

TEGB113012

BESTE Renovatieconcept

Eindrapportage

29 juli 2016

Subsidieverstrekker:

Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken
NL Energie en Klimaat
Croeselaan 15
3521 BJ Utrecht

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI) Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Referentienummer subsidie: TEGB113012

Consortium

Penvoerder
Landstra bureau voor bouwfysica Midden BV
Van Pallandtstraat 9 -11, Arnhem
www.Landstra.nl

Partner
Janssen de Jong Bouw Hengelo BV
Alfred Marshallstraat 1, Hengelo
www.janssendejongbouw.nl

Partner
Janssen de Jong Bouw Zuid BV
Jan van Riebeeckweg 17, Venlo
www.janssendejongbouw.nl

N.B. In de loop van het project zijn de werkzaamheden van Janssen de Jong Bouw Zuid BV overgenomen door Janssen de Jong Bouw Hengelo BV

Partner
Nedcam BV
Impact 60-B, Duiven
www.nedcam.com

Partner
Technische Universiteit Delft Faculteit Bouwkunde
Julianalaan 134, Delft
www.tudelf.nl

Projectperiode

1 januari 2014 – 31 april 2016

Samenvatting

Doel van het BESTE Renovatieconcept is de ontwikkeling van een low-cost en snel energetisch renovatieconcept voor seriematig gebouwde eengezinswoningen. Hierbij is gebruikt gemaakt van lichte prefab bouwdelen op basis van sandwichtechnologie met een kernmateriaal van EPS. De geveldelen bevatten verticale, in het EPS uitgesneden, luchtkanalen voor zowel toevoer van verse buitenlucht naar alle vertrekken als afvoer van de verontreinigde binnenlucht. Vanwege de zeer goede schilisolatie is het mogelijk om met de ventilatielucht de woning tevens te verwarmen. De installatie is in basis traditioneel, dat wil zeggen balansventilatie met een WTW-unit en warmteopwekking van CV-water. De distributie en verwarming van de ventilatielucht vindt echter plaats in een innovatief bouwelement ('kniestuk') ter plaats van de aansluiting tussen gevel en dak, dat ook uit gesneden EPS-delen bestaat met een steviger buitenhuid. Middels warmtewisselaars in ieder luchttoevoerkanaal is de verwarming in elk vertrek afzonderlijk regelbaar.

Binnenmilieu

Distributie van lucht via kanalen in EPS isolatie kan het risico met zich meebrengen van verontreiniging van de binnenlucht. Uit een literatuurstudie blijkt echter dat de risico's niet veel verschillen met die van een standaard ventilatiesysteem. Metingen hebben aangetoond dat kanalen in EPS geen substantiële concentraties vluchtige organische stoffen of aldehydes afgeven aan de lucht. Op basis van reuktests wordt geconcludeerd dat de kanalen beter uit het EPS kunnen worden gesneden met een gloeidraad dan gefreesd.

De luchtstroming in de woning is middels CFD bestudeerd. Deze laten zien dat een hoog thermisch comfort wordt gehaald. De ventilatie-effectiviteit is in het algemeen goed. Alleen bij een (te) laag ventilatiedebiet is de luchtkwaliteit dicht bij de vloer mogelijk ontoereikend. Dit kan worden opgelost door een minimum ventilatiedebiet in te stellen.

Energetisch

De verwarmingsbehoefte van een gerenoveerde tussenwoning bedraagt ongeveer 25 kWh/m² per jaar. Om een hoekwoning op 25 kWh/m² verwarmingsvraag per jaar te krijgen, zijn additionele maatregelen nodig als een verdere verhoging van de R_e-waarde van de kopgevel of de van begane-grondvloer.

Economisch

Uitgaande van een tussenwoning met een beukmaat van 5,4 m, dan bedragen de totale renovatiekosten thans circa € 54.000,= excl. BTW voor een EPC=0 woning, of circa € 60.000,= excl. BTW voor een NOM-woning. Voor de renovatiekosten van een hoekwoning is additioneel € 6000,= excl. BTW vereist.

Bouwelementen

De binnenhuid van de sandwichconstructie is direct ook de afwerking. Voor een generieke oplossing blijkt daarvoor 12 mm multiplex een goede optie. Als buitenhuid wordt een waterbestendige vezelcementplaat toegepast. Bij het prototype is deze verder afgewerkt met steenstrips. De verlijming van het EPS met de huiden vindt plaats met PU-bruislijm. In de gevelelementen zijn nog wel houten regels benodigd voor de constructieve veiligheid. Bewerkingsmogelijkheden van het EPS zijn een combinatie van hete-draad-snijden en frezen. Voor zover de kanalen door een geheel element heen lopen is snijden

mogelijk. Voor het kniestuk is ervoor gekozen deze op te delen in te snijden eenheden. De basisnauwkeurigheid van het snijden bedraagt 1 mm over 5 m snijlengte. Bij de kniestukken behoeft de luchtdichting van de kanalen onderling bijzondere aandacht.

Renovatieproces

Bewoners en omwonenden hebben op verschillende momenten te maken met overlast. Door zoveel mogelijk in grote delen te slopen is het aantal handelingen, stof en lawaai op de locatie in deze fase tot een minimum te beperken. Van belang is om met bewoners, omwonenden, hulpdiensten en de gemeente duidelijke afspraken te maken en tijdig te informeren, zowel mondeling als op papier. Vooral de beleving van de overlast is daarmee tot een minimum te beperken.

Deze toenadering van de gebruiker en ontzorging is een precair onderdeel en vergt een goede voorbereiding. Met bewoners moet exact worden nagaan wat nodig is qua uitvoering en planning, keuzes en opties te benoemen en betrokkenen éénduidig te informeren over wat er geleverd moet worden. Het rendement van zo'n aanpak volgt dan vooral uit 100% deelname van de bewoners, hogere bouwkwaliteit, bewonerstevredenheid en tijdsbesparing.

Gebouwopname

Met een 3D-scanner kan een woning zeer gedetailleerd in kaart worden gebracht. Uit het onderzoek blijkt echter dat met traditioneel inmeten in combinatie met total station opnames de relevante inmeetpunten met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden bepaald. Vanwege de vooralsnog lagere kosten van deze methode, is daaraan tijdens het project de voorkeur gegeven.

Prototyping

Om de praktische uitvoerbaarheid van het concept te beproeven is gebruik gemaakt van het renovatieproject van Janssen de Jong in Warnsveld. In dat project zijn drie woningen gerenoveerd op een wijze die overeenkomt met de principes en opzet van het "BESTE Renovatieconcept". Vastgesteld is dat een correcte uitvoering van de renovatie in maximaal 3 dagen zeer goed uitvoerbaar bleek.

1 Inleiding

In het kader van de subsidieregeling Energie en Innovatie, EnerGO, is door AgentschapNL subsidie verleend voor het project “BESTE Renovatieconcept”, subsidienummer TEGB113012.

Het project is uitgevoerd als een samenwerkingsverband tussen Janssen de Jong Bouw Hengelo BV, Janssen de Jong Zuid BV, Technische Universiteit Delft, NedCam BV en Landstra Bureau voor bouwphysica Midden B.V. als penvoerder in de periode 1 januari 2013 tot 1 mei 2016.

Doel van het project was de ontwikkeling van een low-cost en snel renovatieconcept voor seriematig gebouwde eengezinswoningen naar een zeer energiezuinig niveau bij een uitstekend binnenmilieu. Door integratie van bouwkundige en installatietechnische componenten in de bouwschil in combinatie met prefabricage van bouwdelen kan dit worden bereikt. Het concept komt er in essentie op neer dat een woning wordt geklimatiseerd met lucht, de distributie van - en koude-/warmteafgifte naar - de lucht plaatsvindt in de gebouwschil, en gebruik wordt gemaakt van een centrale ventilatie-installatie en koude/warmteopwekker. Het concept voorziet in een versnelling van de bouwtijd, verlaging van de faalkosten en verbetering van de kwaliteit ten opzichte van de huidige situatie.

In dit eindrapport wordt in de hoofdstukken 2 t/m 5 een verslag gegeven van de werkzaamheden en van de resultaten in de werkpakketten 2 t/m 5. Voor de duidelijkheid wordt hierbij de indeling in werkpakketten als gedefinieerd in de projectaanvraag grotendeels gevolgd. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de uitvoering van het project.

2 Technische en functionele specificaties, productontwikkeling

2.1 Prestatiekenmerken en beoordelingsmethodiek

Vanwege overlap worden de werkzaamheden van werkpakket 3.1 tevens in deze paragraaf behandeld.

2.1.1 Bouwkundig en installatie technisch

Voor een energiezuinige woning is een hoge isolatiewaarde van de dichte bouwdeelen een vereiste. Een afweging tussen bouwkosten en energiebesparing dient daarbij te worden gemaakt. Voor het gevel- en dakelement bleek een dikte van het isolatieschuim van 230 mm de meeste kosteneffectieve variant. Deze opbouw is qua samenstelling en sterkte het optimum in combinatie met de kostprijs. Met deze materiaaldikte en de warmtegeleidingseigenschappen van het EPS wordt voor de gevelelementen een R_c -waarde verkregen van gemiddeld $6 \text{ m}^2\text{K/W}$, en voor de dakelementen een R_c -waarde van $7 \text{ m}^2\text{K/W}$. De gemiddelde warmteweerstand van de gevelelementen is wat lager dan die van het dak omdat er plaatselijk luchtkanalen in het EPS aanwezig zijn. Er is overigens voor EPS als kernmateriaal gekozen vanwege de lage materiaalkosten en de goede mogelijkheden van recycling. Nadere bouwkundige en constructieve informatie is gegeven in § 2.2.

Met deze R_c -waarden voor de dichte delen, HR++ beglazing, geïsoleerde kozijnen, na-isolatie van de begane grondvloer en een goede luchtdichting, wordt een zeer energiezuinige woning verkregen. Voor een karakteristieke tussenwoning is de energiebehoefte voor ruimteverwarming en koeling circa 25 kWh/m^2 per jaar volgens NEN 7120. Met voldoende PV-panelen op het dak, is een energieneutrale of NOM-woning goed realiseerbaar. Hoewel niet gerapporteerd, hier de opmerking dat tevens wordt voldaan aan de toekomstige BENG-eisen.

De energetische prestatie is tevens getoetst met behulp van de PHPP-methodiek. Onder genoemde voorwaarden komt de verwarmingsbehoefte voor een tussenwoning uit op ongeveer 25 kWh/m^2 per jaar. Aangezien dit exclusief de koelvraag betreft, geeft de PHPP-methodiek een wat hogere warmtevraag dan de EPC-methodiek. Om een *hoekwoning* op 25 kWh/m^2 verwarmingsvraag per jaar te krijgen, zijn extra maatregelen nodig als verhoging van de isolatiewaarde van de eindgevel naar $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ en van de begane grondvloer naar $5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Het BESTE renovatieconcept voorziet in verwarming van de ventilatielucht die middels geprefabriceerde luchtkanalen in de gevelelementen in de verblijfsruimten wordt gebracht. Er wordt alleen geventileerd met verse buitenlucht, recirculatie wordt in principe niet toegepast. Uit dynamische simulatieberekeningen met het programma DesignBuilder blijkt dat een verwarmingsvermogen op vertrek niveau van circa 2,7 kW nodig is om een kritische hoekwoning (lage interne warmteproductie en een onverwarmde belendende woning) adequaat te verwarmen. Een dergelijk vermogen wordt bijvoorbeeld verkregen bij een luchtdebiet van $450 \text{ m}^3/\text{h}$ en luchttoevoertemperatuur van $38 \text{ }^\circ\text{C}$, of een luchtdebiet van $400 \text{ m}^3/\text{h}$ en een luchttoevoertemperatuur van $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Met andere woorden, het luchtdebiet dat met een

gangbare WTW-unit in de woningbouw (e.g. Brink Renovent 400 of Stork WHR 950) maximaal kan worden behaald, is voldoende om de woning *met 100% verse buitenlucht* te verwarmen.

Uit het oogpunt van energiegebruik is het niet wenselijk dat er continu een luchtdebiet van verse buitenlucht van 400 à 450 m³/h wordt gerealiseerd. Een dergelijk debiet is alleen bij extreem koude buitencondities nodig voor verwarming. Het luchtdebiet zal bij een lagere of afwezige verwarmingsvraag kleiner kunnen zijn. Zonder al te nadelige consequenties voor de binnenluchtkwaliteit kan als vuistregel een minimum debiet worden gehanteerd van 1 m³/h per m² gebruiksoppervlakte. Het luchtdebiet varieert voor een karakteristieke rijwoning derhalve ongeveer tussen 1 en 4 m³/h per m² gebruiksoppervlakte. Bewoners kunnen het ventilatiedebiet zelf handmatig instellen, zowel het minimum, het maximum als een tijdelijke verhoging gedurende bijvoorbeeld koken. De regeling van de installatie verhoogt het luchtdebiet automatisch afhankelijk van de momentane warmtevraag.

Het concept voorziet in een verwarmingsregeling per vertrek. Elk vertrek wordt daartoe voorzien van zijn eigen thermostaat. In elk luchttoevoerkanaal naar een vertrek is een water-lucht warmtewisselaar (verwarmingsbatterij) in het kniestuk aanwezig. Het verwarmingsvermogen naar een vertrek wordt bepaald door zowel het waterdebiet door de verwarmingsbatterij als het luchtdebiet door de WTW-unit. Een regeling moet derhalve deze beide grootheden aansturen. Er doet zich daarbij de situatie voor dat het waterdebiet door de verwarmingsbatterij individueel per vertrek instelbaar is, maar het luchtdebiet voor alle vertrekken gezamenlijk. Uit onderzoek blijkt dat een PI-regeling per vertrek waarbij eerst op het waterdebiet wordt geregeld, en vervolgens op het luchtdebiet, resulteert in een voldoende stabiele ruimtetemperatuur en energiezuinige opwekking bij een aardgasketel. De PI-regelaar met de grootste gewenste waarde voor het luchtdebiet bepaalt daarbij het werkelijke luchtdebiet van de WTW-unit.

De warmteopwekker voor het cv-water vormt geen essentieel deel van het onderzoek. Het prototype is uitgerust met een cv-ketel op aardgas. Met een aanvoertemperatuur van constant 50 °C wordt ruimschoots voldaan aan de grenswaarde om condensatie, en dus een hoger opwekkendement, in het rookgaskanaal te bewerkstelligen. Het valt dus in de categorie laag-temperatuur verwarming. Het systeem is in principe ook geschikt om een warmtepomp als opwekker in te zetten. Een gemiddeld lagere cv-watertemperatuur is in dat geval gewenst. Die kan worden verkregen door gebruik te maken van een stooklijn. Als gevolg daarvan zal het jaargemiddelde luchtdebiet wat hoger komen te liggen.

De configuratie van de toe- en afvoer van de ventilatielucht dient te voldoen aan een minimale waarde van de verdunningsfactor volgens NEN 1087:2001. En indien er sprake is van een rookgasafvoer dient de configuratie van de ventilatieluchttoevoer en rookgasafvoer te voldoen aan een minimale waarde van de verdunningsfactor volgens NEN 2757-1:2011. Onderzocht is of zowel de luchttoevoer als de luchtafvoer en rookgasafvoer plaats kan vinden via een prefab schoorsteen. De Bouwbesluit-eisen blijken hierbij niet zwaar belemmerend te werken. De eisen van BREEAM-NL 2014 zijn echter aanzienlijk zwaarder. Combinatie van de luchttoevoer met de rookgasafvoer is hierbij uitgesloten, en combinatie van de luchttoe- en afvoer is alleen mogelijk voor enkelvoudige schoorstenen. In het algemeen zal voor een standaard rijtjeswoning een ventilatieluchttoevoervoorziening lager in het dakvlak voldoen aan de eisen van BREEAM-NL.

2.1.2 Energiekosten

Met het concept wordt beoogd na renovatie een zeer energiezuinige eengezinswoning te verkrijgen. De te verwachten energiekosten zijn op basis van de energieprestatienorm NEN 7120:2011 bepaald voor een karakteristieke rijwoning voor verschillende varianten van energieopwekking (PV-panelen en warmteopwekker) met en zonder salderingsregeling voor teruglevering van elektriciteit. Deze regeling is tot 2020 van kracht, maar onduidelijk is wat daarna gebeurt. De resultaten van dit onderzoek is weergegeven in onderstaande tabel.

woningvariant	HR-ketel	HR-ketel	Lucht-WP	Lucht-WP
Type woning	tussen	eind	tussen	eind
Orientatie dakvlakken	no/zw of nw/zo	no/zw of nw/zo	no/zw of nw/zo	no/zw of nw/zo
Totale energievraag (niet primair)				
Aardgasgebruik gebouwgebonden (kWh)	5038 kWh	5757 kWh	0 kWh	0 kWh
Elektragebruik gebouwgebonden (kWh _e)	1082 kWh	1062 kWh	3080 kWh	3256 kWh
Elektragebruik gebruiksgebonden (kWh _e)	2500 kWh	2500 kWh	2500 kWh	2500 kWh
Zonder PV-panelen				
Elektragebruik netto totaal (kWh _e)	3581 kWh	3562 kWh	5579 kWh	5756 kWh
Totale energiekosten	€ 1.278	€ 1.320	€ 1.031	€ 1.068
EPC = 0				
Opbrengst PV (kWh _e)	3050 kWh	3311 kWh	3080 kWh	3256 kWh
Elektragebruik netto totaal (kWh _e)	532 kWh	251 kWh	2500 kWh	2500 kWh
Totale energiekosten met salderingsregeling	€ 638	€ 625	€ 385	€ 385
Totale energiekosten zonder salderingsregeling	€ 1.065	€ 1.089	€ 816	€ 840
Eis NOM (inclusief zomercomfort)				
Opbrengst PV (kWh _e)	5550 kWh	5811 kWh	5580 kWh	5756 kWh
Elektragebruik netto totaal (kWh _e)	-1968 kWh	-2249 kWh	0 kWh	0 kWh
Totale energiekosten met salderingsregeling	€ 388	€ 415	-€ 140	-€ 140
Totale energiekosten zonder salderingsregeling	€ 890	€ 914	€ 641	€ 665

In de basis (zonder PV-panelen) bedragen de vaste+ variabele energiekosten circa € 100,- per maand. Bij toepassing van PV en met saldering kan dit worden gereduceerd naar € 0,-. Zonder saldering is dat echter niet haalbaar.

2.1.3 BREEAM-NL

Onderzocht is welke BREEAM score (uitgave 2014) haalbaar is ten aanzien van relevante aspecten van 'Health', 'Energy' en 'Materials'. Het blijkt dat de maximale score goed haalbaar zijn voor:

HEA 8 Interne luchtkwaliteit (2 punten)
HEA 10 Thermisch comfort (2 punten)
ENE 1 Energie-efficiëntie (15 punten).

Rapportages

Landstra	12059GLn02 PHPP oriënterend (2014-12-19)
Landstra	12059GLn03 EPC oriënterend (2014-12-19)
Landstra	12059GLn05 prestatie thermisch comfort winter (2015-03-13)
Landstra	12059GLn04 energiekosten (2014-11-14)
Landstra	12059GLm04 Verdunningsfactor (2014-11-05)
Landstra	12059GLm05 BREEAM-NL (2014-11-03)

2.1.4 Binnenmilieu

2.1.4.1 Binnenluchtkwaliteit

Distributie van lucht via kanalen in EPS isolatie kan het risico met zich meebrengen van verontreiniging van de binnenlucht als gevolg van de chemische en fysische eigenschappen van het EPS. Er is daarom een literatuurstudie gedaan en er zijn metingen verricht om de invloed op de binnenluchtkwaliteit te onderzoeken van:

- de emissie van verontreinigende stoffen
- microbiologische verontreinigingen (schimmels en bacteriën)
- de wandruwheid
- de luchtfiltering en filteronderhoudsfrequentie

Er is daartoe een proefopstelling gebouwd die gedurende circa 12 maanden continu in bedrijf is geweest. Deze opstelling bestond uit een vijftal ventilatiekanalen van elk een verschillende materiaal: staal, multiplex, pvc, gefreesd EPS en gesneden EPS. Hieraan zijn op verschillende tijdstippen metingen uitgevoerd naar chemische componenten in de ventilatielucht. Daarnaast zijn subjectieve reuktests uitgevoerd, waarbij proefpersonen "blind" de luchtkwaliteit, afkomstig uit de verschillende luchttoevoerkanalen, hebben beoordeeld door aan de lucht te ruiken.

Uit de literatuurstudie volgt dat de risico's van een gebalanceerd ventilatiesysteem bestaande uit geëxpandeerd polystyreen niet veel verschillen met de risico's van een gebruikelijk standaard balansventilatiesysteem. Er is geen literatuur gevonden waarbij EPS kanalen zijn toegepast en onderzocht. De conclusies en aandachtspunten voor het BESTE-project gelden dus evengoed voor andere varianten van balansventilatie. Luchttoevoerkanalen kunnen vervuild raken, afhankelijk van de buitenluchtomstandig-

heden, de kwaliteit en het onderhoud van de filters en de vorm en het oppervlak van de ventilatiekanalen. De vraag is of luchttoevoerkanalen schoongemaakt moeten worden. Aangezien uit onderzoek blijkt dat de efficiency van schoonmaken sterk blijkt te variëren, kan de effectiviteit (de invloed op de luchtkwaliteit) relatief beperkt zijn, maar ook negatief zijn (slechtere luchtkwaliteit na schoonmaken). De efficiency van het schoonmaken van kanalen is sterk afhankelijk van het materiaal en vorm van de kanalen en de methode van reinigen. Als wordt gekozen om toevoerkanalen wel schoon te maken, dan is het van groot belang de vormgeving van de ventilatiekanalen zodanig te kiezen dat het schoonmaken eenvoudig kan plaats vinden met een zo hoog mogelijke efficiency en laag mogelijk risico. Dit betekent dat rechte hoeken zoveel mogelijk vermeden dienen te worden en dat het materiaal van de kanalen zo glad mogelijk moet zijn.

Het grootste risico van een negatieve invloed van het ventilatiesysteem op de luchtkwaliteit is het niet tijdig vervangen van de filters. Filters kunnen een belangrijke vervuillingsbron worden en direct, of door vervuiling van de achterliggende kanalen, de luchtkwaliteit ongunstig beïnvloeden. Ook kunnen vervuilde filters door de te hoge weerstand tot onvoldoende luchtdebiet leiden. Goed onderhoud en het tijdig vervangen van filters lijkt het grootste probleem in de praktijk te zijn.

Uit de metingen in de proefopstelling is gebleken dat, met uitzondering van het multiplex kanaal, geen van de onderzochte ventilatiekanalen substantiële concentraties vluchtige organische stoffen of aldehydes afgeven aan de lucht die door de kanalen stroomt. Op basis van de reuktests met 61 proefpersonen in april 2015 en 39 proefpersonen in oktober 2015 blijkt het volgende. Tijdens de eerste test werd de reuk van alle ventilatiekanalen positief beoordeeld, behalve die van multiplex. Tijdens de tweede test, 6 maanden later, werd het gesneden EPS-kanaal hetzelfde beoordeeld, maar het gefreesde EPS-kanaal werd juist als "niet acceptabel" beoordeeld. Het multiplex kanaal werd nog ongunstiger beoordeeld dan tijdens de eerste test. De RVS- en PVC-kanalen werden bij de tweede test beter beoordeeld dan bij de eerste. Hoewel de microbiologische verontreiniging van de kanalen beneden de richtwaarden bleven, behalve van het multiplex kanaal, is de mate van verontreiniging waarschijnlijk wel van invloed op de subjectieve waardering van de luchtkwaliteit.

2.1.4.2 Thermisch comfort en ventilatie-effectiviteit

Gestart is met het opstellen van een programma van eisen voor het thermisch comfort. In de literatuur lopen de meningen over thermisch comfort echter uiteen. Er zijn dan ook veel verschillende beoordelingscriteria beschikbaar. Daarbij komt dat veel onderzoek is gedaan naar de werkplek maar vrijwel niet naar woningen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om zoveel mogelijk uit te gaan van ISSO publicatie 74 versie 2014. Deze methodiek is weliswaar niet geldig verklaard voor woningen, maar de gehanteerde randvoorwaarden voor een zogenaamd alfa-gebouw zullen naar verwachting niet veel afwijken van die voor de woonomgeving. Bij gebrek aan beter is daarom uitgegaan van deze eisen en de daarmee gepaard gaande klasse-indeling.

Met het programma Fluent zijn CFD simulaties verricht voor een karakteristieke woonkamer met luchttoevoer in de gevel nabij het plafond en luchtafvoer in de gevel nabij de vloer. Daarbij zijn 4 verschillende

varianten bestudeerd met een buitenluchttemperatuur van: -10, 0, 10 en 20 °C. Om een extreme situatie te verkrijgen is zoninval niet meegenomen en is de beganegrond vloer ongeïsoleerd verondersteld. Het luchttoevoerdebiet is afhankelijk van de warmtevraag en daarom verschillend in de 4 varianten. Bij de koudste buitenluchttemperatuur is het toevoerdebiet ongeveer 220 m³/h bij een toevoerluchttemperatuur van 30 °C (warmteafgifte circa 700 W in de woonkamer), en bij de warmste buitenluchttemperatuur is het luchtdebiet 55 m³/h.

De CFD-berekeningen laten zien dat voor de aspecten luchtsnelheid, vloertemperatuur, verticale temperatuurgradiënt en stralingsasymmetrie, in de verblijfszone bij alle varianten comfortklasse A wordt gehaald.

Later in het project bleek overigens dat de beganegrond vloer wel nageïsoleerd *moet* worden om de woning met het beschikbare verwarmingsvermogen voldoende warm te kunnen krijgen bij extreem koude condities. Aangezien de CFD-simulaties bij een ongeïsoleerde vloer al een zeer goed thermisch binnenklimaat aangeven, was er geen dringende reden om de situatie met een geïsoleerde vloer alsnog te berekenen.

De ventilatie-effectiviteit is bepaald door de zogenaamde 'local mean age of air' op elke positie in de ruimte te bepalen. Bij lagere ventilatiehoeveelheid is de luchtkwaliteit dichterbij de grond slechter dan boven in de ruimte en onder de minimum waarde die door het Bouwbesluit wordt aangegeven. Het verhogen van het ventilatievoud is dan een optie. Opgemerkt wordt dat in deze berekeningen de invloed van warme objecten zoals tv's en mensen en zoninval niet is meegenomen. Deze zullen de menging van de lucht in de praktijk gunstig beïnvloeden. Hier is verder geen onderzoek naar gepleegd.

Hoe de verdeling van de luchttoevoer over een laag en hoog rooster het beste kan plaatsvinden is niet nader onderzocht. Redenen hiervoor zijn dat een systeem waarbij de toevoerkanalen en afvoerkanalen omwisselen niet verstandig wordt geacht vanwege de kans op luchtverontreiniging, en dat een dubbel kanalensysteem praktisch en kostentechnisch niet haalbaar is.

Rapportages

Landstra	12059GLm01 Programma van eisen thermisch comfort (2015-06-29)
TU Delft	Verslag CFD berekeningen_slaapkamer16_december_2014
TU Delft	CFD Simulations BESTE Project, mei 2016

2.1.5 Economisch

Voor twee woningen met verschillende beukmaten en variërende plattegronden, zijn investeringsbegrotingen opgesteld volgens de 'STABU – STANDAARD 2012', bestek systematiek. Per hoofdstuk zijn kengetallen gevormd om snel controles te kunnen uitvoeren en in een vroeg stadium budgetramingen op te stellen. Er zijn bewakingscode 's per onderdeel aangemaakt om zo op leverancier, onderaannemer totalen te verkrijgen. Offertes van toeleveranciers en partners zijn gebaseerd op 500 woningen. Daarnaast zijn deelbegrotingen gemaakt voor kopgevels en sprongen in de bouwblokken en zijn energetische maatregelen als PV-panelen en warmtepomp afgeprijsd.

De begroting heeft betrekking op de renovatie van VANEG woningen en is gebaseerd op een woning met EPC= 0,0 na renovatie. Uitgaande van een tussenwoning met een beukmaat van 5,4 m, dan bedragen de totale renovatiekosten thans circa € 54.000,= excl. BTW. Wordt dezelfde woning uitgevoerd als een NOM-woning, dan loopt dit op tot circa € 60.000,= excl BTW. Voor de renovatiekosten van een hoekwoning is dat bijna € 6000,= excl BTW hoger.

Naast de investerings- en onderhoudskosten, worden de exploitatielasten tevens bepaald door de energiekosten. Deze worden omschreven in hoofdstuk 2.1.2.

Rapportages

Janssen de Jong TKI EnerGO deelprojecten 2.1 d

2.2 Onderzoek opbouw en materialisering bouwelementen

2.2.1 Sandwichtechnologie

Uit het oogpunt van kostenreductie en prefabricage is gekozen voor sandwichtechnologie. De sterkte van de constructie wordt gehaald uit de boven- en onderhuid met daartussen een afstandhouder. Dit kernmateriaal wordt alleen belast op druk en dient tevens warmte-isolerend te zijn. Mogelijke materialen zijn EPS, XPS, PU-schuim, etc. PU-schuim en XPS vervallen hierin vrijwel direct als gevolg van de substantieel hogere kostprijs. Daarom is voor EPS gekozen, in eerste instantie EPS150 met een vlaktedrukweerstand van 15 N/mm².

Belangrijke voordelen van EPS zijn

- Lage dichtheid
- Lage embodied energy
- Kostprijs
- 100% recyclebaar
- Isolerende werking
- Bewerkbaarheid

De buitenhuiden van de sandwichconstructie zijn idealiter direct ook de afwerking van het geheel. Binnen dit onderzoek is gekozen voor een redelijk traditionele oplossing met vaste beplating aan binnen- en buitenzijde die vervolgens op enigerlei wijze haar eindafwerking krijgt. In eerste instantie is bekeken welke betaalbare plaatmaterialen hiervoor geschikt zijn. Uit berekeningen blijkt dat voor een generieke oplossing multiplex een goede oplossing biedt. Bij 230 mm EPS150 als kernmateriaal en een E-modulus van 4000 MPa van het multiplex, zijn zowel een smalle (4,4 m) als een brede (6,4 m) woning uit te voeren met een 12 mm plaat. Aan de buitenzijde van de elementen dient een waterbestendige plaat toegepast te worden. Hiervoor worden vooralsnog vezelcementplaten worden gebruikt met voldoende stijfheid.

Voor de verlijming is gekozen voor PU-bruistolijm. Om de krachten over de plaatnaden heen te brengen wordt achter elke plaatnaad een koppelplaat opgenomen met een overlap van ca. 100 mm. De ruimte voor deze koppelplaten wordt eenvoudig weggesneden in het EPS kernmateriaal. Om de theoretisch bepaalde eigenschappen van de constructie te testen zijn buigproeven uitgevoerd. De doorbuiging zoals gemeten is in overeenstemming met de berekeningen. Op basis hiervan is de verlijmingsmethodiek goedgekeurd.

2.2.2 Bouwelementen

In de gevelelementen worden houten regels meegenomen waarin geschroefd kan worden. Bij het woningtype van 4,4 m breed is in het dakelement een klein raam voorzien, waarvoor geen speciale versteviging nodig is in het sandwichpaneel. Bij het woningtype van 6,4 m breed zijn in één element 2 grote dakramen voorzien, waardoor het element zelf niet meer voldoende bijdraagt aan de stijfheid van het dak. Boven en onder deze dakramen wordt daarom een balk voorzien om de dakpanelen eronder en erboven volledig mee te laten werken in de opvang van de buigspanningen.

2.2.3 Biobased EPS

Er zijn meerdere ontwikkelingen op het gebied van biobased “EPS”. De meeste varianten zijn nog niet op de markt. Wel op de markt is BioFoam®. Het ziet er qua structuur hetzelfde uit en heeft vrijwel dezelfde eigenschappen als EPS. BioFoam® is in vrijwel alle bouwtoepassingen duurzaam en langdurig te gebruiken maar is alleen verkrijgbaar vanaf een druksterkte van ca. 200 kPa. Struikelblok voor het gebruik van BioFoam voor deze toepassing is prijs die ca. 3 keer hoger is dan van EPS. Deze prijs zal in de toekomst dalen als er meer volume gebruikt wordt.

Rapportages

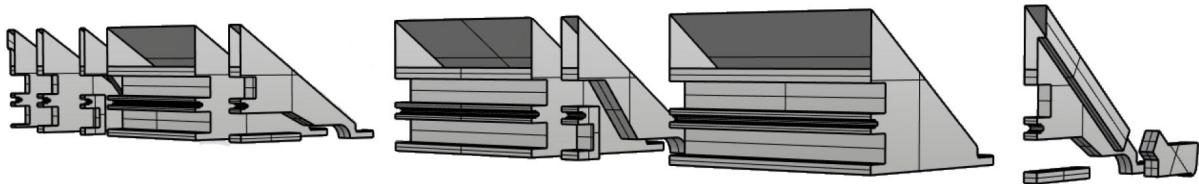
NedCam

160727 Rapportage TKI Energo BESTE

2.3 Prefabricage bouwdelen in geautomatiseerd proces

2.3.1 Productiemethode en vormvastheid

Bewerkingsmogelijkheden van het EPS zijn een combinatie van hete-draad-snijden en frezen. Qua kosten is snijden veel goedkoper. Met 5-assig frezen zijn 3D krommingen en uitsteeksels of holtes aan te brengen in het EPS. In het gehele concept komt dat alleen voor bij de luchtkanalen. Voor zover de kanalen door een geheel element heen lopen is snijden mogelijk. In het kniestuk ligt dit ingewikkelder. Voor het kniestuk is ervoor gekozen deze op te delen in te snijden eenheden. In onderstaande figuur is hiervan een voorbeeld gegeven.



Er moet in deze vormen voldoende repetitie zitten om de basiseenheden in aantallen te maken en deze met een mal samen te verlijmen. Deze optie is voor het prototype toegepast.

De basisnauwkeurigheid van het snijden bedraagt 1 mm over 5 m snijlengte. In de herhaling spelen echter wel externe omstandigheden en materiaal een belangrijke rol. Vooral inhomogeniteit in de EPS-blokken kunnen zorgen voor onnauwkeurigheden. Dit is opgelost door een torque-spoel op te nemen in het draadverlengingsysteem. Tevens zit er in het EPS een behoorlijke hoeveelheid interne spanning van het productieproces. Tijdens en na het snijden komen deze vrij en veroorzaken krom trekken. De mate waarin dit gebeurt is dusdanig beperkt dat het gesneden en krom getrokken EPS zonder problemen in de sandwich verwerkt kan worden. Na het volvlaks verlijmen blijven de elementen vlak.

2.3.2 Montage

Voor de gevelelementen is in eerste instantie een productieproces bedacht waarbij eerst zeer eenvoudige vormen prefab gemaakt worden om vervolgens als lego-blokjes in elkaar te schuiven; als voorzet op mogelijke automatisering van het proces. Bij de eerste beproevingen is gebleken dat de opbouw van tolerantieverschillen met deze werkwijze zorgt voor onacceptabele maatafwijkingen. Per direct is overgegaan op productie van gehele gevelelementen in een mal. Daarnaast is deze werkwijze verder verfijnd door de plaatnaden niet meer gelijk te laten lopen met de kozijnen; dit scheelt in aantal naden en in extra stevigheid op de kwetsbare hoeken. Om toleranties vooraf te beïnvloeden is aanvankelijk gekozen om alle platen rondom 1 mm kleiner te zagen om zo altijd maatvast te kunnen zijn met de eindsamenstelling. De ervaring heeft geleerd dat de CNC-gezaagde delen deze stelruimte niet nodig hebben en dat deze ruimte zelfs een nette passing in de weg stond. Vervolgens is geen extra stelruimte opgenomen bij het zagen, waardoor het uitstekend passend te bouwen bleek.

De dakdelen zijn in eerste instantie per stuk in een mal geproduceerd, maar gaf passingsproblemen bij de montage. Vervolgens zijn de dakdelen tegen elkaar gebouwd als één groot dak met de binnenbeplating sluitend tegen elkaar en 3 mm afstandhouders tussen de delen in. Hiermee is de zichtzijde aansluitend en kan de luchtdichting gegarandeerd worden. Het gaf wel maatverschillen in de sandwichopbouw doordat elke afwijking binnen tolerantie werd doorgegeven aan de volgende elementen. Als tijdens de montage zowel zichtpassing als luchtdichting goed zijn, dan heeft deze methode de voorkeur.

Bij de kniestukken bleek de luchtdichting van de kanalen onderling punt van aandacht..

2.3.3 Automatisering

Het proces van elementenproductie is vrij ver te automatiseren afhankelijk van de te produceren aantallen: 1. Logistiek van zowel onderdelen als gereed product met rollerbanen 2. Pick & place van onderdelen in de mal 3. Verlijming middels een geautomatiseerd doseringssysteem 4. Persen van de elementen in de mallen De investeringen hiervoor zullen hand in hand gaan met de ontwikkeling van de verkochte aantallen woningrenovaties

Rapportages

NedCam 160727 Rapportage TKI Energo BESTE (zie par. 2.2.3)

2.4 Constructieve eigenschappen woning

Vaak zorgt de uitwendige gebouwschil van te renoveren woningen voor de constructieve stijfheid c.q. de stabiliteit. In geval van sloop van de gebouwschil zou die dan tenminste tijdelijk moeten worden geborgd en zou de nieuwe gebouwschil daarin weer moeten voorzien.

Voor het daartoe uitgevoerde onderzoek is een zogenaamde VANEG-woning als uitgangspunt gehanteerd. Bij dit type woningen blijkt de gebouwschil echter niet noemenswaardig bij te dragen aan de stabiliteit. Een uitbreiding van het onderzoek naar andere woningtypen waarbij dit wel optreedt bleek om praktische redenen niet meer mogelijk.

Rapportages

Janssen de Jong TKI EnerGO deelprojecten 2.4. Constructieve eigenschappen woning

3 Detail engineering & ontwerp

3.1 Vaststellen prestatie-indicatoren varianten

Dit onderdeel is behandeld in § 2.1.

3.2 Bouwkundig en installatie-technische detail-ontwerp

Bouwkundige en installatietechnische tekeningen van het prototype zijn gegeven in onderstaand document.

Documentatie

Janssen de Jong bouwkundige en installatietechnische tekeningen

3.3 Indeling en materialisering gevel en dak

Onderdeel van de acceptatie is een juiste indeling en materialisering van gevel en dak. Hiertoe is ondersteuning gezocht bij SPEE Architecten. Op basis van de bestaande woningen te Warnsveld is een transformatiestudie verricht. Met name de aansluiting langsgewel – dak heeft hierbij bijzondere aandacht gekregen omdat het beeldbepalend is, alsmede de mogelijke gevelindelingen rekening houdend met de benodigde ruimte voor de verticale luchtkanalen. Deze studie heeft laten zien dat het concept weinig beperkingen kent. De vereiste ruimte voor de luchtkanalen in de gevel is dermate klein dat het maar weinig restricties oplegt voor de indeling. Voor de aansluiting langsgewel – dak is uiteindelijk is gekozen voor een traditionele gemonteerde bakgoot, deels vanwege het bekende aanblik maar vooral vanwege de kosten.

Rapportages

Landstra Spee Architecten

4 Specificaties methoden en technieken binnen het renovatieproces

4.1 Sloopfase

Kamphuis Sloopwerken, Dusseldorp Sloop en Recycling en Lycens Milieu & Ruimte zijn als externe deskundigen geraadpleegd. Uitgangspunt is een systeemwoning van het type VANEG (woningen te Warnsveld) met een doorkijk naar overige systeemwoningen.

Voor aanvang van de sloop vindt er een inventarisatie plaats. Van belang is dat in een bestaande woning destructief onderzoek wordt gedaan om te achterhalen of de toegepaste bouwmethode geometrisch en qua materiaalkeuze overeenstemt met de reeds aanwezige kennis van het type woning. Documentatie is tevens vereist van achteraf aangebrachte voorzieningen die het renovatieproces nadelig kunnen beïnvloeden. De aanwezigheid van asbesthoudende materialen moet worden vastgesteld. Corporaties hebben vaak al een asbestinventarisatie gedaan en zijn op de hoogte van structureel toegepaste onderdelen, maar de willekeurige toepassing van onderdelen, bijvoorbeeld 'vulplaatjes' onder en tussen bouwdelen, kunnen voor onverwachte situaties leiden. Vanwege deze onzeker factoren moet er een noodplan inclusief communicatieplan gereed liggen zodra de sloop wordt gestart.

Bewoners en omwonenden hebben op verschillende momenten van de sloop te maken met overlast. Dit omvat de aspecten geluid, stof, perceptie van gezondheidsrisico's en parkeeroverlast. Van belang is om met bewoners, omwonenden, hulpdiensten en de gemeente duidelijke afspraken te maken en tijdig te informeren, zowel mondeling als op papier. Bewoners willen gewoon graag weten wat en wanneer er gaat gebeuren. De overlast en vooral de beleving ervan is daarmee tot een minimum te beperken..

Per woning wordt een document opgesteld met daarin een beschrijving van de werkzaamheden, welke overlast valt te verwachten en welke (voorbereidende) werkzaamheden de bewoner zelf moet doen. Onderdeel van het concept is dat de renovatie plaatsvindt in bewoonde staat. Dat kan overigens alleen als de classificatie van eventueel aanwezig asbest dit toelaat. Stofschermen en afdek materiaal, een duidelijke routing door de woning en goede afspraken met de bewoner worden al veel toegepast en zijn algemeen geaccepteerd. Toch is op het moment van daadwerkelijke start van een project de impact voor bewoners groot. In de benadering van de bewoners moet dit niet worden onderschat. Als een bewoner er zelf te licht over denkt, is het belangrijk hem er bewust van te maken dat een renovatie een forse inbreuk op de privacy en dagelijkse gang van zaken heeft.

Als om wat voor reden dan ook de planning tijdens de renovatie wordt aangepast, wil men dat weten. Maar omdat niet iedereen op dat moment adequaat kan worden geïnformeerd, moet vooral de grote lijn van tevoren eenvoudig en correct zijn gecommuniceerd. Voor de acceptatie is het dus van groot belang dat er volgens het vooraf bepaalde plan wordt gewerkt. Om de werkzaamheden logisch en goed gepland uit te voeren en om het aantal incidenten te beperken, wordt er in meerdere Lean-sessies met alle projectpartijen een minutenplanning opgesteld. Hierbij wordt de sloop/renovatie minutieus geconstrueerd en kunnen alle partijen alternatieven en ideeën aandragen.

Door zoveel mogelijk in grote delen te slopen is het aantal handelingen, stof en lawaai op de locatie tot een minimum te beperken. In situaties waarbij de gevels en/ of daken asbest(houdende) delen bevatten is een "verpakking" toe te passen, zoals dat ook bij de glaspuien wordt toegepast. De demontage gebeurt buiten de wijk op een veilige en geconditioneerde locatie

Rapportages

Janssen de Jong	TKI rapportage 41 42 Specificaties methoden en technieken binnen het renovatieproces
-----------------	--

4.2 Uitvoeringsfase

4.2.1 Sociaal proces

De toenadering van de gebruiker en ontzorging hiervan is een precair onderdeel en vergt een goede voorbereiding. Geïnterviewd is welke methodieken het meest geschikt en kosteneffectief zijn. Hier toe is Michiel Coenen Advies geraadpleegd.

Onderzocht is hoe een sociale aanpak zoveel mogelijk tegemoet komt aan de wensen van betrokken bewoners en hoe daardoor kosten bespaard kunnen worden. Onderdelen van oplossingsrichting zijn:

- Doorlopen van een gestandaardiseerd proces per bewoner.
- Met bewoner exact nagaan wat nodig is qua uitvoering en planning.
- Keuzes en opties benoemen om te komen tot maatwerk (feitelijk confectiewerk).
- Bouwpartijen éénduidig informeren over wat er geleverd moet worden.

Dit sociaal proces is innovatief in de zin dat de beproefde manier van bewonersparticipatie verder ontwikkeld wordt tot een gestandaardiseerd proces met confectiewerk. Hierbij worden de individuele omstandigheden van bewoners in kaart gebracht en gerespecteerd.

Een stapsgewijze plan van aanpak is opgesteld. Het rendement van deze aanpak volgt vooral uit:

- 100% deelname van bewoners.
- Meer kwaliteit door inbreng kennis die aanwezig is bij bewoners.
- Tevredenheid bij bewoners
- Wensen en mogelijkheden van de bewoner.
- Tijdsbesparing en dus kostenbesparing tijdens uitvoering door helder en eenduidig inzicht.

Rapportages

Janssen de Jong	Michiel Coenen; Sociaal Proces BESTE Renovatieconcept, 30 oktober 2014
-----------------	--

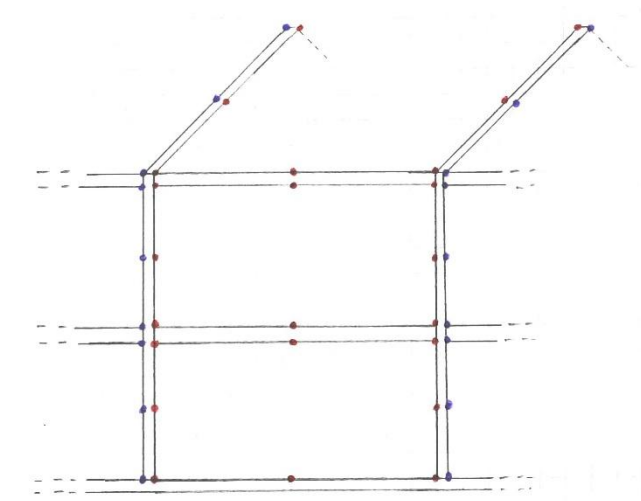
4.2.2 Geometrische opname

De meeste systeemwoningen bestaan uit een betonnen (prefab) skelet van beton met ervoor een gevel van vaak ook een prefab materiaal in hout, metaal of metselwerk. De binnenzijde is vaak afgewerkt met afwerkprofielen en/ of sierafwerking door bewoners.

Op basis van de volgende uitgangspunten

- De nieuwe gevelelementen lopen voor de bouwmuren en vloeren langs.
- De nieuwe dakelementen ligt deels over en deels tussen de bouwmuren.
- De gevelvlakken aan de buitenzijde van twee aansluitende woningen verspringen niet ten opzichte van elkaar.
- De voorgevel, de achtergevel en de dakvlakken van de woningen in één blok hoeven niet exact in één vlak te liggen.
- In principe geen variatie in de grootte van de bouwelementen.

is vastgesteld op welke punten van het skelet de 3d-coördinaten nauwkeurig bekend dienen te zijn. Deze punten liggen ter plaatse van de gebouwschil en zijn in onderstaande figuur in rood aangegeven (blauw in belendende woning).



In samenspraak met Bureau Boot en Gelink-Bosch, beiden gespecialiseerd in geometrische opnametechnieken, is vervolgens onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de 3D scantechniek naast de traditionele meetmethode en die van Totalstation.

Met een 3D scanner wordt alles in en aan de woning zeer gedetailleerd weergegeven. Nadeel is echter dat niet achter afwerkingen kan worden gekeken. Ook de situatie rond de fundering is zonder het ontmantelen niet adequaat met een 3D scanner in kaart te brengen. De resultaten zijn anderzijds wel goed bruikbaar voor esthetische presentaties.

Met traditioneel inmeten in combinatie met total station opnames kunnen de inmeetpunten tevens met voldoende nauwkeurigheid worden vastgesteld. Ook hier is het noodzakelijk om de afwerking (deels) te verwijderen en meetpunten aan te brengen. Dit is weliswaar arbeidsintensief en vraagt om een nauwe samenwerking, maar in principe wordt voldoende nauwkeurige geometrische informatie verkregen. Gegeven de hogere kosten van een 3D scan (€ 850) vergeleken met een total station (€ 200), is uiteindelijk voor de laatste optie gekozen.

Rapportages

Janssen de Jong TKI rapportage 41 42 Specificaties methoden en technieken binnen het renovatieproces (zie par. 4.1)

5 Prototyping en testing

De stuurgroep is er niet in geslaagd tijdig een prototype te ontwikkelen wat de instemming verkreeg van alle bij het project betrokken partijen. Dit is enerzijds een gevolg van de verschillende meningen van de partijen ten aanzien van de praktische uitvoerbaarheid van de geplande metingen en anderzijds een gevolg van de kosten die met dergelijke metingen zijn gemoeid. In de eerdere fasen zijn ten opzichte van de oorspronkelijk begroting van het onderzoek zoveel extra kosten gemaakt dat er geen budget meer vrijgemaakt kon worden voor het uitvoeren van metingen.

Om de praktische uitvoerbaarheid van het concept te beproeven is gebruik gemaakt van het renovatie project van Janssen de Jong in Warnsveld. In dat project zijn drie woningen gerenoveerd op een wijze die overeenkomt met de principes en opzet van het “BESTE Renovatieconcept”.

Begonnen is met een smal type VANEG-woning aan het Frederikseplein 98 te Warnsveld (beukmaat 4,4 m). Vervolgens zijn op dezelfde wijze 2 brede typen VANEG-woningen opgeleverd i.c. een tussen- en een hoekwoning aan 't Spiker 70 en 72 te Warnsveld (beukmaat 6,4 m).

Vastgesteld is dat een correcte uitvoering van de renovatie in maximaal 3 dagen zeer goed uitvoerbaar bleek. Hieronder zijn enkele foto's opgenomen van de situatie na uitvoering. Een video is te vinden op <https://www.youtube.com/watch?v=WjBf-zUTYF0>.







Rapportages

Landstra	12059GLm02 Locatie prototype (2014-10-08)
Landstra	12059GLm03 Opzet metingen prototype (2014-11-17)
TU Delft	Meetplan_Warnsveld_2015_02_03

