |           |          |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64      | 1,83        | 118     |         |           |          |         |           |
| Anderhalfsteens gevel        | 211     | 0,77        | 163     |         |           |          |         |           |
| steens gevel                 | 128     | 0,31        | 40      |         |           |          |         |           |
| gangwand bg                  | 164     | 2,07        | 340     |         |           |          |         |           |
| glas-dubbel                  | 76      | 2,80        | 212     |         |           |          |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5       | 5,00        | 24      |         |           |          |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2       | 3,40        | 6       |         |           |          |         |           |
| Buitendeuren gang bg         | 13      | 3,40        | 43      |         |           |          |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44      | 2,56        | 32      |         |           |          |         |           |
| vloer boven kelder           | 30      | 1,89        | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188     | 3,57        | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m^3/a]  | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |         |             | 1274    | 34394   | 209821    | 9389     | 44,7    | 58284     |
| Ventilatie                   | Afzuig  | n           | v.verl  |         |           |          |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m^3/h] | [x/h]       | [W/K]   |         |           |          |         |           |
| max:                         |         |             |         |         |           |          |         |           |
| gem.:                        | 660     | 0,36        | 85      | 2288    | 13957     | 625      | 3,0     | 3877      |
| Tot. vent+tr                 |         |             | 1359    | 36681   | 223778    | 10013    | 47,7    | 62160     |
| Elektriciteit ventilatie     |         |             |         | 8424    |           |          | 0,9     | 2340      |

Gewijzigd: ventilatie (afzuig + v.verl)

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN+WTW+  
+WARMTEWANDEN)

| Transmissie                  | Opp.    | k              | tr.verl |         |           |          |            |           |
|------------------------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------|------------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m^2]   | [W/(m^2<br>K)] | [W/K]   |         |           |          |            |           |
| Hellend dak                  | 244     | 0,33           | 81      |         |           |          | zon+iwp    | 5060      |
| Hellend dak Z voor pv-cellen | 25      | 0,59           | 15      |         |           |          | T-stook    | 11,9      |
| Plat dak                     | 21      | 0,33           | 7       |         |           |          | Grdagen    | 1794      |
| Hellend dak gang bg          | 80      | 0,32           | 25      |         |           |          | T-binnen   | 15,6      |
| Voorgevel anderhalfsteens    | 64      | 1,83           | 118     |         |           |          | n-brand[%] | 64        |
| Anderhalfsteens gevel        | 211     | 0,84           | 178     |         |           |          | n-wtw[%]   | 90        |
| Steens gevel                 | 128     | 0,31           | 40      |         |           |          |            |           |
| Gangwand bg                  | 164     | 2,07           | 340     |         |           |          |            |           |
| Glas-dubbel                  | 76      | 2,80           | 212     |         |           |          |            |           |
| Glas-enkel tuinkamer         | 5       | 5,00           | 24      |         |           |          |            |           |
| Buitendeur tussengang        | 2       | 3,40           | 6       |         |           |          |            |           |
| Buitendeuren gang bg         | 13      | 3,40           | 43      |         |           |          |            |           |
| Vloer met kruipruimte        | 44      | 2,56           | 32      |         |           |          |            |           |
| Vloer boven kelder           | 30      | 1,89           | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar | kW-inst    | Verl/jaar |
| Vloer op zand                | 188     | 3,57           | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m^3/a]  | [kW]       | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |         |                | 1289    | 34808   | 199796    | 8940     | 45,3       | 55499     |
| Ventilatie                   | afzuig  | n              | v.verl  |         |           |          |            |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m^3/h] | [x/h]          | [W/K]   |         |           |          |            |           |
| max:                         |         |                |         |         |           |          |            |           |
| gem.:                        | 660     | 0,36           | 85      | 2288    | 13132     | 588      | 3,0        | 3648      |
| Tot. vent+tr                 |         |                | 1374    | 37096   | 212927    | 9528     | 48,2       | 59146     |

Gewijzigd: correctie op k-waarde anderhalfsteens gevel + binnentemperatuur



PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN+WTW+  
+WARMTEWANDEN+TROMBEWAND)

| Transmissie                  | Opp.                | k                         | tr.verl |         |           |                     |         |           |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>2</sup> ]   | [W/(m <sup>2</sup><br>K)] | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| hellend dak                  | 244                 | 0,33                      | 81      |         |           |                     |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25                  | 0,59                      | 15      |         |           |                     |         |           |
| plat dak                     | 21                  | 0,33                      | 7       |         |           |                     |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80                  | 0,32                      | 25      |         |           |                     |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64                  | 1,83                      | 118     |         |           |                     |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211                 | 0,84                      | 178     |         |           |                     |         |           |
| steens gevel                 | 128                 | 0,31                      | 40      |         |           |                     |         |           |
| gangwand bg                  | 164                 | 2,07                      | 340     |         |           |                     |         |           |
| glas-dubbel                  | 76                  | 2,80                      | 212     |         |           |                     |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5                   | 5,00                      | 24      |         |           |                     |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2                   | 3,40                      | 6       |         |           |                     |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13                  | 3,40                      | 43      |         |           |                     |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44                  | 2,56                      | 32      |         |           |                     |         |           |
| vloer boven kelder           | 30                  | 1,89                      | 20      | verlies | verl/jaar | gas/jaar            | kW-inst | Verl/jaar |
| vloer op zand                | 188                 | 3,57                      | 148     | [W]     | [MJ/a]    | [m <sup>3</sup> /a] | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |                     |                           | 1289    | 34808   | 156580    | 7006                | 45,3    | 43494     |
| Ventilatie                   | afzuig              | n                         | v.verl  |         |           |                     |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m <sup>3</sup> /h] | [x/h]                     | [W/K]   |         |           |                     |         |           |
| max:                         |                     |                           |         |         |           |                     |         |           |
| gem.:                        | 660                 | 0,36                      | 85      | 2288    | 10291     | 460                 | 3,0     | 2859      |
| Tot. vent+tr                 |                     |                           | 1374    | 37096   | 166871    | 7467                | 48,2    | 46353     |

Gewijzigd: interne warmtelast door bijdrage Trombemuur (zon+iwp)

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN+WTW+  
+WARMTEWANDEN+TROMBEWAND+WP)

| Transmissie                  | Opp.    | k              | tr.verl |               |           |                |         |           |
|------------------------------|---------|----------------|---------|---------------|-----------|----------------|---------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m^2]   | [W/(m^2<br>K)] | [W/K]   |               |           |                |         |           |
| hellend dak                  | 244     | 0,33           | 81      | zon+iwp 6815  |           |                |         |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25      | 0,59           | 15      | T-stook 10,6  |           |                |         |           |
| plat dak                     | 21      | 0,33           | 7       | Grdagen 1406  |           |                |         |           |
| hellend dak gang bg          | 80      | 0,32           | 25      | T-binnen 15,6 |           |                |         |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64      | 1,83           | 118     | n-brand[%] 84 |           |                |         |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211     | 0,84           | 178     | n-wtw[%] 90   |           |                |         |           |
| steens gevel                 | 128     | 0,31           | 40      | C.O.P. WP 4,5 |           |                |         |           |
| gangwand bg                  | 164     | 2,07           | 340     |               |           |                |         |           |
| glas-dubbel                  | 76      | 2,80           | 212     |               |           |                |         |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5       | 5,00           | 24      |               |           |                |         |           |
| buitendeur tussengang        | 2       | 3,40           | 6       |               |           |                |         |           |
| buitendeuren gang bg         | 13      | 3,40           | 43      |               |           |                |         |           |
| vloer met kruipruimte        | 44      | 2,56           | 32      |               |           |                |         |           |
| vloer boven kelder           | 30      | 1,89           | 20      | verlies       | verl/jaar | gas/jaar       | kW-inst | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188     | 3,57           | 148     | [W]           | [MJ/a]    | [m^3/a]        | [kW]    | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |         |                | 1289    | 34808         | 156580    | 1060           | 40,0    | 7732      |
| Ventilatie                   | afzuig  | n              | v.verl  |               |           |                |         |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m^3/h] | [x/h]          | [W/K]   |               |           |                |         |           |
| max:                         |         |                |         |               |           |                |         |           |
| gem.:                        | 660     | 0,36           | 85      | 2288          | 10291     | 70             | 2,6     | 508       |
| Tot. vent+tr                 |         |                | 1374    | 37096         | 166871    | 1130           | 42,7    | 8241      |
|                              |         |                |         |               |           | bodemcoll.pomp |         | 70        |
|                              |         |                |         |               |           | (60W)          |         |           |
| TROMBEWAND:                  |         | 117 W/m2       |         |               |           | totaal         |         | 8.300     |
|                              |         |                |         |               |           | kWh            |         |           |

Gewijzigd: gas/jaar in m<sup>3</sup>/a en verl/jaar in kWh/a onderverdeeld in 20 en 80% + elektriciteitsverbruik gedeeld door c.o.p. van warmtepomp

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (HUIDIGE  
SITUATIE+DAKISOLATIE+MUURISOLATIE+VOORZETRAMEN+WTW+  
+WARMTEWANDEN+TROMBEWAND+WP+ZB)

| Transmissie                  | Opp.    | k           | tr.verl |                |           |                      |           |           |
|------------------------------|---------|-------------|---------|----------------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
| Oude Delft 73, Delft         | [m^2]   | [W/(m^2 K)] | [W/K]   |                |           |                      |           |           |
| hellend dak                  | 244     | 0,33        | 81      | zon+iwp 6815   |           |                      |           |           |
| hellend dak Z voor pv-cellen | 25      | 0,59        | 15      | T-stook 10,6   |           |                      |           |           |
| plat dak                     | 21      | 0,33        | 7       | Grdagen 1406   |           |                      |           |           |
| hellend dak gang bg          | 80      | 0,32        | 25      | T-binnen 15,6  |           |                      |           |           |
| voorgevel anderhalfsteens    | 64      | 1,83        | 118     | n-brand[%] 84  |           |                      |           |           |
| anderhalfsteens gevel        | 211     | 0,84        | 178     | n-wtw[%] 90    |           |                      |           |           |
| steens gevel                 | 128     | 0,31        | 40      | C.O.P. WP 4,55 |           |                      |           |           |
| gangwand bg                  | 164     | 2,07        | 340     |                |           |                      |           |           |
| glas-dubbel                  | 76      | 2,80        | 212     |                |           |                      |           |           |
| glas-enkel tuinkamer         | 5       | 5,00        | 24      |                |           |                      |           |           |
| buitendeur tussengang        | 2       | 3,40        | 6       |                |           |                      |           |           |
| buitendeuren gang bg         | 13      | 3,40        | 43      |                |           |                      |           |           |
| vloer met kruipruimte        | 44      | 2,56        | 32      |                |           |                      |           |           |
| vloer boven kelder           | 30      | 1,89        | 20      | verlies        | verl/jaar | gas/jaar             | kW-inst   | verl/jaar |
| vloer op zand                | 188     | 3,57        | 148     | [W]            | [MJ/a]    | [m^3/a]              | [kW]      | [kWh/a]   |
| Sommatie                     |         |             | 1289    | 34808          | 156580    | 1060                 | 40,0      | 7650      |
| Ventilatie                   | Afzuig  | n           | v.verl  |                |           |                      |           |           |
| Oude Delft 73, Delft         | [m^3/h] | [x/h]       | [W/K]   |                |           |                      |           |           |
| max:                         |         |             |         |                |           |                      |           |           |
| gem.:                        | 660     | 0,36        | 85      | 2288           | 10291     | 70                   | 2,6       | 503       |
| Tot. vent+tr                 |         |             | 1374    | 37096          | 166871    | 1130                 | 42,7      | 8153      |
|                              |         |             |         |                |           | bodemcoll.pomp (60W) |           | 70        |
| TROMBEWAND:                  |         | 117 W/m2    |         | totaal         |           |                      | 8.200 kWh |           |

## BIJLAGE 3 OVERZICHT BEREKENINGSRESULTATEN

PII6.98.163 OUDE DELFT 73, DELFT (CONCLUSIES)

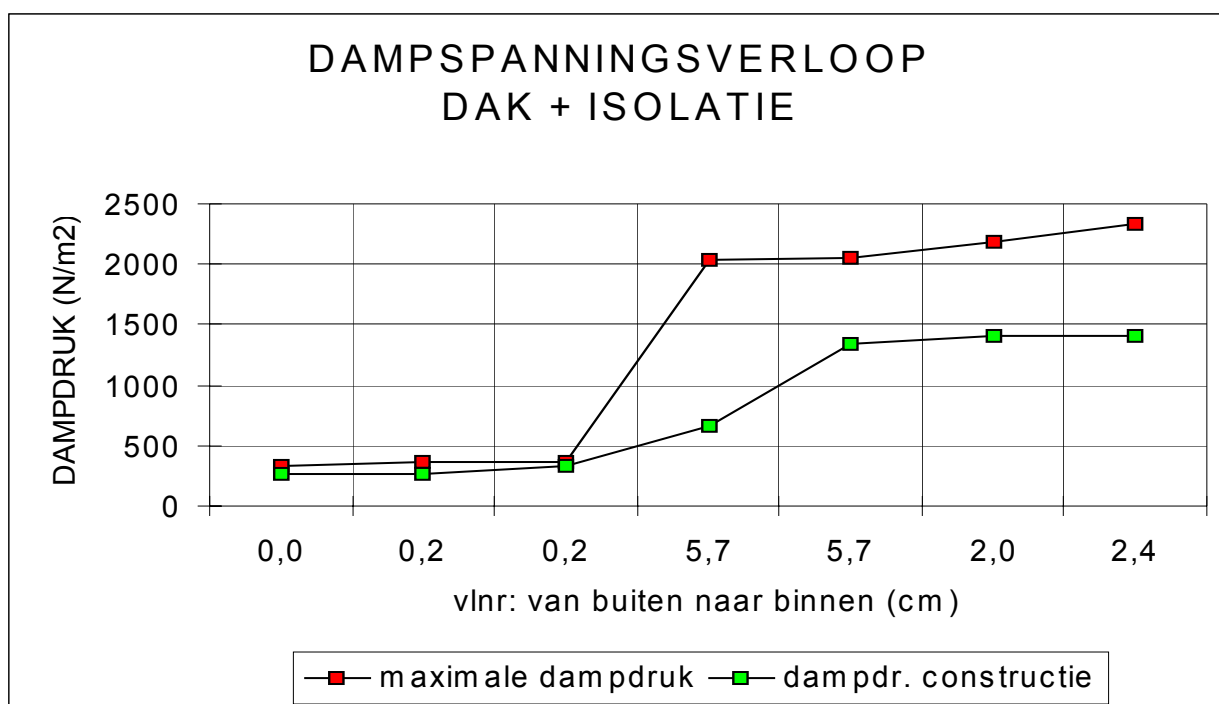
| Situatie         | gas/jaar            |                     | Besparin |         | Elektricite besparin |        | prim.brstf | CO2-uitst | besparing | kosten |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|---------|----------------------|--------|------------|-----------|-----------|--------|
|                  |                     |                     |          |         |                      |        |            |           |           |        |
|                  |                     |                     |          |         |                      |        |            |           |           |        |
|                  | g                   | it                  | g        |         |                      |        |            |           |           |        |
|                  | [m <sup>3</sup> /a] | [m <sup>3</sup> /a] | [kWh/a]  | [kWh/a] |                      | [kg/a] | prim.br    | [gld/a]   | [gld/a]   |        |
|                  |                     |                     |          |         | [m <sup>3</sup> aeq/ |        | [%]        |           |           |        |
| Huidig           | 26.900              | -                   | 18.000   | -       | 34.000               | 55.200 | 0%         | 19.650    | -         |        |
| + dakiso         | 20.300              | 6.600               | 18.000   | -       | 24.400               | 43.400 | 21%        | 15.690    | 3.960     |        |
| + wandiso        | 15.200              | 5.100               | 18.000   | -       | 19.300               | 34.400 | 38%        | 12.630    | 3.060     |        |
| + glasisolatie   | 12.900              | 2.300               | 18.000   | -       | 17.000               | 30.300 | 45%        | 11.250    | 1.380     |        |
| + LB met WTW     | 10.000              | 2.900               | 20.340   | -2.300  | 14.600               | 26.000 | 53%        | 9.970     | 1.280     |        |
| + warmtewanden   | 9.500               | 500                 | 20.340   | -       | 14.100               | 25.100 | 55%        | 9.670     | 300       |        |
| + Trombewand     | 7.500               | 2.000               | 20.340   | -       | 12.100               | 21.500 | 61%        | 8.470     | 1.200     |        |
| na maatregelen   | 7.500               | 19.400              | 20.340   | -       | 12.100               | 21.500 | 61%        | 8.470     | 11.180    |        |
| WP-systeem       | 1.130               | 6.370               | 28.700   | -8.400  | 7.700                | 13.700 | 75%        | 6.280     | 2.190     |        |
| WP+ZB            | 512                 | 620                 | 29.700   | -1.000  | 7.300                | 13.000 | 76%        | 6.110     | 170       |        |
| PV-cellen        | 512                 | 0                   | 26.450   | 3.300   | 6.500                | 11.600 | 79%        | 5.470     | 640       |        |
| Daglichtregeling | 512                 | 0                   | 21.950   | 4.500   | 5.500                | 9.800  | 82%        | 4.590     | 880       |        |

## BIJLAGE 4      DAUWPUNTSBEREKENINGEN CONSTRUCTIES

DAK+ISOLATIE

KOOLTHERM

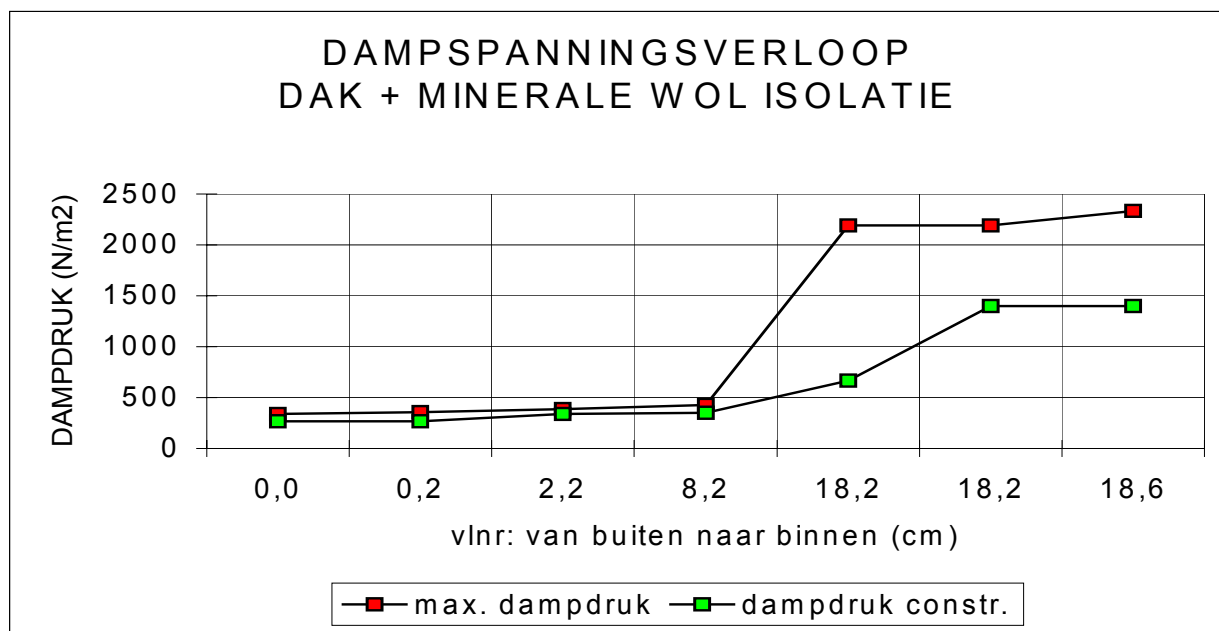
| Laag           | Nr | d-j<br>[m] | lambda-j<br>[W/mK] | R-j<br>[m²K/W] | mu-j<br>[-] | mu*d-j<br>[m] | T-j<br>[GrC] | p'-j<br>[N/m2] | p-j<br>[N/m2] | rv<br>% | l=<br>condens |
|----------------|----|------------|--------------------|----------------|-------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------|---------------|
| Buiten         |    |            |                    |                |             |               | -7,00        | 337            | 269           | 80      | 0             |
| Grenslaag      | 1  | 0,002      |                    | 0,08           | 1           | 0             | -6,67        | 347            | 269           |         |               |
|                |    |            |                    |                |             |               | -6,33        | 357            | 269           |         | 0             |
| Waterkering    | 2  | 0,0001     | 0,35               | 0,00           | 3500        | 0,35          | -6,33        | 357            | 303           |         |               |
|                |    |            |                    |                |             |               | -6,33        | 357            | 337           |         | 0             |
| Koolthermisol. | 3  | 0,055      | 0,019              | 2,89           | 30          | 1,65          | 5,77         | 920            | 498           |         |               |
|                |    |            |                    |                |             |               | 17,87        | 2045           | 658           |         | 0             |
| Alufolie       | 4  | 0,0001     | 0,35               | 0,00           | 35000       | 3,5           | 17,87        | 2045           | 999           |         |               |
|                |    |            |                    |                |             |               | 17,87        | 2045           | 1339          |         | 0             |
| Hout           | 5  | 0,020      | 0,16               | 0,13           | 16          | 0,32          | 18,39        | 2113           | 1370          |         |               |
|                |    |            |                    |                |             |               | 18,91        | 2183           | 1402          |         | 0             |
| Grenslaag      | 6  | 0,004      |                    | 0,13           | 1           | 0             | 19,46        | 2259           | 1402          |         |               |
| Binnen         |    |            |                    |                |             |               | 20,00        | 2336           | 1402          | 60      | 0             |
| Sommatie       |    | 0,075      |                    | 3,23           |             | 5,82          |              |                |               |         |               |
|                |    |            | Rc=                | 3,02           |             |               |              |                |               |         |               |
|                |    |            | Uc=                | 0,33           |             |               |              |                |               |         |               |
|                |    |            | U =                | 0,31           |             |               |              |                |               |         |               |



DAK +

MINERALE WOL

| Laag         | Nr | d-j<br>[m] | Lambda-j<br>[W/mK] | R-j<br>[m2K/W] | mu-j<br>[-] | Mu*d-j<br>[m] | T-j<br>[GrC] | p'-j<br>[N/m2] | p-j<br>[N/m2] | rv<br>% | l=<br>condens |
|--------------|----|------------|--------------------|----------------|-------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------|---------------|
| Buiten       |    |            |                    |                |             |               | -7,00        | 337            | 269           | 80      | 0             |
| Grenslaag    | 1  | 0,002      |                    | 0,08           | 1           | 0             | -6,68        | 346            | 269           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | -6,35        | 356            | 269           |         | 0             |
| Hout         | 2  | 0,020      | 0,16               | 0,13           | 16          | 0,32          | -5,85        | 372            | 303           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | -5,34        | 389            | 337           |         | 0             |
| Luchtsponw   | 3  | 0,060      |                    | 0,15           | 1           | 0,06          | -4,74        | 410            | 343           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | -4,13        | 432            | 349           |         | 0             |
| Minerale wol | 4  | 0,100      | 0,035              | 2,86           | 15          | 1,5           | 7,41         | 1029           | 507           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 18,95        | 2188           | 665           |         | 0             |
| Alufolie     | 5  | 0,00001    | 0,35               | 0,00           | 350000      | 3,5           | 18,95        | 2188           | 1033          |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 18,95        | 2188           | 1402          |         | 0             |
| Grenslaag    | 6  | 0,004      |                    | 0,13           | 1           | 0             | 19,47        | 2261           | 1402          |         |               |
| Binnen       |    |            |                    |                |             |               | 20,00        | 2336           | 1402          | 60      | 0             |
| Sommatie     |    | 0,180      |                    | 3,34           |             | 5,38          |              |                |               |         |               |
|              |    |            | Rc=                | 3,13           |             |               |              |                |               |         |               |
|              |    |            | Uc=                | 0,32           |             |               |              |                |               |         |               |
|              |    |            | U =                | 0,30           |             |               |              |                |               |         |               |



WAND +

PS-extrusie

| Laag         | nr | d-j<br>[m] | lambda-j<br>[W/mK] | R-j<br>[m2K/W] | mu-j<br>[-] | mu*d-j<br>[m] | T-j<br>[GrC] | p'-j<br>[N/m2] | p-j<br>[N/m2] | rv<br>% | l=<br>condens |
|--------------|----|------------|--------------------|----------------|-------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------|---------------|
| buiten       |    |            |                    |                |             |               | -7,00        | 337            | 269           | 80      | 0             |
| grenslaag    | 1  | 0,002      |                    | 0,04           | 1           | 0             | -6,01        | 367            | 269           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | -5,02        | 400            | 269           |         | 0             |
| steensmuur   | 2  | 0,3        | 0,8                | 0,38           | 31          | 9,3           | 4,24         | 827            | 835           |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 13,51        | 1546           | 1401          |         | 0             |
| geextr.PS    | 3  |            | 0,027              | 0,00           | 250         | 0,00          | 13,51        | 1546           | 1401          |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 13,51        | 1546           | 1401          |         | 0             |
| geen dampr.  | 4  | 0          | 0,17               | 0,00           | 35000       | 0             | 13,51        | 1546           | 1401          |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 13,51        | 1546           | 1401          |         | 0             |
| kalkpleister | 5  | 0,001      | 0,7                | 0,00           | 6           | 0,006         | 13,54        | 1550           | 1401          |         |               |
|              |    |            |                    |                |             |               | 13,58        | 1553           | 1402          |         | 0             |
| grenslaag    | 6  | 0,004      |                    | 0,13           | 1           | 0             | 16,79        | 1910           | 1402          |         |               |
| binnen       |    |            |                    |                |             |               | 20,00        | 2336           | 1402          | 60      | 0             |

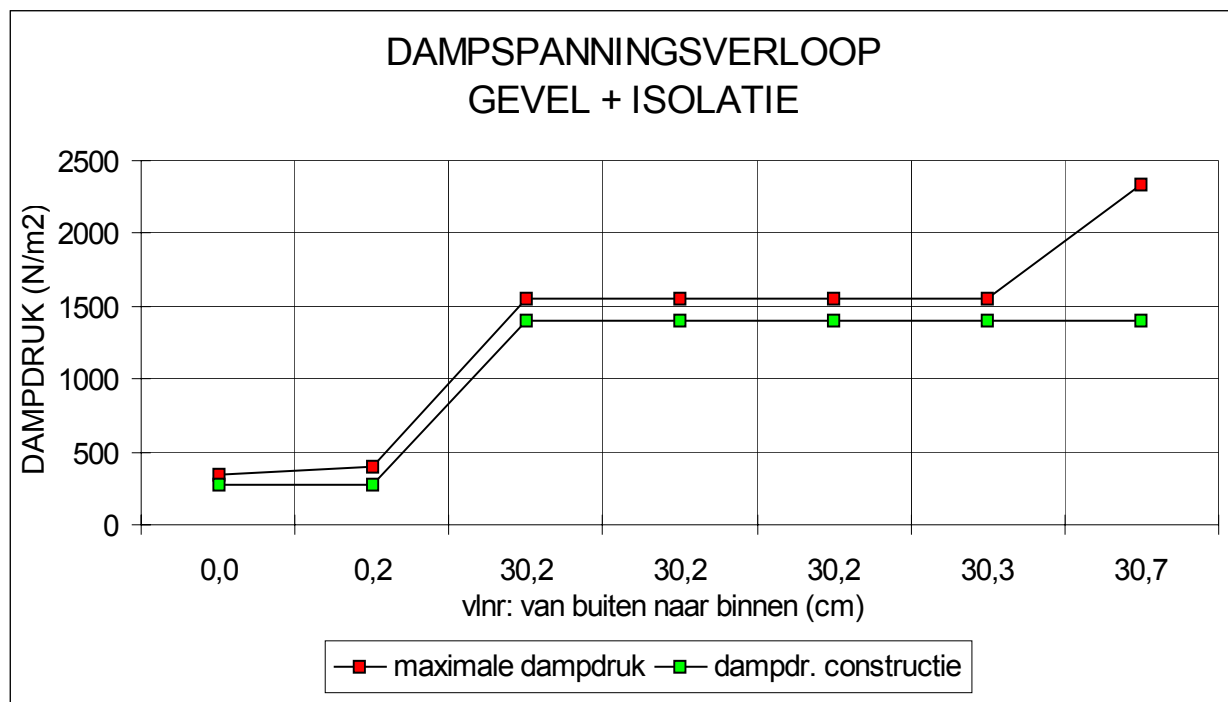
sommatie

R = 0,55 9,31

Rc= 0,38

Uc= 2,66

U = 1,83

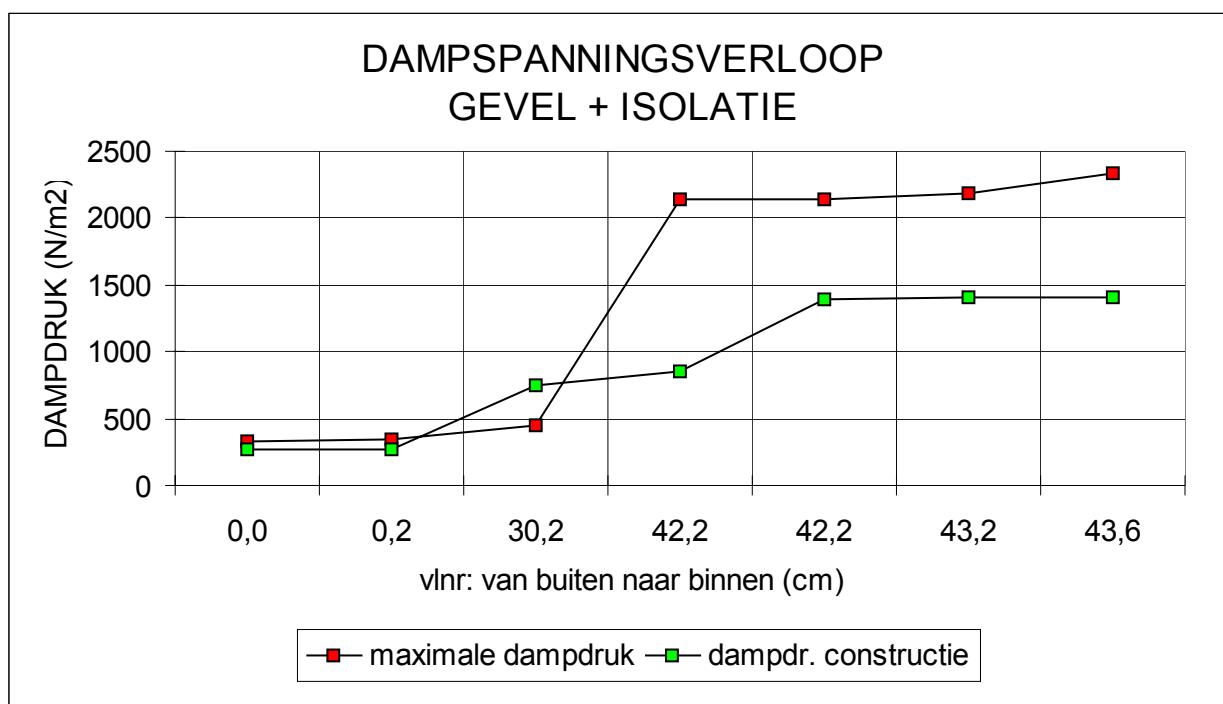


WAND +

MET DAMPREM IS DAUWPUNT ACCEPTABEL

MINERALE WOL

| laag                     | nr | d-j<br>[m] | lambda-j<br>[W/mK] | R-j<br>[m <sup>2</sup> K/W] | mu-j<br>[-] | mu*d-j<br>[m] | T-j<br>[GrC]   | p'-j<br>[N/m <sup>2</sup> ] | p-j<br>[N/m <sup>2</sup> ] | rv<br>% | l=<br>condens |
|--------------------------|----|------------|--------------------|-----------------------------|-------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------|---------------|
| buiten                   |    |            |                    |                             |             |               | -7,00          | 337                         | 269                        | 80      | 0             |
| grenslaag                | 1  | 0,002      |                    | 0,04                        | 1           | 0             | -6,83          | 342                         | 269                        |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | -6,67          | 347                         | 269                        |         | 0             |
| Anderhalfsteens-<br>muur | 2  | 0,3        | 0,8                | 0,38                        | 31          | 9,3           | -5,11          | 397                         | 512                        |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | -3,55          | 453                         | 755                        |         | 1             |
| minerale wol             | 3  | 0,12       | 0,045              | 2,67                        | 15          | 1,8           | 7,52           | 1037                        | 803                        |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,59          | 2139                        | 850                        |         | 0             |
| damprem                  | 4  | 0,0003     | 0,17               | 0,00                        | 35000       | 10,5          | 18,59          | 2140                        | 1124                       |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,60          | 2141                        | 1398                       |         | 0             |
| gipsplaat                | 5  | 0,01       | 0,26               | 0,04                        | 6           | 0,06          | 18,76          | 2163                        | 1400                       |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,92          | 2184                        | 1402                       |         | 0             |
| grenslaag                | 6  | 0,004      |                    | 0,13                        | 1           | 0             | 19,46          | 2259                        | 1402                       |         |               |
| binnen                   |    |            |                    |                             |             |               | 20,00          | 2336                        | 1402                       | 60      | 0             |
| sommatie                 |    |            | R =                | 3,25                        |             | 21,66         | 0,75 =omega -> | Condenspunt acceptabel      |                            |         |               |
|                          |    |            | Rc=                | 3,08                        |             |               |                |                             |                            |         |               |
|                          |    |            | Uc=                | 0,32                        |             |               |                |                             |                            |         |               |
|                          |    |            | U =                | 0,31                        |             |               |                |                             |                            |         |               |



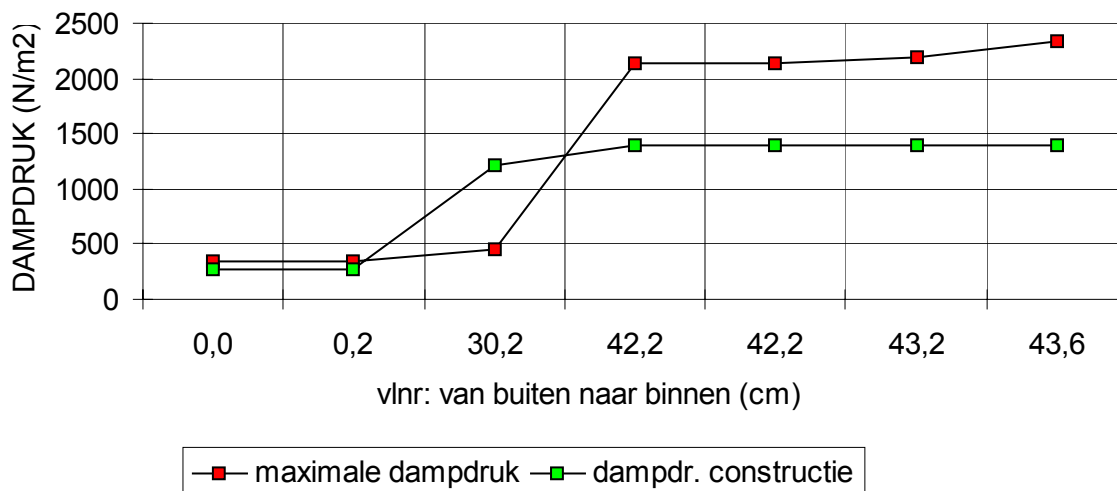


WAND + ZONDER DAMPREM NIET ACCEPTABEL

MINERALE WOL

| laag                     | nr | d-j<br>[m] | lambda-j<br>[W/mK] | R-j<br>[m <sup>2</sup> K/W] | mu-j<br>[-] | Mu*d-j<br>[m] | T-j<br>[GrC]   | p'-j<br>[N/m <sup>2</sup> ] | p-j<br>[N/m <sup>2</sup> ] | rv<br>% | l=<br>condens |
|--------------------------|----|------------|--------------------|-----------------------------|-------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------|---------------|
| buiten                   |    |            |                    |                             |             |               | -7,00          | 337                         | 269                        | 80      | 0             |
| grenslaag                | 1  | 0,002      |                    | 0,04                        | 1           | 0             | -6,83          | 342                         | 269                        |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | -6,67          | 347                         | 269                        |         | 0             |
| Anderhalfsteens-<br>muur | 2  | 0,3        | 0,8                | 0,38                        | 31          | 9,3           | -5,11          | 397                         | 741                        |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | -3,55          | 453                         | 1213                       |         | 1             |
| minerale wol             | 3  | 0,12       | 0,045              | 2,67                        | 15          | 1,8           | 7,52           | 1038                        | 1304                       |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,60          | 2141                        | 1395                       |         | 0             |
| geen damprem             | 4  | 0          | 0,17               | 0,00                        | 35000       | 0             | 18,60          | 2141                        | 1395                       |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,60          | 2141                        | 1395                       |         | 0             |
| gipsplaat                | 5  | 0,01       | 0,26               | 0,04                        | 6           | 0,06          | 18,76          | 2163                        | 1399                       |         |               |
|                          |    |            |                    |                             |             |               | 18,92          | 2184                        | 1402                       |         | 0             |
| grenslaag                | 6  | 0,004      |                    | 0,13                        | 1           | 0             | 19,46          | 2259                        | 1402                       |         |               |
| binnen                   |    |            |                    |                             |             |               | 20,00          | 2336                        | 1402                       | 60      | 0             |
| sommatie                 |    |            | R =                | 3,25                        |             | 11,16         | 5,00 =omega -> | Condenspunt niet acceptabel |                            |         |               |
|                          |    |            | Rc=                | 3,08                        |             |               |                |                             |                            |         |               |
|                          |    |            | Uc=                | 0,32                        |             |               |                |                             |                            |         |               |
|                          |    |            | U =                | 0,31                        |             |               |                |                             |                            |         |               |

### DAMPSPANNINGSVERLOOP GEVEL + ISOLATIE



---

**BIJLAGE 5A      EPC-BEREKENING OUDE SITUATIE**







---

**BIJLAGE 5B      EPC-BEREKENING NIEUWE SITUATIE**









**Middeleeuwen: zaal en hallehuis.****Hallehuis:**

Er bestaan in Nederland geen voorbeelden meer van dit type van voor de jaartelling. Er is wel een opgraving bij Ezingen waarbij nog goed te zien is hoe het hallehuis in elkaar heeft gezeten. Het bestond uit één ruimte van drie beuken waarvan de middenbeuk breder was dan de zijbeuken. De haard bevond zich in de middenbeuk.

**Zaalhuis:**

In het jaar 1000 komt voor het eerst het zaalhuis als type naar voren. Het heeft een breder gebint dan het hallehuis, waardoor een grotere overspanning kon worden gemaakt. Dit was vooral op het platteland voordelig voor het opslaan van de oogst. Het zaalhuis is 4 à 5 meter breed. In de stad komt het in deze maat veel voor. Er is een grote overeenkomst waar te nemen tussen het stadshuis en het woongedeelte van het kasteel.

**Enkele kenmerken van het middeleeuwse zaalhuis:**

Er bestaan lange zaalhuizen (boerderijen, grote stadshuizen) en korte zaalhuizen (ondiepe verkaveling: vissershuisen). Tijdens de middeleeuwen is de zaal de belangrijkste ruimte, meestal bestonden de woningen enkel uit deze ruimte.

- Er is een belangrijke ontwikkeling die voor alle typen geldt; de verplaatsing van de schoorsteen uit het midden naar de wand.
- Verdiepingen, kelders en trappen binnen of buiten het huis hadden grote invloed op het beeld en gaven de rijkdom van de bewoners van het huis aan.
- Kamers werden of aangebouwd of van de zaal afgetimmerd. De toevoeging van de stenen kamer zoals bij het brede huis komt al vroeg voor. Dit kwam zowel in de stad als op het platteland voor en het maakte daarbij niet uit of het huis van leem, hout of steen was gemaakt. De achterkamer en de zijkamer zijn de meest verbreide varianten. Deze extra kamers werden vaak apart verhuurd. Het korte zaalhuis en de kamerwoning zijn moeilijk te onderscheiden.
- Bij een vergroting van het huis met een nieuwe zaal werd deze aan het huis gebouwd, indien de zaal niet aan de woning toebehoorde werd een los achterhuis/zijhuis gebouwd. Het bijbouwen van ruimten gebeurde in de meeste gevallen achter de bestaande woning vanwege de daar beschikbare ruimte. In andere gevallen werd aan de zijkant van de woning bijgebouwd.
- De keuken in de huizen bevond zich meestal achter het huis. Deze werd dan gebouwd met de korte zijde aan het huis vanwege de lichtval in het huis.  
Meestal werd de keuken in de tuin gebouwd waardoor een binnenplaats ontstond. Via een gang werden keuken en woonhuis verbonden.  
Bij grote stadshuizen werd zelfs een apart gebouwtje voor de keuken opgericht.

---

## **1400 - 1650: Het middeleeuwse huis ontwikkelt zich tot een comfortabel huis.**

### **De ontwikkeling van het huis**

De gewone burgerhuizen nemen de indeling van de grote woonhuizen steeds meer over. Hierdoor komen huizen met toegevoegde ruimten steeds meer in trek, waarbij het zaalhuis met achterhuis het meest voorkomt. Dit type had een driedelige plattegrond: voorhuis, binnenhaard en achterkamer. Het kenmerk van deze ontwikkeling is het verdwijnen van de grote zaal. Naast de haard en achterkamer liep van het voorhuis een gang naar de achtergevel.

De belangrijkste wijziging in de indeling is het voornamer maken van het voorhuis waardoor de haard en de keuken werden verplaatst naar de achterzijde van het huis.

De meer primitieve bebouwing in de stad is een roede (3.75m) breed en is van leem gemaakt. De eerste ontwikkeling van het toepassen van steen resulteerde in het opvullen van het houten vakwerk. Door het grote brandgevaar werden rond 1450 stenen zijmuren verplicht. Tussen  $\pm 1400$  -  $\pm 1650$  ontwikkelde de wetgeving zich verder tot het complete stenen huis. De voorgevel was het laatste onderdeel dat standaard van steen werd vervaardigd. Deze stenen huizen zijn te splitsen in woontorens, hoge huizen (langgerekte woontoren) en zaalgebouwen, welke het meeste werden toegepast.

Omstreeks het midden van de 17de eeuw is de toepassing van middeleeuwse houtconstructies voorbij. De constructie werd simpeler en steeds meer aan het oog onttrokken.

De laat middeleeuwse stad kenmerkt zich door een op vlucht staande houten gevel bij winkels en bedrijven. Een stenen gevel die veel heeft van een houten gevel maar geen overstekken meer kent. De versteende houten gevel komt het meest voor en wordt vaak gecombineerd met een luifel.

Het verkavelingspatroon heeft grote invloed op het toegepaste huistype. Het huis met de nokrichting loodrecht op de straat komt het meeste voor. Dwars geplaatste huizen komen alleen voor wanneer de kavel een voldoende breedte heeft.

### **Ontwikkelde typen**

**Zaalgebouw:** Vooral in het begin van 1400 was er in tegenstelling tot het stenen huis geen stapeling waarbij de boven de zaal gelegen ruimte voor bewoning bestemd was. Vooral veel later werden er pas duidelijk verschillen in de zaalgebouwen waarneembaar.

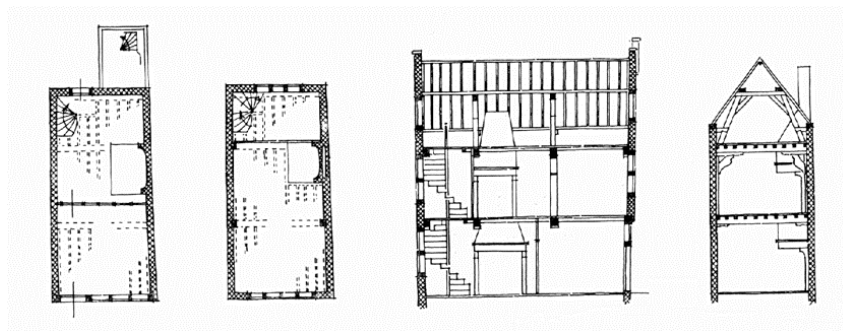
**Zaalhuis:** tijdens de middeleeuwen was dit het normale stadshuis. Een zaal en daarboven een zolder met een borstwering. Koken verdwijnt naar een smalle achterkeuken. Het huis is verdeeld in voorhuis en binnenhaard waarbij veelvuldig een zijkamer voorkomt waaronder soms een kelder is met een stenen gewelf.

---

**Zaalhuis met insteek:** een zaalhuis met een extra vloer boven de binnenhaard waardoor een lage ruimte ontstond onder de zoldering van de zaal. Dit kon alleen gerealiseerd worden door de zaal hoger te maken. Soms werd deze insteek ook in de zijkamer gedaan. Over het algemeen werd deze ruimte gebruikt om te slapen.

**Zaalhuis met kelder:** Voornaam huistype met meestal een verdieping. Praktisch altijd een overwelfde kelder van steen. De stadshuizen werden eigenlijk aanvankelijk veel minder onderkelderd dan daarbuiten totdat het ruimtegebrek erg groot werd.

**Zaalhuis met verdieping:** zeer algemeen (zonder kelder) als stadshuis van  $\pm 1400$  -  $\pm 1650$  (tekening 1). De verdieping vervult meerdere functies en heeft weinig invloed op de indeling van de zaal.



(tekening 1)

**Zaalhuis met kelder en verdieping:** Dit type komt veel voor bij de grotere stadshuizen, openbare gebouwen en kastelen. De kelder is apart van de zaal van buiten toegankelijk en meestal in steen maar soms in hout gemaakt. De functie verschilt maar vaak is het een opslagplaats met een trap (met of zonder luik) vanaf de straat.

**Zaalhuis met halve kelder en verdieping:** Dit type komt niet vaak voor omdat eerder alles wordt onderkelderd als de moeite eenmaal genomen is. De kelder ligt aan de voor- of achterzijde.

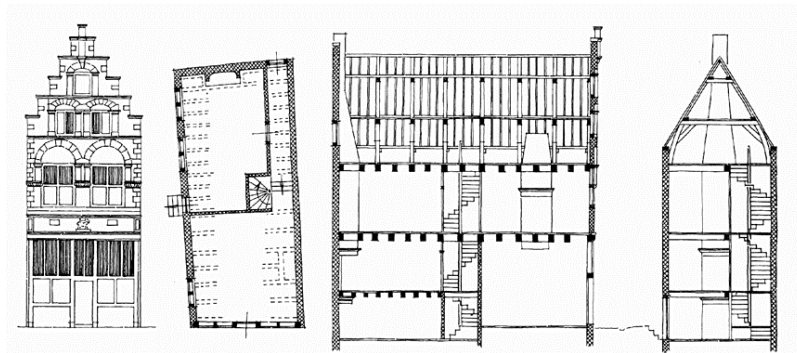
**Zaalhuis met twee verdiepingen:** Dit komt alleen voor bij de pakhuizen en stadswoonhuizen. Er is meestal een groot verschil tussen de eerste verdieping en de tweede. De eerste is belangrijk en de tweede dient meestal als zolder. Wanneer er sprake is van meer verdiepingen komt dat eigenlijk alleen maar voor bij pakhuizen.

**Het zaalhuis met twee verdiepingen en kelder:** bij belangrijke koopmanshuizen en grote stadshuizen is het vrij gangbaar en bijna altijd bevindt er zich een winkel in, die extra opslagruimte nodig zal hebben.

---

**Het zaalhuis met insteek en kelder:** Alle varianten van het zaalhuis met insteek boven de binnenhaard zijn typische vormen voor het stadswoonhuis. De kelder wordt meestal aangetroffen bij grotere stadshuizen die weinig problemen hadden met het verhogen van de zaal. In de 17de eeuw krijgt de insteek een groter belang en wordt de zaal nog hoger gemaakt.

**Het zaalhuis met insteek en verdieping:** een typisch stedelijk woonhuis dat al zeer vroeg voorkomt (tekening 2). De indeling is hetzelfde als bij een gewoon zaalhuis. Vaak werd ernaar gestreefd de hoogte te beperken waardoor de binnenhaard verdiept werd aangelegd. Dit type komt meer in het westen voor.



(tekening 2)

**Het zaalhuis met insteek, verdieping en kelder:** in tegenstelling tot het zaalhuis zonder insteek maar met kelder werd dit type voornamelijk gebruikt voor stadswoonhuizen. De binnenhaard kon niet goed meer verdiept worden aangelegd. Het komt meer in het oosten voor. In het westen groeide de insteek op den duur uit naar de functie van eerste verdieping.

**Het zaalhuis met insteek, verdieping en halve kelder:** het insteekhuis met verdieping behoorde tot de grotere huizen. Bij die huizen, waar de binnenhaard verdiept werd aangelegd, moest men vrij diep graven voor de fundering. Zonder veel extra kosten kon men onder het voorhuis een kelder maken. Dit huistype komt veel voor. Waarbij de kelder over het algemeen weer werd gebruikt als pakkelder.

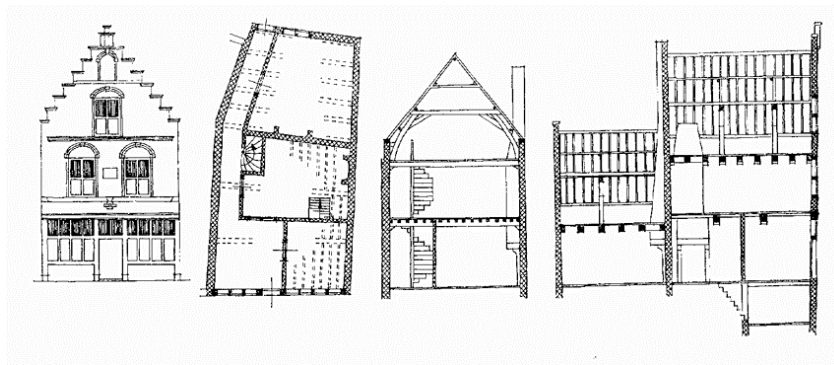
**Het zaalhuis met insteek en twee verdiepingen:** dit type komt alleen voor bij stadshuizen die niet zover in de hoogte waren ontwikkelt als het zaalhuis zonder insteek. De insteekruimte groeide vaak uit tot de eerste verdieping.

**Het zaalhuis met insteek, twee verdiepingen en halve kelder:** meeste ontwikkeling in de hoogte van het stadshuis. Voornamelijk voor het grote winkelhuis in gebruik. Soms kwam het voor dat er zich boven de winkel een apart toegankelijk huis bevond.

---

**Het zaalhuis met insteek, twee verdiepingen en halve kelder:** komt vrijwel alleen voor in de steden en wordt meestal door winkels gebruikt.

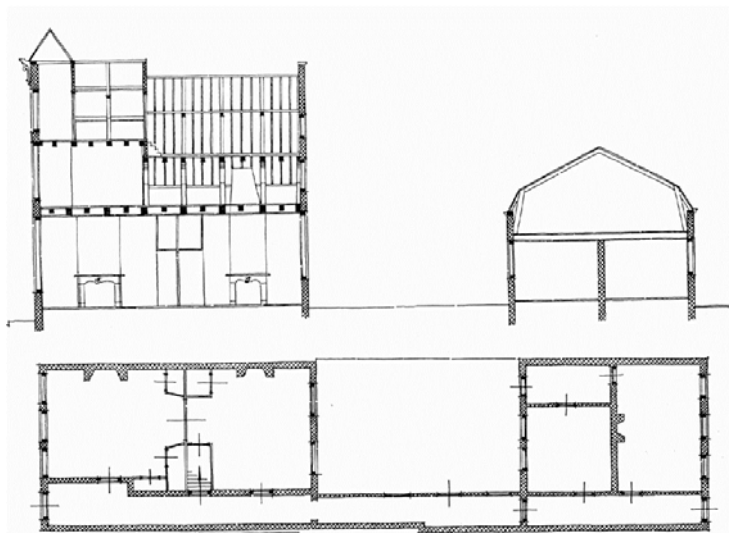
**Het zaalhuis met achterkamer:** dit is de meest voorkomende uitbreiding hoewel het van oorsprong een zelfstandig element vormt (tekening 3). De achterkamer is meestal lager dan het huis, soms is de achterkamer versmalt zodat er een gang ontstaat van het voorhuis langs de binnenhaard en achterkamer naar het achtererf. Vele huizen hebben ook verbondenheid met de achterkamer d.m.v. goothoogte of dakconstructie wanneer beide delen even hoog zijn.



(tekening 3)

**Het zaalhuis met apart bewoonde achterkamer:** bij hoekhuizen en bij de situatie dat er zich een gang tussen de woningen bevindt komt een apart bewoonde achterkamer het meeste voor. Vaak verdwijnt op den duur de gang doordat deze bij een van de huizen wordt betrokken. Het aanzien van het achterhuis hangt zeer nauw samen met de betekenis van de straat of steeg waaraan zij zich bevond.

**Het zaalhuis met achterhuis:** onder een achterhuis wordt verstaan een tweede huis achter het voorste pand dat er door middel van een binnenplaats van is gescheiden en slechts door een gang is verbonden (tekening 4). Zelden was het achterhuis in gebruik bij het voorhuis.



(tekening 4)

**Het zaalhuis met dwarsgeplaatst achterhuis:** het komt vaker voor dat het achterhuis met de nok in de dwarsrichting t.o.v. het voorhuis is geplaatst dan dat deze in dezelfde richting loopt. Meestal behoren deze huizen niet tot de grootste huizen of huizen met een diep perceel. Vaak was het achterhuis in gebruik als keuken.

**Het lange zaalhuis:** de achterkamer vormt geen zelfstandig bouwelement maar vormt een vertrek dat binnen het huis is afgescheiden. De indeling is drieledig; voorhuis, binnenhaard en achterkamer. Ook de lange gang naar het achtererf en de trap tussen binnenhaard en achterkamer is vrij algemeen.

**Het zaalhuis met smalle achterkeuken:** van  $\pm 1400$  tot  $\pm 1650$  komen er steeds meer huizen met een tweede keuken. Deze keuken wordt of versmald aan het huis geplaatst of gescheiden door een binnenplaats aangelegd. Dit type huis met keuken is algemeen verbreid.

**Het korte zaalhuis:** dit type heeft een plattegrond die niet veel langer is dan de breedte. Het bestaat vaak maar uit een ruimte en meestal is het moeilijk vast te stellen of er ooit een apart voorhuis is geweest. Soms was deze heel ondiep of verdween de binnenhaard. Als er zich geen binnenhaard in het huis bevindt dan is er sprake geweest van een winkel en had het pand geen woonfunctie.

### **De ontwikkeling van het huis in de breedte**

**Het brede zaalhuis:** bij het normale zaalhuis is er een muur tussen de gang en de binnenhaard die een ondersteuning boden voor de balklaag boven de zaal. Door de ontwikkeling van het huis in de breedte

---

met zijkamers kwam deze muur in het midden van de zaal te liggen. Een dergelijke muur bevindt zich meestal op de begane grond. Dit vormt een nieuw constructief element dat ervoor zorgde dat er breder gebouwd kon worden. Brede zaalhuizen komen al vroeg voor. Dit type werd voornamelijk toegepast bij belangrijke gebouwen die groter moesten zijn dan 30 voet. Het kwam ook bij gewone huizen voor maar dan leek het een vervroegde versie van de twee onder een kap woningen. Een kenmerk van de twee huizen onder een dak is de hoogte van het dak. Meestal vrij hoog en als het dak gesplitst is dan lijken het slechts de balklagen te zijn die aangeven dat het een breed huis betreft in plaats van twee aparte huizen.

**Het hallehuis:** Dit type bestond uit een ruimte met stijlen. Wanneer bij de verdere ontwikkeling hiervan een tussenmuur wordt geplaatst spreekt men van een huis met zijbeuken. Het hallehuis is veel breder dan het zaalhuis door de verbreding van de gebinten. Het komt het meeste voor in agrarische gebieden. Meestal bleek het huis met zijbeuken niet goed te voldoen aan de wooneisen. Dit resulteerde in het veranderen of weglaten van de zijbeuken. In de hoogte had dit type ook veel beperkingen. Alleen boven de middenbeuk kan een verdieping komen. Het verdween daarom snel uit de stad. Een door het zaalhuis overgenomen element zou het ankerbalk-gebint kunnen zijn. De invloed bleef echter gering.

**Het huis met zijbeuk of afgang:** dit type is waarschijnlijk ontstaan doordat bij het hallehuis onder invloed van het zaalhuis een zijbeuk is weggelaten. Vaak heeft de hoofdbeuk een verdieping en loopt het dak flauw hellend over in de zijbeuk. Soms vormen de hoofd- en zijbeuk een ruimte. Bij dwarsgeplaatste huizen komt de afgang veel voor. De zijbeuk ligt dan aan de achterzijde en bevat meerdere vertrekken waarbij er geen direct contact tussen de hoofdbeuk en het achtererf bestaat.

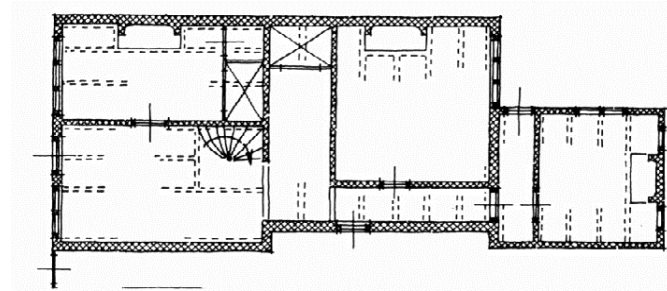
**Het huis met zijkamer:** De zijkamer is een element dat ontleend is aan de stenen gebouwen. Bij stadshuizen zijn ze moeilijk herkenbaar omdat deze vaak later van het huis zijn afgesplitst. Op het platteland zijn de zijkamers meestal dwarsgeplaatst terwijl in de stad de nok meestal loodrecht op de straat staat. Soms zijn de functies helemaal gescheiden en wordt de kamer apart verhuurd.

**Het huis met zijhuis:** indien er zich naast het huis een bouwlichaam bevindt, dat even diep is als het huis zelf en een eigen dak heeft, is er sprake van een huis met zijhuis. Het komt vaak voor bij dwarsgeplaatste huizen en het is geëvolueerd uit het huis met twee zijbeuken. De ontwikkeling van het zaalgebouw waaraan een tweede zaalgebouw met de nok loodrecht word gebouwd is vrij algemeen. Onder invloed van dit huistype ontwikkelden het huis met zijkamer, zijbeuk of het brede huis zich verder naar dit voorbeeld. Er werd bij dit type huis vaak rekening gehouden met de mogelijkheid om het later in twee gelijkwaardige delen te splitsen. Na 1700 werd dit type zeer populair in de steden en verdrong het andere grotere huistypen.



---

**Het huis met dwars voorstuk:** de ontwikkeling hiervan begint bij het laat-gotische huis. Het speelt zich af in het voorste deel van het huis en betreft het voorhuis met zijkamers of zijhuis (tekening 5). Het werd in de hand gewerkt door twee factoren. 1. de grote verbreiding van de zijkamers. 2. het grote aanzien dat het dwarsgeplaatste huis verkreeg. Het ontwikkelt zich meestal door een verbouwing tot een monumentaal geheel. De aparte onderdelen verschillen daarom vrij veel in ouderdom. Bij stadshuizen is dit type vrij zeldzaam. Het zou de grootste betekenis krijgen bij boerderijen in de loop van de 18de en 19de eeuw.



(tekening 5)

## **Het woonhuis in de periode van 1650 tot 1800**

### **De verandering van de typen:**

Dit tekent zich duidelijker af bij de grote huizen dan bij de kleine. De gecompliceerde huizen (huizen met insteek) raakten in onbruik. Bij de grote huizen blijven alleen die typen over die bij de allerbelangrijkste woonhuizen werden gebruikt (huis met vrijstaand achterhuis). Het huis met achterkamer en het lange zaalhuis werden niet meer gebouwd.

In de breedte maken het brede huis, het huis met zijkamer/zijbeuk plaats voor het huis met zijhuis. Niet alleen in de hoofdvorm maar ook in de indeling worden elementen algemeen die voorheen alleen bij de meer representatieve huizen werden toegepast. In de 18de eeuw wordt in de steden weinig meer nieuw gebouwd. Het kwam veel voor dat er verbouwd werd waarbij meestal de gevel werd vernieuwd en de indeling veranderd. Wanneer een huis een onderhuis bezat met daarin de dienstvertrekken betreft dit een geheel nieuw huis uit die tijd.

### **De verandering van de indeling:**

Meestal kleine ingrepen zoals het verkleinen van het voorhuis t.b.v. de zijkamer, het vermijden van kleine hokkerige ruimten en het verbinden van de zijkamer met de achterkamer. Het meest opvallende is de groeiende betekenis van de gang en het trappenhuis. Een grote verandering is de entree die zich verplaatst van het voorhuis naar de gang. Hierdoor werd in de 18de eeuw het huis ook meer in de

---

diepte ontwikkelt (diepe doorkijk). De doorgaande gang komt pas na 1700 voor en is bij enkele huizen afgeleid van de dubbele huizen. In de 17de eeuw ontwikkelde de zijkamer zich onder invloed van het ontstaan van de gang en de suite tot een tweede woonkamer met een stookplaats. Pas later in deze eeuw werd een verbinding gemaakt van de voorzijkamer naar de achterzijkamer. In de 18de eeuw werd de trap een architectonisch element. Bij de meeste huizen werd destijds de trap naar achteren geschoven. In deze periode werd ook steeds meer gebruik gemaakt van de onderruimte als dienst-ruimte. Deze ruimte werd in de loop van de tijd steeds hoger.

### **De verandering van het interieur:**

Het grootste verschil ligt in de afwerking van het interieur. Het huis werd steeds lichter doordat de behoefte aan vertrekken grenzend aan de buitenlucht toenam. Een andere belangrijke verandering is het aan het zicht onttrekken van de inwendige constructie. Het werd in het begin beschilderd maar gaandeweg meer bekleed. Later werd mede door de invloed van de Franse overheersing veelal gestucadoord. Eerst de gang (als meest representatieve element binnen) en vervolgens de kamers. Dit veranderde de sfeer en het comfort aanzienlijk aangezien het stucwerk veel lichter en brandwerender is. Bij belangrijke vertrekken werden lambriseringen aangebracht met daarboven een verdeling in panelen al of niet gecombineerd met wandbespanningen of geschilderde taferelen. De stookplaats bleef een voornaam onderdeel. De schouw sprong minder ver naar voren en meestal stond de boezem op een marmeren mantel die aan de binnenzijde was voorzien van een ijzeren plaat. De bedsteden verdwenen uit de belangrijkste vertrekken.

### **De veranderingen in de gevelwand:**

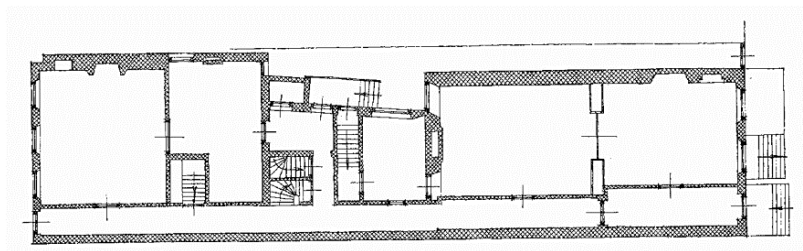
De vorm van het venster was een belangrijke verandering. Alle vensters waren kruiskozijnen of varianten daarop in de periode voor het einde van de 17de eeuw. Het venster werd in de loop van de tijd steeds hoger en glas-in-lood werd vervangen door kleine ruitjes in houten roeden. Eind 17de eeuw werd voor het eerst een schuifraam toegepast. Vele kruiskozijnen werden toen vervangen door schuiframen. In de 18de eeuw kwam het schuifvenster met vast kalf door het gehele land voor.

De houten gevel verdween uit het stadsbeeld omdat deze op grote schaal werd vervangen door de stenen onderpui. De onderkant van de gevel werd hierdoor rustiger gehouden en daarbij werd vaak een deel van de stoep omsloten door hekwerk. Hierdoor werd het straatbeeld geslotener wat samenhang met de verplaatsing van de meeste activiteiten naar binnen toe. De belangrijkste verandering tussen 1650 en 1800 was de overwinning van de kroonlijst. Het nieuwe ideaal was de lijstgevel. Dit transformatieproces duurde tot eind 19de eeuw.

---

## Woonhuisvormen uit de 17de en 18de eeuw

**Huizen met achterhuis:** het huis met achterhuis dat in het begin van de 17de eeuw nog beperkt bleef tot de meer voorname huizen kwam steeds meer voor. Doordat het zoveel werd toegepast ontstond er een grote variatie waarbij de grote zaal van het achterhuis het hoofdelement ging vormen. De trap is belangrijker dan voorheen en ligt meestal in het achterhuis of tussen het voorhuis en het achterhuis. Bij een klein achterhuis beperkte de functie zich veelal tot een keuken alleen. Deze ontwikkelingen hebben veel invloed op het voorhuis waar de gang en de beide kamers-en-suite overblijven. De gang vormt meestal het verbindend element met tevens een grote uitstraling.



(tekening 6)

**Het dubbele huis:** een huis van dubbele breedte, dat echter als een gebouw spreekt en niet meer uit twee duidelijk te onderscheiden delen is samengesteld, wordt het dubbele huis genoemd. Deze samengroeiing begint bij het dak met de toepassing van een schilddak. De keuken en de dienstvertrekken namen geleidelijk het hele onderhuis in gebruik.. De entree werd in het midden geplaatst zodat een gang ontstond die ervoor zorgde dat er inwendig meestal symmetrisch werd geordend. Het dubbele huis met middengang is zeer wijdverbreid.

**Huizen met bovenwoning:** de toevoeging van een bovenwoning komt alleen in de grote steden voor. Achter- en kelderwoningen zijn veel algemener. In de 17de eeuw waren de bovenwoningen vaak woonkamers van een omvang zoals ook bij achterkamers voorkomt. Kelderwoningen waren in vergelijking omvangrijker. In de 18de eeuw wordt de bovenwoning vaker bij verschillende typen toegepast en gaat deze meer op een etage lijken.

**Tuinhuizen:** deze huizen ontstonden doordat de mensen de gewoonte hadden om tijdens de zomer en overdag niet in het huis te vertoeven. Het was meestal een klein gebouwtje aan het eind van het erf. In de 18de eeuw worden de tuin en de tuinhuizen aanmerkelijk belangrijker en ontstaan patronen als de middenzaal en achtkantige koepel. Deze huizen zijn dan meestal buiten de stad en worden door meer welgestelden bezocht.