
SAMENVATTING

Na de Tweede Wereldoorlog was er in Nederland een groot tekort aan woningen. Dit tekort werd mede opgevangen door woningen te bouwen volgens alternatieve (niet-traditionele) bouwmethoden. Deze alternatieve methoden hadden met elkaar gemeen dat minder schaarse materialen (zoals bakstenen) en minder geschoolde arbeiders nodig waren. Het Nemavo-Airey bouwsysteem was één van deze methoden. Voor de bouw van Nemavo-Airey woningen werden veel betonnen elementen gebruikt. Veel arbeid kon worden uitgevoerd door ongeschoolde arbeiders. De buitenwanden van Nemavo-Airey woningen bestaan uit gewapend betonnen stijlen, waartegen aan de buitenzijde gewapend betonnen panelen bevestigd zijn. Aan de binnenzijde van de stijlen bevinden zich houtwolcementplaten en een klamplaag van drijfsteen. De vloeren bestaan uit stalen tralieliggers, met daar bovenop houten vloerdelen. Het dak bestaat vaak uit (traditionele) houten sporen met daarop een dakbedekking (baanvormige dakbedekking dan wel dakpannen).

Eengezinswoningen die gebouwd zijn volgens het Nemavo-Airey systeem voldoen niet aan de eisen van deze tijd: de woningen zijn klein, en zowel de thermische isolatie als de geluidsisolatie is slecht. Het energiegebruik voor ruimteverwarming is hoog. Dit resulteert in een hoge energierekening voor de bewoners, een relatief groot beslag op de eindige gasvoorraden en een hoge uitstoot van broeikasgassen (CO₂). Sloop van de woningen leidt tot een grote hoeveelheid afval en kapitaalvernietiging. De impact op het leven van de bewoners is groot (hun 'thuis' wordt gesloopt). En dit terwijl wijken met Nemavo-Airey woningen zeker ook positieve eigenschappen hebben: ze zijn vaak ruim van opzet, met veel groen, veel voorzieningen en een locatie dichtbij het stadscentrum. In dit afstudeeronderzoek is daarom een renovatiemethode ontwikkeld om het comfort in Nemavo-Airey woningen weer op peil te brengen en het energiegebruik fors te reduceren. De doelstelling van dit project is als volgt omschreven:

Het ontwikkelen van een renovatiemethode voor rijtjeswoningen die gebouwd zijn volgens het Nemavo-Airey systeem, bij toepassing waarvan het jaarlijks energiegebruik in de woning significant afneemt, het wooncomfort wordt verbeterd en de woning in potentie geschikt wordt voor bewoning door huishoudens met uiteenlopende én veranderende woonbehoeften, waarbij tevens rekening gehouden wordt met de financiële haalbaarheid van de methode.

Ten aanzien van het energiegebruik is de nadruk gelegd op het verlagen van het energiegebruik voor ruimteverwarming. Er is gestreefd naar een energiegebruik voor ruimteverwarming van circa 30 kWh/m²a (30 kWh per vierkante meter gebruiksoppervlakte per jaar).

Een aantal Nemavo-Airey rijtjeswoningen in de buurt 'Jeruzalem' in Helmond zijn gebruikt als case study voor dit project. Het zijn sociale huurwoningen, eigendom van woningbouwvereniging Volksbelang. De woningen hebben drie slaapkamers en bestaan uit twee verdiepingen (er is geen zolder). De totale gebruiksoppervlakte is slechts 73,4 m².

De thermische isolatie van de case study woningen is (gemeten volgens de huidige maatstaven) slecht, variërend van R_c=0,2 m²K/W voor de houten vloer tot R_c=1,7 m²K/W voor het (voor die tijd dus goed geïsoleerde) dak. In de ongeïsoleerde aluminium kozijnen zit dubbele beglazing (U=3,3 W/m²K).

Onder de bewoners van de case study woningen is een enquête verspreid, waarin onder andere gevraagd werd naar het stook- en ventilatiegedrag van de bewoners, en naar het jaarlijkse gasverbruik. In drie woningen met een 'gemiddeld' gasverbruik zijn metingen verricht, waarbij het ver-

loop van luchttemperatuur, luchtvochtigheid en CO₂-gehalte in de woonkamer is geregistreerd. Op basis van alle verzamelde informatie zijn met MATLAB HAMBASE modellen gemaakt van de drie gemiddelde woningen. Het HAMBASE model van één van deze drie woningen heeft in het vervolg van dit project gediend als basis voor het model van het renovatieplan. Het energiegebruik voor ruimteverwarming in deze woning wordt ingeschat op 1030-1140 m³ gas per jaar (137-152 kWh/m²a). Het energiegebruik voor tapwaterverwarming wordt ingeschat op ongeveer 430 m³ gas per jaar (57 kWh/m²a).

Om inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden om het wooncomfort te verbeteren is een literatuurstudie uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de volgende aspecten van wooncomfort van groot belang zijn: afmetingen van ruimtes en de indeling van de woning; thermische isolatie; geluidsisolatie; flexibiliteit en aanpasbaarheid; en daglicht en uitzicht. Ten aanzien van deze aspecten zijn dan ook eisen opgesteld waaraan het te ontwikkelen renovatieplan dient te voldoen. Het blijkt dat in de huidige situatie vooral de keuken (4,8 m²), de badkamer (1,8 m²) en de tweede en derde slaapkamer (9,1 m² en 5,4 m²) te klein zijn. Ook is er in de woningen geen aparte ruimte voor het wassen en drogen.

Uit de resultaten van de enquête blijkt dat het grootste deel van de bewoners (53%) alleen stookt op de begane grond. In 35% van de woningen wordt ook de badkamer op de verdieping verwarmd, terwijl in slechts 12% van de woningen ook de slaapkamers verwarmd worden. Daarnaast valt op dat de bewoners hun woning veel ventileren door middel van het openzetten van ramen, vooral op de verdieping: zelfs gedurende koude periodes staan de ramen op de verdieping gemiddeld meer dan 11 uur per dag open.

In energiezuinige woningen wordt over het algemeen een balansventilatiesysteem met warmterugwinning geïnstalleerd. Door zo'n systeem wordt warmte teruggewonnen uit de (warme) afvoerlucht, waardoor de (koude) toevoerlucht sterk opgewarmd wordt. Door het openzetten van ramen raakt zo'n systeem echter uit balans. Daarnaast zal het comfort voor de bewoners lager zijn. Blijkbaar stellen bewoners een koele, 'frisse' slaapkamer op prijs (anders zouden zij de ramen niet open doen). Zo'n koele, 'frisse' slaapkamer wordt eerder gerealiseerd wanneer de lucht op natuurlijke wijze toegevoerd wordt.

Om deze redenen is dan ook een nieuw ventilatieconcept ontwikkeld: een systeem met balansventilatie met warmterugwinning in de verwarmde zone (op de begane grond), en natuurlijke toevoer en mechanische afvoer in de onverwarmde zone (op de verdieping). Deze twee zones worden van elkaar gescheiden door middel van een luchtdicht aangesloten deur. De verdiepingsvloer wordt licht geïsoleerd. Uit een vergelijking van ventilatieconcepten blijkt dat het energiegebruik bij toepassing van dit nieuwe concept ongeveer vergelijkbaar is met het energiegebruik bij toepassing van een systeem met balansventilatie met warmterugwinning in de gehele woning.

Het ontwikkelde renovatieplan omvat een klein woningtype (met twee slaapkamers), met een uitbreiding op de begane grond, en een groot woningtype (met drie slaapkamers), met een uitbreiding op zowel begane grond als verdieping. Het is mogelijk om het kleine woningtype op een later moment te verbouwen tot het grote woningtype. Vooral keuken (10,1 m²) en badkamer (3,8 m²) zijn na renovatie een stuk ruimer. Ook is in de nieuwe situatie een was- en droogruimte toegevoegd. In het grote woningtype worden ook de tweede en derde slaapkamer sterk vergroot (tot 13,3 m² en 9,2 m²). De gebruiksoppervlakte van het kleine woningtype is 88,8 m² (+15,4 m²), die van het grote woningtype is 106,8 m² (+33,4 m²).

De uitbreiding wordt als volgt opgebouwd: de gewapend betonnen fundering en de begane grond vloer worden ter plaatse gestort. De constructie bestaat per verdieping uit twee stalen portalen, gecombineerd met geprefabriceerde houtskeletbouw wandelementen. De (prefab) verdiepingsvloer (in het geval van het kleine woningtype is dit het dak) is gemaakt van gewapend beton. Het dak is opgebouwd uit prefab sandwichelementen met houten sporen.

In zowel het bestaande gedeelte als in de uitbreiding worden houten kozijnen met een koudebrugonderbreking ($U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) en HR⁺⁺ beglazing ($U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) geplaatst. Op de verdiepingsvloer wordt 30 mm isolatie geplaatst. De gevels (van zowel de bestaande woning als de uitbreiding) worden geïsoleerd door middel van een buitengevelisolatiesysteem met steenstripafwerking. Ook vloeren en daken worden goed geïsoleerd. De warmteweerstand van de buitenschil varieert na renovatie van 4,5 m²K/W (dak uitbreiding) tot 6,9 m²K/W (wand uitbreiding), afgezien van enkele moeilijk te isoleren delen van de bestaande begane grond vloer en kelder.

Door de renovatie wordt het energiegebruik voor ruimteverwarming sterk gereduceerd. Volgens de gemaakte HAMBASE simulaties bedraagt het energiegebruik voor ruimteverwarming in het kleine woningtype 120-220 m³ gas per jaar (13-24 kWh/m²a), en in het grote woningtype 150-260 m³ gas per jaar (14-24 kWh/m²a). De genoemde energiegebruiken per vierkante meter gebruiksoppervlakte zijn echter gebaseerd op de gehele gebruiksoppervlakte van de woning, óók de onverwarmde oppervlakte. Wanneer alleen naar de verwarmde oppervlakte gekeken wordt, worden de getallen een stuk hoger: 24-44 kWh/m²a voor het kleine woningtype en 31-52 kWh/m²a voor het grote woningtype. Vooral het ventilatie- en infiltratievoud is in de HAMBASE modellen een onzekere factor. Dit leidt tot een zeer grote 'bandbreedte' voor het energiegebruik voor ruimteverwarming.

Door een combinatie van maatregelen (waaronder de installatie van een douchepijp-wtw) wordt een grote besparing op het energiegebruik voor tapwaterverwarming gerealiseerd. Dit wordt gereduceerd tot een geschatte 130 m³ gas per jaar: een besparing van circa 70%. Het elektriciteitsgebruik zal door de renovatie iets toenemen, aangezien een nieuwe ventilatie-installatie aangelegd wordt, terwijl in de bestaande situatie geheel op natuurlijke wijze geventileerd werd.

De huurprijzen van de woningen zullen na renovatie stijgen, van circa €340 per maand in de huidige situatie, tot respectievelijk circa €460 en €510 voor het kleine en grote woningtype. De bewoners zullen echter ongeveer €60 per maand minder kwijt zijn voor gas, water en licht.

Door woningbouwvereniging Volksbelang is de financiële haalbaarheid van het renovatieplan onderzocht. Het blijkt dat een langere levensduurverlenging dan de 'standaard' 25 jaar noodzakelijk is. Het grote woningtype kan een haalbaar alternatief vormen voor het ongewijzigd doorexploiteren van de bestaande woningen. Het is dan wel noodzakelijk dat de levensduurverlenging zo'n 50 jaar bedraagt, en dat een betere afweging gemaakt wordt tussen kosten en baten van de genomen maatregelen (er moet dus bezuinigd worden). Het kleine woningtype is echter financieel niet haalbaar, ook niet bij een levensduurverlenging van 50 jaar.

SUMMARY

After the Second World War there was an enormous shortage of housing in the Netherlands. There was also a shortage of traditionally used building materials (e.g. bricks) and skilled labour. Therefore, the large demand for new housing was partly solved by using alternative building methods, requiring better available building materials and less skilled labour. The Nemavo-Airey building system was one of these methods. The walls of Nemavo-Airey dwellings consist of small, prefabricated reinforced concrete columns. On the outside of these columns, reinforced concrete panels are placed. On the inside there are woodwool cement slabs and a shiner course of pumice concrete blocks. Floors are made of steel lattice girders, covered with wooden boards. The roof is often (more traditionally) made of wooden beams, covered with wooden boards and roll roofing or roofing tiles.

Today, Nemavo-Airey single-family dwellings are considered outdated: they are small, and thermal insulation as well as acoustic insulation is limited. The energy consumption for space heating is high. This results in a high fuel bill for the occupants, a relatively large use of the finite natural gas reserves, and a large emission of greenhouse gasses (CO₂). Demolition of these houses leads to a large waste of materials and capital. Of course it also has a large impact on the life of the inhabitants: their 'home' is demolished. However, Nemavo-Airey housing developments also show some significant advantages today: they are often spacious, with lots of greenery and facilities, and a location close to the city centre. Therefore a renovation method for Nemavo-Airey single-family dwellings is developed in this graduation project, with the improvement of comfort for the occupants and the reduction of the energy consumption as main objectives. The goal of this project is formulated as follows:

The development of a renovation method for Nemavo-Airey terraced houses, in such a way that the yearly energy consumption is significantly reduced, comfort for the occupants is improved and the houses become potentially suitable for occupants with varying and changing needs, while also taking into account the financial feasibility of this method.

With regard to the energy consumption, most attention has been paid to the reduction of the energy consumption for space heating. The targeted energy consumption for space heating is approximately 30 kWh/m²a (30 kWh per square metre of usable floor area, per year).

A number of Nemavo-Airey terraced houses in the city of Helmond, in a neighbourhood called 'Jeruzalem' have been used as a case study for this project. These houses are owned by housing association 'Volksbelang'. The usable floor area is only 73,4 m², divided among a ground floor and a first floor (with three bedrooms).

The thermal insulation of the case study houses is -according to modern standards- very limited, varying from $R_C=0,2$ m²K/W for the wooden floor, to $R_C=1,7$ m²K/W for the roof (which is relatively well insulated). The window frames are made of aluminium (without thermal barrier), in which double glazing is placed ($U=3,3$ W/m²K).

In order to gain insight into the average natural gas consumption and the way the houses are used by the occupants, a survey has been carried out. In three dwellings with an 'average' natural gas consumption, measurements have been made of air temperature, relative humidity and CO₂-concentration. Based on all available information, models have been made of the three average dwellings, using MATLAB HAMBASE. The HAMBASE model of one of the dwellings has been

used at a later stage in the project, as a basis for the HAMBASE models of the renovation plan. The energy consumption for space heating in this dwelling has been estimated at 1030-1140 m³ of natural gas per year (137-152 kWh/m²a). The energy consumption for tap water heating has been estimated at approximately 430 m³ of natural gas per year (57 kWh/m²a).

A literature study has been carried out in order to gain insight into the possibilities for the improvement of comfort for the occupants. It appears that the following aspects of comfort are very important: size of rooms and layout of the dwelling; thermal insulation; acoustic insulation; flexibility and adaptability; and daylight. A schedule of requirements has been formulated for the renovation plan. It appears that in the current situation, especially kitchen (4,8 m²), bathroom (1,8 m²) and the second and third bedroom (9,1 m² and 5,4 m²) are too small. Also, there is no separate room for washing and drying clothes.

The results of the survey show that most occupants (53%) only use the space heating system on the ground floor. In 35% of the dwellings also the bathroom is heated, and in only 12% of the dwellings the bedrooms are heated. The occupants often ventilate their homes by opening the windows, especially on the first floor: even during cold periods, the windows on the first floor are opened for more than 11 hours per day on average.

In energy efficient dwellings a balanced ventilation system with heat recovery is very common. However, such a system can get out of balance when windows are opened. Also, a system with balanced ventilation will offer less comfort than a system with natural supply of fresh air. It appears that the occupants prefer cool, 'fresh' air in their bedrooms (otherwise they wouldn't open the windows this frequently). A system with natural supply of fresh air fits this description better than a balanced ventilation system with heat recovery.

For this project, a new ventilation concept has been developed: a system with balanced ventilation with heat recovery in the heated area (on the ground floor) and natural supply of fresh air in the area that is not heated (on the first floor). These two zones are separated by an air tightly connected door. On the upper floor, 30 mm of thermal insulation are added. Based on a comparison of ventilation concepts, it can be concluded that the developed ventilation concept results in about the same energy consumption for space heating as the commonly used system with balanced ventilation in the entire dwelling.

The developed renovation plan includes a small type of dwelling (with two bedrooms), with an addition on the ground floor, and a large type of dwelling (with three bedrooms), with an addition on ground floor as well as first floor. It is possible to change the small type of dwelling into the large type of dwelling at a later time. Especially the kitchen (10,1 m²) and bathroom (3,8 m²) are more spacious after renovation. Also, a separate room for washing and drying clothes is added. In the large type of dwelling, also the second and third bedroom are significantly enlarged (13,3 m² and 9,2 m²). The usable floor area of the small type of dwelling is 88,8 m² (+15,4 m²). The usable floor area of the large type of dwelling is 106,8 m² (+33,4 m²).

The addition is constructed as follows: the reinforced concrete foundation and ground floor are poured on-site. Two steel portal frames, combined with prefabricated timber-frame walls are placed on each floor. The (prefabricated) upper floor (in the small type of dwelling, this is the roof) is made of reinforced concrete. The roof is made of prefabricated sandwich-elements with wooden rafters.

In the existing part of the dwelling as well as in the addition, wooden window frames with a thermal breakage ($U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) and Low-E double glazing ($U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) are placed. On the upper floor, 30 mm of thermal insulation are added. The outer walls (of the existing dwelling and the addition) are insulated using an external wall insulation system with brick facing strips. Also floors and roofs are well insulated. After renovation, the thermal resistance of the building shell varies from $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (roof of the addition) to $6,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ (walls of the addition), apart from a few parts of the existing ground floor and basement that are difficult to insulate.

The energy consumption for space heating is significantly reduced. According to the HAMBASE simulations, the energy consumption for space heating in the small type of dwelling will be 120-220 m^3 of natural gas per year (13-24 $\text{kWh/m}^2\text{a}$). The energy consumption in the large type of dwelling will be 150-260 m^3 of natural gas per year (14-24 $\text{kWh/m}^2\text{a}$). However, the above mentioned energy consumption per square metre of usable floor area is based on the entire usable floor area of the dwelling, including the non-heated area. When only the heated area is taken into account, the numbers are much higher: 24-44 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ for the small type of dwelling, and 31-52 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ for the large type of dwelling. Especially the ventilation- and infiltration rate is a very uncertain factor in the HAMBASE models. As a result, the bandwidth of the energy consumption for space heating is large.

As a result of a combination of measures (including the installation of a drain-water heat recovery device in the shower), a large reduction of the energy consumption for tap water heating is realised. It is decreased to an estimated 130 m^3 of natural gas per year: a 70% reduction. The use of electricity will increase slightly after renovation, since a new ventilation system is installed.

After renovation, the rents will have to be raised, from approximately €340 a month in the current situation, to about €460 for the small type of dwelling and €510 for the large type of dwelling. However, monthly costs for energy will be reduced with approximately €60.

The financial feasibility of the renovation plan has been examined by housing association Volksbelang. It appears that a longer life span extension than the usual 25 years is necessary. The large type of dwelling can be a feasible alternative to (unaltered) continuation of the existing dwellings. However, a life span extension of about 50 years is necessary. Also, costs and benefits of the measures taken have to be evaluated (cutbacks are necessary). The small type of dwelling is not a financially feasible option, not even with a life span extension of 50 years.