

# MONICAIR

MONItoring & Control of Air quality in Individual Rooms

Eindrapportage MONICAIR Deel B

**Monitoringonderzoek energieverbruik woningen en ontwikkeling verbeterde berekeningsmodellen voor de bepaling van het energieverbruik.**

Maart 2016

Projectleider MONICAIR deel B

Dr. L.C.M. Itard, Technische Universiteit Delft



## PROJECTGEGEVENS

Projectnummer	: TKIGBO1003
Projecttitel	: MONICAIR: MONItoring & Control of Air quality in Individual Rooms
	Deel A : Monitoringonderzoek naar en verbetering van de IAQ- en energieprestatie van Ventilatiesystemen Projectleider: Rob van Holsteijn
	Deel B : Monitoringonderzoek naar het energieverbruik van woningen en ontwikkeling van verbeterde berekeningsmodellen voor de bepaling van het energieverbruik Projectleider: Laure Itard
Penvoerder	: ir. R.C.A. van Holsteijn, VHK BV
Medeaanvragers	: Brink Climate Systems BV HCCP (Honeywell Customized Comfort Products) ClimaRad BV Itho Daalderop Nederland BV Nieman Raadgevende Ingenieurs BV TNO TUDelft-OTB Zehnder Group Nederland BV
Projectperiode	: 7 juni 2013 t/m 31 december 2015

Onderhavig rapport betreft de eindrapportage van deel B

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.



## INHOUDSOPGAVE

### INHOUDELIJKE EINDRAPPORTAGE

1. Samenvatting	7
2. Inleiding	9
3. Doelstelling	11
4. Werkwijze	12
5. Resultaten	14
5.1 Thermostaatinstellingen en temperatuurprofielen	14
5.2 CO <sub>2</sub> -concentraties en ventilatiesystemen	14
5.3 Comfortbeleving	15
5.4 Energiegebruik in theorie en in praktijk	16
5.5 Warmteweerstand van gevels (Rc-waarden)	16
5.6 Verbetering van energiesimulatiemodellen	17
5.7 Aanbevelingen voor woningcorporaties	17
5.7 Spin-offs of the MONICAIR project	18
6. Discussie	19
7. Conclusies en aanbevelingen	20

### EINDRAPPORTAGE PROJECTVERLOOP

8. Problemen en oplossingen	21
9. Wijzigingen t.o.v. projectplan	23
10. Verschillen begroting en werkelijke kosten	24
11. Kennisverspreiding, publicaties en PR	25



## 1. SAMENVATTING

Verschillende studies in Nederland en in Europa hebben recentelijk laten zien dat de resultaten van voorspellingsmodellen voor het energiegebruik van woningen vaak sterk afwijken van de werkelijkheid en leiden tot de systematische overschatting van potentiële energiebesparing. Voor deze afwijkingen zijn verschillende oorzaken mogelijk: verkeerde inschatting van de Rc-waarde (isolatie) van constructies, verkeerde inschatting van de infiltratie- en ventilatiestromen, van de verwarmde vloeroppervlakte en van de temperaturen binnen woningen. Ook houden modellen weinig rekening met de comfortbeleving van bewoners en met hun ventilatie en verwarmingsgedrag. Dit is moeilijk te meten en er is daardoor weinig kennis daarover beschikbaar.

Het doel van het onderzoek MONICAIR deel B was om te verkennen in hoeverre de betere bepaling via continu monitoring van een aantal van bovengenoemde parameters kan bijdragen aan de ontwikkeling van betere voorspellingsmodellen voor de verwarmingsenergie van woningen. Deze parameters worden tot nu toe maar zelden gemeten. Het doel was ook om een methodologie te testen voor een opschaalbare in-situ meetopstelling en voor de analyse van data. De mogelijkheden voor in-situ metingen, inclusief gedragsmetingen, nemen snel toe door de opkomst van goedkope sensoren en de Internet of Things, en er is een grote behoefte aan de ontwikkeling van analysemethoden.

Het onderzoek heeft zich toegespitst op huishoudenskenmerken, ventilatie en CO<sub>2</sub>-concentraties, thermostaatinstellingen, temperatuurprofielen, Rc-waarden van gevels en comfortbeleving.

In totaal zijn 32 woningen 6 maanden lang gemonitord tussen november 2014 en April 2015. Deze woningen hadden een energielabel A/B of een label F, werden verwarmd door een warmtepomp, een HR-ketel of een moederhaard. Er waren woningen met balansventilatie (system D, alle woningen hadden een energielabel A of B), woningen met volledig natuurlijke ventilatie (systeem A, alle woningen hadden een energielabel F) en woningen met natuurlijke luchttoevoer en mechanische afvoer vanuit de natte ruimtes (system C, mix van energie labels).

In alle woningen zijn aanwezigheid, CO<sub>2</sub> concentraties, temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten in iedere kamer, met een tijdsinterval van 5 minuten. Gas en elektriciteitsverbruik zijn gemeten aan het begin en aan het einde van de meetcampagne, en, in sommige woningen, ook continu met een tijdsinterval van 5 minuten. De perceptie van thermisch comfort is gemeten gedurende een periode van twee weken, gebruik makend van een draadloze comfort-dial in combinatie met een logboek. Daarnaast is de thermische weerstand (Rc-waarde) van een aantal gevels in-situ gemeten in 3 woningen, op basis van een nieuwe methode, die het mogelijk maakt snelle metingen uit te voeren. Doel daarvan is om te bepalen in hoeverre de werkelijke Rc-waarde overeenkomt met de waarde zoals geschat in de energielabel berekeningen.

Het MONICAIR onderzoek deel B heeft laten zien dat de gemeten parameters vaak anders zijn dan op voorhand verwacht, en ook een grote spreiding vertonen per woning, of zelfs binnen een woning. Ook is geconstateerd dat de thermische comfortbeleving van bewoners en hun ventilatie- en verwarmingsgedrag anders is dan aangenomen en niet overeenkomt met de huidige theorie. De belangrijkste resultaten zijn:

- Bij alle ventilatiesystemen worden CO<sub>2</sub>-overschrijdingsuren gevonden (grenswaarde 1200 ppm). In de steekproef leidden de balansventilatiesystemen echter tot aanzienlijk minder overschrijdingsuren dan de systemen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. De laatste systemen leidden ook tot aanzienlijk minder overschrijdingsuren dan de systemen met uitsluitend

natuurlijke ventilatie.

- Er is een grote variatie aan temperatuurprofielen gemeten; de spreiding is groot en de temperatuurprofielen komen lang niet altijd overeen met de thermostaatinstellingen. De hoogste temperaturen zijn geobserveerd in woningen met energielabel A en warmtepompen. De temperaturen in woningen met energielabel A zijn aanzienlijk hoger dan in woningen met energielabel F.
- De Rc-waarde van 2 van de 3 gemeten gevels week sterk af van de standaardwaarden gebaseerd op bouwjaar, zoals die gebruikt worden in de energielabelmethodiek. De Rc-waarde was veel hoger (meer dan 90%) dan de standaardwaarde.
- De real-time thermische comfortbeleving van de bewoners toonde meer relatie met de uitgevoerde activiteiten en de gedragen kleren het halfuur voor de meting, dan met de temperatuur in de kamer of in de woning. Er is eigenlijk geen relatie gevonden met de temperatuur. De PMV (Predicted Mean Vote) bleek de comfortbeleving niet goed te kunnen voorspellen.

Op basis daarvan zijn aanbevelingen gemaakt voor verbeterde modellen en voor woningcorporaties. De experimentele en methodologische instrumenten die in het MONICAIR project ontwikkeld zijn, vormen een goede basis voor verdere theoretische ontwikkelingen, en voor de ontwikkeling van databases met gevalideerde gebruikersprofielen, die kunnen dienen als input voor simulatiemodellen.



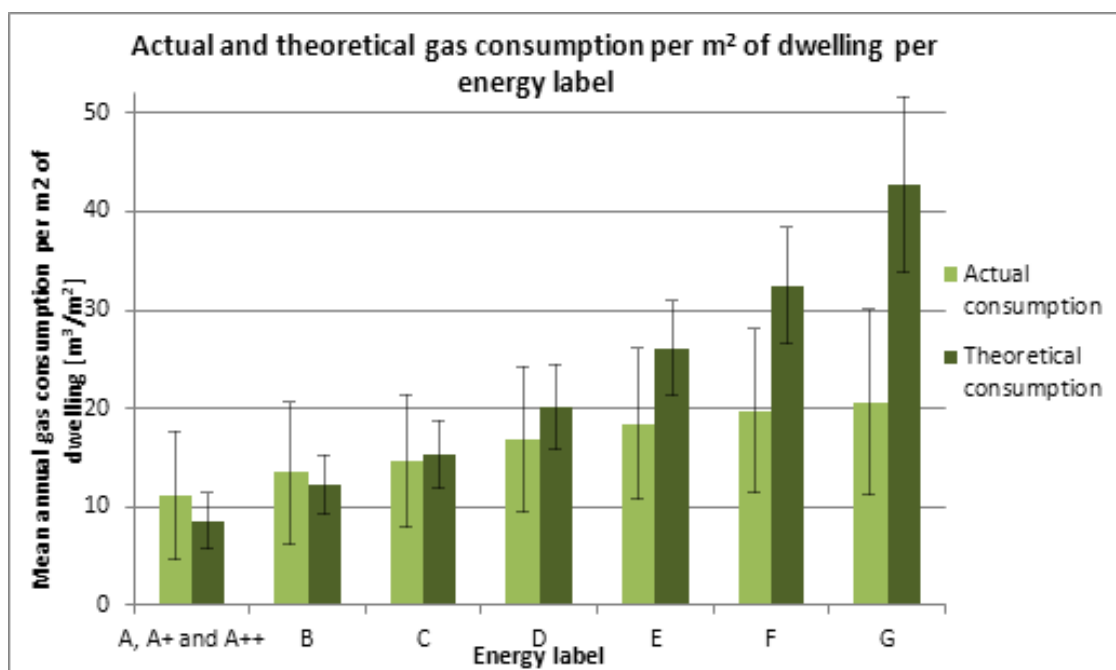
## 2. INLEIDING

De gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor 40% van het totale energiegebruik in Europa. Meer dan de helft daarvan wordt gebruikt voor verwarming. Europese en nationale wetgeving, zoals de EPBD en onderdelen van het bouwbesluit, hebben als doel het energiegebruik van gebouwen te beperken. Om dit doel te bereiken worden allerlei energiebesparende maatregelen genomen in zowel nieuwbouw als gerenoveerde woningen. Er zijn de afgelopen jaren over twee belangrijke punten twijfels gerezen:

1. Leiden deze energiebesparingsmaatregelen niet tot slechtere luchtkwaliteit in de woningen? Om energie te besparen worden de woningen luchtdicht uitgevoerd en wordt er mechanisch geventileerd, waardoor de hoeveelheid frisse lucht die binnenkomt steeds meer afhankelijk wordt van een mechanisch systeem.
2. Is de werkelijke energetische efficiëntie van genomen energiebesparingsmaatregelen in overeenstemming met wat berekend wordt?

Deel A van het MONICAIR project was gericht op het beantwoorden van de eerste vraag, en is apart gerapporteerd. Dit rapport (deel B) gaat in op de tweede vraag.

Energie labels en energie-indexen zijn, net als de meest energiegebruiksvoorspellingen, gebaseerd op modellen. Verschillende studies in Nederland en in Europa hebben recentelijk laten zien dat de resultaten van deze modellen sterk kunnen afwijken van de werkelijkheid en leiden tot de systematische overschatting van potentiële energiebesparing, zie figuur 1. Voor deze afwijkende voorspellingen zijn verschillende mogelijke oorzaken: verkeerde inschatting van de U-waarde (isolatie) van constructies, verkeerde inschatting van de infiltratie en ventilatie stromen, van de verwarmde vloeroppervlakte en van de temperaturen binnen woningen. Ook houden modellen geen rekening met de comfortbeleving van bewoners en met hun ventilatie- en verwarmingsgedrag. Deze parameters zijn moeilijk te meten en er is daardoor weinig kennis daarover.



Figuur 1: Vergelijking tussen het gasverbruik zoals voorspeld door de energie labeling methodiek (theoretical consumption) en het werkelijk gasverbruik (steekproef van 193.856 woningen).

Het gedragsafhankelijke deel van energiegebruik is moeilijk te kwantificeren en statistisch te onderbouwen. Er is tot nu toe weinig gebruik gemaakt van in-situ metingen om energievoorspellingsmodellen te verbeteren, omdat zulke metingen erg duur en tijdrovend zijn. De mogelijkheden voor in-situ metingen, inclusief gedragsmetingen, nemen echter snel toe door de opkomst van goedkope sensoren en de Internet of Things, en er is een grote behoefte aan de ontwikkeling van analysemethoden.

Er wordt verwacht dat, uit deze data, nieuwe kennis ontstaat over complexe relaties tussen de parameters die van belang zijn voor de bepaling van energiegebruik en energiebesparing. Bijvoorbeeld zouden de volgende vragen beantwoord kunnen worden: wat zijn de temperatuur- en ventilatiepreferenties van verschillende groepen mensen, in verschillende kamers, is er een relatie tussen deze preferenties en de fysische en installatietechnische karakteristieken van woningen, en hoe beïnvloedt die het energiegebruik? Wat is de invloed van de perceptie van thermisch comfort op temperatuur preferenties en op de verwarmingsenergie?

Het idee achter het MONICAIR onderzoek deel B is om een methodologie te testen om in de toekomst antwoord te kunnen geven op deze vragen. Dit openbaar rapport geeft een samenvatting van het eindrapport van Deel B ("MONICAIR: Development of improved models for the accurate prediction of energy consumption in dwellings"<sup>1</sup>, 23 april 2016, 158p, [www.monicair.nl](http://www.monicair.nl))

---

<sup>1</sup> Het Engelstalig eindrapport is tot 30 mei confidentieel in verband met privacy afspraken gemaakt met bewoners. Tot deze data kan het rapport alleen ingezien worden door RVO en VHK. Na 30 mei kan het eindrapport vanuit de MONICAIR website gewoon gedownload worden.

### 3. DOELSTELLING

Het doel van het onderzoek MONICAIR deel B is om te verkennen in hoeverre de betere bepaling via continu monitoring van een aantal parameters die tot nu toe maar zelden gemeten kon worden, kan bijdragen aan de ontwikkeling van betere voorspellingsmodellen voor de verwarmingsenergie van woningen. Het doel van het onderzoek was duidelijk niet om representatieve resultaten te genereren (de steekproef van 32 woningen is daarvoor te klein).

Het onderzoek heeft zich toegespitst op huishoudenskenmerken, ventilatie en CO<sub>2</sub>-concentraties, thermostaatinstellingen, temperatuurprofielen, Rc-waarden van gevels en comfortbeleving.

#### 4. WERKWIJZE

Het onderzoek is uitgevoerd op basis van a) een meetcampagne van 6 maanden, en b) de analyse van de verkregen data. Op basis daarvan, en van een analyse van voorkomende problemen in energievoorspellingsmodellen, zijn vervolgens conclusies getrokken hoe deze modellen te verbeteren.

Voor de meetcampagne is een steekproef gekozen van nieuwe en oudere woningen, om een goed beeld te kunnen geven van realistische energiebesparingen wanneer woningen thermisch gerenoveerd worden. Om het MONICAIR onderzoek te kunnen verbinden met eerdere studies, die veelal gericht zijn geweest op woningen van woningcorporaties, is gekozen voor sociale huurwoningen. Dit is ook omdat de meeste sociale huurwoningen beschikken over een energielabel, wat niet het geval is van particuliere woningen.

2000 brieven zijn gestuurd naar bewoners in het westen van het land, in postcode gebieden waarvan bekend was dat veel corporatiewoningen aanwezig zijn. Uit de 173 bruikbare antwoorden zijn eerst 60 woningen geselecteerd op basis van energielabel en verwarmingssysteem. Vanwege problemen met het meetstelsel, die 60 aparte woningen bleek niet aan te kunnen, is kort voor de start van de meetcampagne, de steekproef gereduceerd tot 32 woningen.

In totaal zijn dus 32 woningen 6 maanden lang gemonitord tussen november 2014 en april 2015. Deze woningen hadden een energielabel A/B of een label F. De woningen met label A hadden een warmtepomp of een HR-ketel. De woningen met label B hadden allemaal een HR-ketel en de label F-woningen hadden een HR-ketel of een moederhaard. Er waren woningen met balansventilatie (systeem D, alle woningen hadden een energielabel A of B), woningen met volledig natuurlijke ventilatie (systeem A, alle woningen hadden een energielabel F) en woningen met natuurlijke luchttoevoer en mechanische afvoer vanuit de natte ruimtes (systeem C, mix van energie labels).

In alle woningen zijn aanwezigheid, CO<sub>2</sub> concentraties, temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten met een tijdsinterval van 5 minuten. Gas en elektriciteitsverbruik zijn gemeten aan het begin en aan het einde van de meetcampagne, en, in sommige woningen zijn die ook continu gemeten, met een tijdsinterval van 5 minuten. De perceptie van thermisch comfort is gemeten gedurende een periode van twee weken, gebruik makend van een draadloze comfort-dial in combinatie met een logboek. De deelnemende huishoudens moesten ook een vragenlijst beantwoorden aan het begin van de meetperiode, waarin data werd gevraagd over het algeheel thermisch comfort in de woning, ventilatie en verwarmingspatronen, thermostaat instellingen en socio-economische data. Ook werden de woningen geïnspecteerd tijdens de installatie van de sensoren. Zoals aangegeven in het projectvoorstel heeft de ontwikkeling van de meetsets plaatsgevonden in samenwerking met de projecten SusLabNWE ( Interreg, [www.SusLabNWE.eu](http://www.SusLabNWE.eu)) en Installaties2020 (SIA RAAKPRO, [www.installaties2020.weebly.com](http://www.installaties2020.weebly.com)). Daarnaast is de thermische weerstand (Rc-waarde) van een aantal gevels in-situ gemeten in 3 woningen, om te bepalen in hoeverre de werkelijke Rc-waarde overeenkomt met de waarde zoals geschat in de energielabel berekeningen. Voor deze metingen is een nieuwe methode ontwikkeld, die veel minder tijd vraagt dan de huidige methode (ISO 9869).

De communicatie met de bewoners vond plaats via een openbare website, speciaal daarvoor ingericht ([www.otb.tudelft.nl/ecommon](http://www.otb.tudelft.nl/ecommon)), via email en via een helpdesk. Als tegemoetkoming voor extra energiekosten van de apparatuur en als dank voor hun inzet kregen de bewoners een cadeaubon van 50 EUR. Met name de twee-weken lang durende comfortmonitoring vroeg veel commitment.

De werkzaamheden waren verdeeld in drie werkpakketen. WP1b ging over de monitoring van het totale energiegebruik in relatie met woningkwaliteit, installaties, comfortniveau & bewonersgedrag. WP2b ging

over de ontwikkeling van modelvorming t.b.v. een betere prognose van CO<sub>2</sub>-concentraties en energiegebruik van woningen. WP3b ging uiteindelijk over de formulering van richtlijnen t.b.v de ontwikkeling van verbeterde normen en modellen.

Eerst is in het kader van WP2 (deliverable D2b1, gerapporteerd in hoofdstuk 2 van het hoofdrapport<sup>1</sup>) een literatuurstudie uitgevoerd over huidige energiemodellen en state-of-the-art inzichten over de relatie tussen gebouw- en installatie karakteristieken, bewonersgedrag, comfort en energieprestatie. De meetcampagne valt onder WP1 (deliverables D1b1, D1b2 and D1b3, gerapporteerd in hoofdstuk 3 van het hoofdrapport<sup>1</sup>). De basisbeschrijving van de steekproef en van de algehele comfortperceptie zoals gerapporteerd door de bewoners in de vragenlijst is onderdeel van WP1 (deliverable D1b4 and D1b5, gerapporteerd in hoofdstukken 4 en 5 van het hoofdrapport<sup>1</sup>). De detailanalyse van de monitoring data over CO<sub>2</sub> concentraties, temperatuurprofielen, aanwezigheid thuis, comfortbeleving, U-waarde en hun relatie met energiegebruik is uitgevoerd in WP2 (deliverable D2b2, gerapporteerd in hoofdstukken 6 t/m 10 van het hoofdrapport<sup>1</sup>). Op basis daarvan zijn verbeteringen aan energiemodellen in het algemeen (WP2, deliverable D2b3) en aan modellen gekoppeld aan wetgeving (energie labels) (WP3, deliverable D3b1) besproken.

## 5. RESULTATEN

Dit hoofdstuk beschrijft per onderdeel de hoofdresultaten van de analyses. Voor een detailanalyse, zie rapport ("MONICAIR: Development of improved models for the accurate prediction of energy consumption in dwellings"<sup>1</sup>, 23 april 2016, 158p, [www.monicaair.nl](http://www.monicaair.nl))

### 5.1 Thermostaatinstellingen en temperatuurprofielen

Tot nu toe waren onderzoeken over temperatuurpreferenties van bewoners altijd gebaseerd op resultaten van vragenlijsten. De vergelijking van de antwoorden in de vragenlijst met de inspectiedata heeft laten zien dat ongeveer de helft van de thermostaatinstellingen correct werden gerapporteerd. Ongeveer een kwart van de respondenten rapporteerde een te hoge temperatuur en een kwart een te lage. Gemiddeld was de afwijking 1 graad. Vragenlijsten geven dus lang niet altijd een accurate beeld van de werkelijkheid en zoeken naar correlaties tussen energiegebruik en temperatuurinstellingen kan dus beter gebeuren op basis van gemeten thermostaatinstellingen. Ook is gebleken dat, wanneer de gerapporteerde instelling correct was, die lang niet altijd een relatie had met de werkelijk gemeten temperatuur in de woning. In andere woorden, het kan zijn dat het thermostaat ingesteld is op 22 graden, maar de werkelijke temperatuur is 27 graden. Wel is gevonden dat zowel de temperatuurinstelling als het temperatuurprofiel (de continu gemeten temperatuur gedurende de hele dag of week) hoger waren in woningen met een energielabel A dan in woningen met een energielabel F.

De spreiding van de temperatuurprofielen is groot tussen woningen, en ook tussen de verschillende kamers van één woning. In de steekproef hebben woningen met een warmtepomp een constanter dagprofiel (24-uur profiel) dan de woningen met een ketel of een moederhaard en hun profiel is ook minder verschillend per kamer. Duidelijk is dat de temperaturen in de slaapkamer vaak lager zijn dan in de woonkamer, maar ook dat de meeste slaapkamers in onze steekproef verwarmd werden, ook tijdens de nacht. Het is niet mogelijk geweest om duidelijke relaties te vinden tussen temperatuurprofiel, ventilatie systeem, aantal uren dat de ramen open zijn of grootte van het huishouden. Dit betekent niet dat de relaties er niet zijn, maar de steekproef is te klein om overtuigende resultaten te leveren op dat gebied.

### 5.2 CO<sub>2</sub> concentraties en ventilatiesystemen

In overeenstemming met de bevindingen in MONICAIR deel A, zijn de instellingen van de mechanische ventilatiesystemen (systemen C en D) bijna altijd op de laagste stand. In woningen met balansventilatie en met natuurlijke ventilatie worden de woonkamers en de slaapkamers geventileerd door het openen van ramen en roosters meestal 1 a 4 uren per dag. Voor woningen met een systeem C (natuurlijke toevoer en mechanische afvoer), variëren de ventilatiegewoontes heel sterk per huishouden, maar bij de meeste van deze woningen worden woonkamer en slaapkamer langer dan 5 uur per dag geventileerd. Een belangrijk aandeel van de huishoudens (21 to 50%) heeft gerapporteerd om uitsluitend de mechanische ventilatie te gebruiken voor de ventilatie van keuken en badkamer. In meer dan 28% de woningen met alleen natuurlijke ventilatie wordt de badkamer nooit geventileerd.

Er kon geen duidelijk patroon gevonden worden tussen het aantal CO<sub>2</sub> overschrijdingsuren (grenswaarde 1200 ppm) en het gerapporteerd ventilatiegedrag voor ramen en roosters. Er was wel een relatie met de grootte van het huishoudens: hoe groter het huishoudens, hoe meer kans dat er overschrijdingsuren gevonden worden. In onze steekproef was, geheel in lijn met de bevindingen in MONICAIR deel A, de relatie tussen CO<sub>2</sub> overschrijdingsuren en het type ventilatiesysteem heel duidelijk. Balansventilatiesystemen (systeem D) hadden duidelijk een kleiner aantal overschrijdingsuren dan

systemen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C), welke weer een kleiner aantal overschrijdingsuren hadden dan de volledige natuurlijke systemen (systeem A).

Echter, situaties met te vaak voorkomende en te hoge aantal overschrijdingsuren zijn gevonden in alle types ventilatiesystemen, of, in andere woorden, ondanks het ventilatiesysteem. Het is daarom belangrijk om verbetermogelijkheden te onderzoeken voor alle types systemen. De analyse heeft ook laten zien dat het aantal kamers waarin de CO<sub>2</sub> grenswaarde van 1200 ppm overschreden wordt en de duur en hoogte van de overschrijding duidelijk groter wordt als men gaat van 'balansventilatie' naar 'mechanisch afvoer' naar 'volledig natuurlijk'. In een aantal woningen zijn ook hoge CO<sub>2</sub> niveaus geobserveerd in de keuken, waarschijnlijk vanwege gaskooktoestellen en een laag rendement van de afvoer inde keuken.

Het is ook mogelijk gebleken om, op basis van de sensoren voor bewegingsdetectie en de CO<sub>2</sub> profielen, aanwezigheid van mensen per kamer te voorspellen, ook in de gevallen waar alleen een minimale toe- of afname van de CO<sub>2</sub> concentratie plaats vond. Ondanks het feit dat de voorspelde aanwezigheid iedere keer op een logische manier uitgelegd kon worden, zijn additionele validaties nodig om het ontwikkelde algoritme volledig te valideren.

### 5.3 Comfortbeleving

Het aantal respondenten dat aangeeft dat hij/zij de binnentemperatuur in zijn woning te koud vindt in de winter is duidelijk hoger in woningen met een energielabel F dan in woningen met een energielabel A. In zomer bleek het aantal respondenten dat zijn woning te warm vindt niets te maken te hebben met de energie label. In alle woningen gaf een kwart van de mensen aan dat de woning te warm is in de zomer.

Er kon geen relatie gevonden worden tussen de temperatuurperceptie en het type ventilatiesysteem. Er waren echter minder klachten over tocht in de woningen met balansventilatie dan in de andere woningen, en er waren meer klachten over vochtigheid in de woningen met natuurlijke ventilatie. In deze woningen, allemaal met een energie label F, gaven de meeste respondenten aan dat ze een warmer huis zouden willen hebben in winter. In de woningen met balansventilatie, allemaal met een energielabel A of B, was er geen behoefte aan een warmer huis, wel aan sneller warm tapwater. In de woningen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (mix van energie labels) waren beide antwoorden de meest voorkomende.

De real-time thermische comfortbeleving van de bewoners is ook onderzocht. Ondanks dat er verdere analyses nog uitgevoerd moeten worden, dat de methodologie verder ontwikkeld moet worden en dat het onmogelijk is gebleken om binnen de tijdspanne van dit project definitieve conclusies te trekken, is gedemonstreerd dat het mogelijk is om comfort real-time in-situ te meten en te relateren aan meetbare fysische parameters. Mensen die het op een gegeven moment koud hadden bleken vaak te hebben rustig gezeten of licht bureauwerk te hebben gedaan in het halfuur daarvoor. In tegenstelling daarop, hadden mensen die op een gegeven moment aangaven het warm te hebben, (actief) gezeten, gelopen, hard gelopen of een mengsel van deze activiteiten.

Mensen die rapporteerden het koud of een beetje koud te hebben hadden vaak het thermostaat omhoog gezet in het halfuur daarvoor. Degenen die het warm of een beetje warm hadden, hadden vaak een koude drank genomen of het thermostaat omlaag gezet. Enigszins verrassend, maar toch ook in lijn met bevindingen uit de literatuurstudie, is geen correlatie gevonden tussen het gepercipieerd thermisch comfort en de kamertemperatuur. Over de hele meetperiode kon een bepaalde temperatuur leiden tot een neutrale, koude of warme beleving. Daarnaast is geobserveerd dat de relatieve vochtigheid altijd laag was in de thermisch neutrale zone, terwijl die hoger was wanneer mensen rapporteerden het (een beetje) 'warm' of 'koud' te hebben. Uiteindelijk, wanneer mensen rapporteerden het 'warm' te hebben, bleek de

CO<sub>2</sub>-concentratie hoger dan wanneer ze het minder warm, neutraal of een beetje koud hadden. Het is uiteraard bekend dat de thermische comfortzone afhankelijk is van temperatuur en vochtigheid samen, maar er is weinig bekend over de invloed van de luchtkwaliteit (CO<sub>2</sub>-concentratie) op het thermische comfortbeleving. Uiteindelijk heeft een gevoeligheidsanalyse op de data laten zien dat de comforttheorie, gebaseerd op de PMV (Predicted Mean Vote) lijkt te leiden tot een acceptabele voorspelling van een neutraal en koud gevoel, maar niet van een warm gevoel. Verdere studies op basis van de theorie van adaptief comfort moeten nog uitgevoerd worden.

#### **5.4. Energiegebruik in theorie en in praktijk**

Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen het temperatuurprofiel in een woning en het gas of elektriciteitsverbruik. Vanwege de tijdbeperkingen in de analyse van de data, zijn de gemiddelde dagtemperatuurprofielen gebaseerd op een meetperiode van twee weken, met tijdsintervallen van 5 minuten, maar zijn de energie data alleen beschikbaar voor de gehele periode van 6 maanden (geen continu data beschikbaar). Ondanks het feit dat de periode van twee weken representatief is voor de gehele periode, kan dat een oorzaak zijn voor het niet vinden van een relatie. Wel is het duidelijk dat de woningen die meer gas gebruiken te vinden zijn in de labelcategorie F (allemaal natuurlijke ventilatie). De woningen met balansventilatie (energie label A of B) gebruikten echter niet minder gas dan de woningen met natuurlijk toevoer en mechanisch afvoer ( energie label B of F).

Deze resultaten, d.w.z. de apparente afwezigheid van een directe relatie tussen belangrijke parameters (zoals de binnentemperatuur) en het energiegebruik voor verwarming, laten de noodzaak zien voor een meer geïntegreerde benadering. Gas- en elektriciteitsmonitoring, met een kleinere tijdstap, bijvoorbeeld per 5 minuten, zoals oorspronkelijk gepland, zal betere inzichten kunnen geven. Helaas is de dataverzameling op dat gebied deels mislukt. In de komende maanden zullen de aanwezige real-time energie-data die wel verzameld zijn, verder geanalyseerd worden.

De gedetailleerde analyse van een aantal cases heeft aangetoond dat er genoeg ruimte is om het energiegedrag van huishoudens te verbeteren, door ze bijvoorbeeld bewust te maken van de werkelijke temperatuur in hun woning (die bleek soms anders te zijn dan aangegeven door de thermostaat ). Een andere oplossing zou een slimme temperatuurregeling zijn waarbij de temperatuur met kleine stappen omlaag gebracht wordt, totdat de bewoner ingrijpt. Aanpassing van de ventilatiegewoontes op dezelfde manier zou ook mogelijk kunnen zijn, waarbij er veel aandacht moet zijn voor het verbeteren van het binnenklimaat. Echter, heeft de MONICAIR studie ook laten zien dat niet alleen gedrag verantwoordelijk is voor te hoge temperatuurniveaus, maar ook het verwarmingssysteem zelf, in het bijzonder wanneer warmtepompen en vloerverwarming gebruikt worden.

#### **5.5 Warmteweerstand van gevels (Rc-waarden)**

Een nieuwe, volledig dynamische methode, de Excitation Pulse Methode (EPM), waarvan de ontwikkeling eerder gestart was door de TU Delft, is doorontwikkeld en toegepast om de warmteweerstand van de gevel van drie woningen te meten. De EPM methode heeft het voordeel om snel te zijn (ongeveer 2 uur metingen) in vergelijking met de huidige standaard methode (ISO 9869), waarmee weken van metingen nodig zijn. De EPM methode heeft op de drie cases resultaten opgeleverd die nauwkeurig overeenkomen met die van de ISO standaard. In twee van de drie gevallen bleek dat de Rc-waarden in werkelijkheid veel hoger is (tot 90%) dan aangenomen wordt in de standaardwaarden van de energie labeling methode,



gebaseerd op bouwjaar. Dit zou deels de grote overschatting van het energiegebruik in woningen met een slecht label (zie figuur 1) kunnen verklaren.

## 5.6 Verbetering van energiesimulatiemodellen

De verbetering van energiesimulatiemodellen, op basis van de data verzameld gedurende het MONICAIR project (deel B) en op basis van eerdere studies, wordt hieronder apart besproken voor dynamische modellen en voor voorgeschreven modellen in het kader van de EPBD (energie labeling, ISSO 82). Voor beide types modellen is duidelijk geworden dat de meeste problemen niet zozeer door de rekenmethodiek zelf komen als door de - soms intrinsieke - onnauwkeurigheid van de schatting van de benodigde inputparameters.

Voor dynamische modellen (zoals Esp-r, Energy+, TRNSYS, VA114, etc.), wordt er aanbevolen om de profielen voor aanwezigheid, activiteiten in het huis (in relatie met metabolisme), thermostaatinstellingen, ventilatie en ventilatie-instellingen te valideren en te verbeteren d.m.v. meer metingen. Het is ook belangrijk om deze data te kunnen relateren aan typologieën van huishoudens en van comfort perceptie. Er zouden dan profielen op basis van deze typologieën opgezet kunnen worden. Het is ook duidelijk geworden dat er niet alleen behoefte is aan de betere bepaling van ventilatie- en infiltratiedebieten, maar ook aan de betere bepaling van de thermische eigenschappen (o.a. Rc-waarde) van gevels, vloeren en daken en van het thermisch comfortniveau. Daarvoor zijn in-situ studies nodig.

Wat betreft voorgeschreven modellen, zoals gebruikt voor de energie labeling, moet in acht genomen worden dat hun doel is om de energieprestaties van woningen onder genormeerde omstandigheden te evalueren om, op de lange termijn, de thermische kwaliteit van de woningvoorraad te verbeteren. Voor deze modellen is er geen directe noodzaak voor een nauwkeurige voorspelling op het niveau van individuele woningen, maar is het zeer belangrijk dat de energiegebruikvoorspelling goed genoeg is *gemiddeld* per label categorie of per energie-index categorie. De huidige bias in de voorspelling van de gemiddelde waarde, (de onnauwkeurigheid is geheel verschillend per label categorie, zie figuur 1) leidt tot een grote vertekening van verwachte energiebesparingen en kan ervaren worden als misleidend door woningeigenaren en huurders en door degenen die hun huis graag thermisch willen verbeteren. Voor deze modellen zijn verbeteringen van de standaardwaarden voor gemiddelde temperatuur en verwarmde vloeroppervlakte nodig, alsmede van de standaardwaarden voor aanwezigheid, ventilatie en infiltratie debieten, rendementen van de verwarmingssystemen en U-waarden van gevels, daken en vloeren. Betreffende de gemiddelde temperatuur wordt aanbevolen om het idee van een unieke binnentemperatuur voor alle types woningen los te laten, omdat die te werk van de werkelijkheid staat.

## 5.7 Aanbevelingen voor woningcorporaties

Op basis van de resultaten beschreven in voorgaande paragrafen (en in het Engelstalig hoofdrapport), wordt het volgende aanbevolen:

- Baseer de berekening van het energiebesparingspotentieel op historische, gemeten energiedata. Er is gebleken dat nieuwe systemen redelijk goed voorspeld kunnen worden, maar dat de

prestaties van oudere woningen en systemen onderschat worden. Door historische data te gebruiken, wordt het energiebesparingspotentieel realistischer. Energiedata op blok niveau kunnen daarvoor gebruik worden, of data uit de SHAERE database van Aedes.

- Ondersteun voor zover mogelijk natuurlijke ventilatie met een mechanisch systeem. Dit leverde in de MONICAIR steekproef een betere lucht kwaliteit. Balansventilatiesystemen leverden in de steekproef de beste luchtkwaliteit. Het systeem dient wel correct, ruim genoeg en met geluidisolatie ontworpen te worden, om veel voorkomende problemen met deze systemen te vermijden (zie rapportage MONICAIR deel A).
- Organiseer de (geautomatiseerde) monitoring van installaties, zeker wanneer warmtepompen en vloerverwarming gebruikt worden. De systemen zijn vaak slecht ingeregeld. Thermostaten kunnen ook defect zijn.
- Wanneer er overwogen wordt om warmtepompen en vloerverwarming te gebruiken, is de zoning van het distributiesysteem bepalend voor het aparte kunnen regelen van de temperatuur in verschillende kamers. Dit is misschien duurder in de aanschaf, maar levert uiteindelijk meer comfort en een de mogelijkheid voor een lager energiegebruik.
- Licht de bewoners regelmatig toe, of ga op zoek naar smart technieken om feedback te geven. Misschien is de temperatuur in een woning erg hoog omdat de bewoners niet door hebben dat het thermostaat defect is, en gewend zijn geraakt aan de hoge temperatuur.

## **5.8 Spin-off MONICAIR project deel B**

Het Monicair project deel B heeft geleid tot twee ontwikkelingen:

### Proefschrift Tasos Ioannou

Gedurende het MONICAIR project zijn alle data benodigd voor het proefschrift van promovendus T. Ioannou verzameld. De voorlopige titel van het proefschrift is: 'Analysis of energy related behaviour for a better prediction of heating energy consumption in residential buildings'. De komende maanden wordt de verzamelde data verder geanalyseerd en wordt er gewerkt aan vier journal papers en 2 congres papers. Naar verwachting zal het proefschrift begin 2017 afgerond worden.

### TKI-iDEEGO (TSE) project OPSCHALER

De aanpak gehanteerd in MONICAIR deel B en de verkregen resultaten hebben geleid tot het opzetten van een nieuw project, OPSCHALER (Open Platform voor Smart data in Combinatie met Holistische Analyse Leidend tot Energie Reductie) waarin de ervaring opgedaan met grootschalige detailmonitoring ingezet wordt om patronen te detecteren uit de data van smart meters. Doel is om energie analyses te kunnen maken op het niveau van individuele woningen en op geaggregeerd niveau (postcode 6). Het project is toegekend in december 2015 en gestart in januari 2016.

## 6. DISCUSSIE

In dit rapport zijn de resultaten van een veldstudie gepresenteerd, waarin in-situ monitoring data verzameld werd in woningen. Het doel van het onderzoek was niet om representatieve resultaten te genereren (de bestudeerde steekproef van 32 woningen is daarvoor te klein,) maar om te verkennen in hoeverre een aantal parameters, die tot nu toe nooit of zelden gemeten worden, bijdraagt aan de afwijkingen tussen werkelijk en voorspeld energiegebruik, die eerder is vastgesteld.

Vanwege de beperkingen van meetsysteem, budget en tijd, is ervoor gekozen om niet 60 woningen gedurende 3 maanden te bemeten, maar 32 woningen gedurende 6 maanden. Tijdens deze 6 maanden zijn een paar honderd duizenden datapunten verzameld over binnentemperatuur, vochtigheid, CO<sub>2</sub>-concentratie, gas en elektriciteitsverbruik, real-time comfortbeleving en Rc-waarden van gevels. Zoals verwacht, zijn de resultaten niet representatief, vanwege de kleine omvang van de steekproef en het experimenteel karakter van de metingen. Het is echter wel mogelijk geweest de toegevoegde waarde van deze metingen duidelijk te maken, en het is ook mogelijk geweest om eerste stappen te zetten in de ontwikkeling van analysemethoden voor het gebruik van deze grote datasets. Dit is belangrijk omdat er wordt verwacht dat zulke big-data-achtige sets, afkomstig uit domotica, smart meters en diverse apps, gangbaar zullen worden. Bij de start van het MONICAIR project was echter weinig bekend over de betekenis van dit soort data voor energiesimulatie software en voor een beter begrip van het complete woning-energiesysteem (inclusief woningschil, installaties, woninggebruik, thermisch gedrag en comfort preferenties) en dus voor de correcte schatting van het effect van thermische renovatie.

Ondanks het feit dat het niet gelukt is om binnen de tijdspanne van het MONICAIR project alle verzamelde data te analyseren, en ondanks het feit dat de bevindingen niet altijd sluitend zijn (bijvoorbeeld is er geen duidelijke relatie gevonden tussen gasverbruik en temperatuurprofiel, wat niet betekent dat de relatie er niet is: de steekproef is te klein om representatieve conclusies te trekken), heeft deze studie laten zien wat het potentieel is van zulke meetcampagnes om de efficiency van ventilatie- en verwarmingssystemen te evalueren en bewonersgedrag en –comfort te bepalen. De ontwikkeling van een methode voor de snelle in-situ meting van de Rc-waarden van gevels is ook een resultaat dat onder de aandacht gebracht mag worden.

## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het doel van MONICAIR deel B was om te verkennen in hoeverre de meer accurate bepaling van een aantal parameters, dat tot nu toe bijna nooit gemeten werd, kon helpen bij de ontwikkeling van betere voorspellingsmodellen voor de verwarmingsenergie van woningen. In recente jaren hebben diverse studies laten zien dat deze modellen sterk afwijken van de werkelijkheid en resulteren daardoor in de verkeerde schatting van het energiebesparingspotentieel. Er werd geopperd, op grond van theoretische gevoeligheidsanalyses, dat deze afwijken grotendeels het resultaat zijn van een verkeerde schatting van de Rc-waarden van gevels, van de infiltratie- en ventilatiedebieten, van de verwarmde vloeroppervlakte, leidend tot onjuiste aannames voor gemiddelde binnentemperaturen. Het MONICAIR onderzoek deel B heeft laten zien dat deze parameters inderdaad vaak anders zijn dan aangenomen, en ook een grote spreiding vertonen. Ook is geconstateerd dat er weinig kennis is betreffende de manier waarop comfortbeleving van bewoners hun ventilatie- en verwarmingsgedrag beïnvloedt, en daardoor hun energiegebruik voor verwarming. Ook al konden niet alle data geanalyseerd worden gedurende het project, is duidelijk gebleken dat de experimentele en methodologische instrumenten die in het MONICAIR project ontwikkeld zijn, veelbelovend zijn.

Er wordt daarom aanbevolen om:

- Door te gaan met vergelijkbare meetcampagnes om uiteindelijk over een database te kunnen beschikken met data in relatie tot energiegedrag, comfortbeleving en energiegebruik in woningen. Uit deze database zouden gevalideerde temperatuur- en ventilatieprofielen per type woning en huishouden moeten uitkomen, die gebruikt kunnen worden voor de voorspelling van energiegebruik en energiebesparing.
- De gebruikte meet-set uit te breiden met metingen van stralingstemperatuur en luchtsnelheden, die beide zeer relevant zijn voor comfortbeleving. De gebruikte comfort-dial, ontwikkeld in het SuslabNWE project, heeft zijn meerwaarde laten zien. Het behoeft echter nog veel verbeteringen. Met de toename van het aantal smart-meters, moet ook de continue meting van gas en elektriciteitsgebruik makkelijker en goedkoper worden.
- De comforttheorie (zowel PMV als adaptieve methode) verder uit te werken en te verfijnen op basis van real-time in-situ data. Tot nu toe is de comforttheorie bijna uitsluitend in klimaatkamers getest, en de resultaten uit MONICAIR laten zien dat comfortbeleving wellicht anders is in een woning dan in een klimaatkamer.

## 8. PROJECTVERLOOP: PROBLEMEN EN OPLOSSINGEN

De belangrijkste problemen die zich hebben voorgedaan tijdens het MONICAIR project deel B worden hieronder toegelicht.

### Beschikbaarheid van de meetapparatuur

De ontwikkeling van de data-acquisitie-set heeft veel meer tijd en energie gekost dan verwacht. Het oorspronkelijke idee was de meetapparatuur te combineren in één data-acquisitie set, communicerend naar één database. Dit bleek echter niet haalbaar, vanwege de vele verschillende communicatie protocollen die gangbaar zijn bij draadloze sensoren. Na een paar maanden bleek dat het niet haalbaar zou zijn om alles onder één noemer te brengen. Er is uiteindelijk gekozen voor een pragmatische oplossing: de Honeywell en Eltaco sensoren (ieder met hun eigen database), die ook gebruikt zijn in deel A van het MONICAIR project, zijn ook gebruik in deel B. Voor de gas- en elektriciteitsmetingen is gebruik gemaakt van de Youless, met een aparte database. Betreffende de comfort-dial moest ook een aparte communicatie protocol en database opgezet worden. Verder heeft de ontwikkeling van de comfort-dial (binnen het SUSlabNWE project) meer tijd gekost dan gepland, waardoor de meetcampagne uitgesteld moest worden. Daardoor viel de mogelijkheid om metingen uit te voeren gedurende de winter 2013-2014 weg. In het projectvoorstel werd geopperd dat ook luchtsnelheden, lichtinval, stralingstemperaturen en openen van gemeten zou kunnen worden. Daarvoor waren wij echter afhankelijk van de resultaten van het SUSlabNWE project. In de lente 2013 is geconstateerd dat dit niet haalbaar was in de tijd die resteerde (de metingen moesten plaats vinden in de winter 2014-2015, om de analyses te kunnen afronden in 2015). Er is dus ervoor gekozen om de meetcampagne te laten doorgaan met een kleinere meet-set. Voor een deel hebben wij de data die niet gemeten kon worden opvangen door een uitgebreide vragenlijst en observaties in de woningen.

### Opzet van de meetcampagne

De meetcampagne, zoals wij die voor ogen hadden, en zoals die opgezet is in de zomer van 2013, voorzag in 4 meetperiodes van 3 maanden, waarin iedere keer 60 woningen gemeten konden worden. Door de beperkingen van de apparatuur en het beschikbaar budget bleek echter dat 32 woningen per keer het maximum haalbaar was. Vervolgens verviel, door de hierboven beschreven problemen, de mogelijkheid om te meten in de winter 2013-2014, waardoor alleen de winter 2014-2015 overbleef. Tijdens de eerste meetcampagne (start in oktober 2014) bleek al snel dat, door het experimenteel karakter van de meetapparatuur (zoals ook deels toegelicht in het eindrapportage MONICAIR deel A), waardoor er soms voor langere periode geen data opgeslagen werd, en door de bescheiden middelen voor het inhuren van een technicus (zie volgende paragraaf), het beter zou zijn om in dezelfde woningen 6 maanden lang te blijven meten i.p.v. de meet-set te verplaatsen naar andere woningen. Zo kon een beter samenhangend set aan data verkregen worden. Er is dus uiteindelijk 6 maanden lang gemeten in 32 woningen.

### Beschikbaarheid technicus

In de oorspronkelijke begroting van de TU Delft was geen rekening gehouden met het inhuren van een extern bureau voor technische hulp bij de monitoring van woningen. De bedoeling was dat de technische hulp binnen de TU Delft gevonden zou worden. Er bleek echter in de zomer 2014 dat dat niet mogelijk zou zijn i.v.m. de vergaande reorganisatie van de dienst Applied Labs. Om de meetcampagne toch door te laten gaan is er dus voor gekozen om een extern bureau in te huren om te helpen bij de installatie/de-installatie en beheer (helpdesk) van de meetapparatuur.

### Tijdbesteding data-analyse

Omdat er nog geen methodes beschikbaar waren voor de data-analyse van zulke grote hoeveelheden data, moesten die ontwikkeld worden. Dit heeft veel meer tijd gekost dan begroot, waardoor het niet gelukt is om binnen de tijdspanne van het project alle beschikbare data te analyseren. Er is dus gekozen om te focussen op de onderdelen die belangrijk waren voor de deelnemers (leveranciers van ventilatieproducten) en om verder de analyses te beperken tot een proof-of-concept. Dit heeft toch geresulteerd in een (Engelstalig) eindrapport van meer dan 150 pagina's, waarin belangrijke inzichten zijn verzameld. Verdere analyses op basis van de gemeten data zullen plaats vinden tot 2017, in het kader van het proefschrift van T. Ioannou.

Uiteindelijk heeft het project ruim opgeleverd wat wij van verwachtte, zij het ten kosten van een overschrijding van het budget, welke opgevangen werd door de TU Delft.

## 9. WIJZIGINGEN T.O.V. PROJECTPLAN

### Verschuiving einddatum

De officiële beschikking kwam pas in juni 2013. De oorspronkelijke planning (einde van het project in december 2014) kon dan op geen enkele wijze gehaald worden. Er is toen een verlenging van het project tot 31 december 2015 aangevraagd en gekregen.

### Inhuur extern bureau

In de oorspronkelijke begroting van de TU Delft was geen rekening gehouden met het inhuren van een extern bureau voor technische hulp bij de monitoring van woningen. De bedoeling was dat de technische hulp binnen de TU Delft gevonden zou worden. Er bleek echter in de zomer 2014 dat dat niet mogelijk zou zijn i.v.m. de vergaande reorganisatie van de dienst Applied-Labs. Een zoektocht bij andere diensten van de TU Delft leverde ook niets: er kon geen personeel vrij gemaakt worden. Om de meetcampagne toch door te kunnen laten gaan is er dus voor gekozen om een extern bureau in te huren om te helpen bij de installatie/de-installatie en beheer (helpdesk) van de meetapparatuur. Daarvoor is toestemming gevraagd aan en gekregen van RVO (brief 12-03-2015, kenmerk TKIGB01003). Daarvoor heeft een verschuiving van de begroting plaats gevonden van uren naar uitbesteding.

## **10. VERSCHILLEN BEGROTING EN WERKELIJKE KOSTEN**

De werkelijke kosten zijn hoger uitgevallen dan begroot, zie ook uitleg in hoofdstukken 8 en 9. De overschrijding heeft voornamelijk plaats gevonden in WP1 en WP2, waar meer uren zijn gemaakt dan begroot, om het project tot een goed einde te leiden. Bovendien is van de urenbegroting een aantal uren weggehaald en vervangen door kosten voor de inhuur van een extern bureau voor de plaatsing van de meetapparatuur in de woningen. Dit heeft de meetcampagne mogelijk gemaakt. De overschrijding is volledig opgevangen door de TU Delft.



## 11. KENNISVERSPREIDING, PUBLICATIES EN PR

### Websites

- Website Ecommon, gericht op de bewoners die deelgenomen hebben aan het MONICAIR project: [www.otb.tudelft.nl/ecommon](http://www.otb.tudelft.nl/ecommon)

### Presentaties

- Lezing voor startbijeenkomst OPSCHALER project, L. Itard, 26 januari 2016
- Lezing voor EFL (European Federation of Housing Associations), L. Itard, 9 september 2015, Essen, Duitsland
- Lezing bij USERTEC (Aalborg University, PhD school), T. Ioannou, 29 september 2015, Kopenhagen, Denmark
- Lezing bij USERTEC (Aalborg University, PhD school), L. Itard, 30 september 2015, Kopenhagen, Denmark
- Lezing bij Université de Genève, L. Itard, 15 oktober 2015, Genève, Zwitserland
- 3 presentaties over resultaten MONICAIR bij RAAK-PRO Installaties2020 project ([www.installaties2020.weebly.com](http://www.installaties2020.weebly.com)), T. Ioannou (2013, 2014, 2015)
- 3 presentaties over resultaten MONICAIR bij SuslabNWE project ([www.suslabnwe.eu](http://www.suslabnwe.eu)), T. Ioannou, L. Itard (2013, 2014, 2015)
- Lezing tijdens Hackathon, Faculteit Industrieel Ontwerp, TU Delft, L. Itard, 18 februari 2014
- Lezing tijdens SuslabNWE event, , Faculteit Industrieel Ontwerp, TU Delft, L. Itard, 5 november 2014

### Rapporten

- Eindrapportage MONICAIR Deel B, Monitoringonderzoek energieverbruik woningen en ontwikkeling verbeterde berekeningsmodellen voor de bepaling van het energieverbruik, maart 2016, L. Itard, [www.monicaair.nl](http://www.monicaair.nl), 23p.
- Final report: MONICAIR: Development of improved models for the accurate prediction of energy consumption in dwellings, L. Itard, T. Ioannou, A. Rasooli (TU Delft); W. Kornaat (TNO), 23 maart 2016, [www.monicaair.nl](http://www.monicaair.nl), 160p.
- Rasooli A., 2014, *Computational and Experimental Investigation of wall's thermal transmittance in existing buildings: Introduction of a new method for the in situ determination of wall's thermal resistance*, master thesis, OTB report , Delft University of Technology, December 2014

### Wetenschappelijke publicaties

- Ioannou A., Itard L., Visscher H., 2015, *Energy Performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy*, Energy and Buildings 92(2015) 216-233
- Rasooli A., Itard L., Infante Ferreira C. 2016, *A Response Factor-Based Method for the Rapid In-Situ Determination of Wall's Thermal Resistance in Existing Buildings*, Energy & Buildings, accepted, online available 7 march 2016
- Rasooli A., Itard L., Infante Ferreira C. 2016, *Introduction to an in-situ method for the measurement of the wall's thermal resistance in existing buildings*, CLIMA2106, accepted, proceedings

CLIMA2016 conferentie, 22-25 may 2016

- Ioannou A., Itard L., Kornaat W., 2016, *Occupant behaviour related to energy use in the residential sector: results from the Ecommon monitoring campaign*, CLIMA2106, accepted, proceedings CLIMA2016 conferentie, 22-25 may 2016