

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2020 R10246

Openbaar eindrapport MEED - Multifunctionele Energie Efficiënte Douchecabine

Datum 27 februari 2020

Auteur(s) ir. P. Jacobs
ing. O. Vijlbrief
dr. ir. R. Kemp

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 23 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever

TKI Urban Energy
Projectnr. TEID215055

Penvoerder: TNO

Partners: Beterbad Hametech Seinen

Projectontwikkeling WestCord Hotels

Project periode: 1 december 2015 - 31 december 2019

Projectnaam MEED

Projectnummer 060.09551

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In moderne goed geïsoleerde woningen is warmtapwater de grootste energieverbruiker. Ruimteverwarming is door betere isolatie, luchtdicht bouwen en ventilatie warmteterugwinning sterk teruggebracht. Om kosteneffectief tot energie-neutrale en aardgasloze woningen te komen moet ook het warmtapwater worden aangepakt. Hierbij ligt de inzet van douchewarmtewisselaars voor de hand. Echter de douchewarmtewisselaars die momenteel op de markt zijn zorgen ondanks de geclaimde temperatuurrendementen van ruim 60% in de praktijk voor een veel lager systeemrendement. Met name omdat deze bij renovatie niet optimaal worden aangesloten en ook veel verdampingsverlies en energieverliezen optreden door opwarming van wanden en vloeren. Daarnaast zijn ze, omdat ze op basis van zwaartekracht werken, ook niet overal inzetbaar. Denk hierbij aan een appartement waarbij het niet mogelijk is om de bijna twee meter lange rechtopstaande warmtewisselaar onder de douche te monteren.

In dit project is de Multifunctionele Energie Efficiënte Douchecabine (MEED) ontwikkeld en in het WestCord Fashion hotel in Amsterdam en een eengezinswoning van Seinen beproefd. Het temperatuurrendement van de speciaal ontwikkelde warmtewisselaar bedroeg onder laboratorium condities ruim 86%. Bij de praktijkbeproeving zijn temperatuurrendementen tot 80% gemeten. Door de isolerende wanden en uitvoering als gesloten cabine bedroeg het gemiddelde systeemrendement gedurende een 8 minuten durende douche 69%. In de praktijkmonitoring zijn afhankelijk van de duur van een douche systeemrendementen gemeten tussen 60 en 70%. Aangezien de pilots in de winter zijn uitgevoerd was het drinkwater relatief koud: 8 tot 10 °C. Hierdoor is de MEED onder 'worst case' condities getest. Uit enquêtes bleek dat de douche als uitermate comfortabel werd ervaren.

Afgelopen tijd zijn drie vervolprojecten opgestart. Voor toepassing bij woningbouwcorporaties is op 1 januari 2019 het lijn 0 project RenoDouche gestart. In dit project wordt samen met drie woningbouwcorporaties de MEED douchecabine doorontwikkeld voor het aardgasloos maken van huurwoningen.

Vervolgens zijn op 1 januari 2020 het DEI+ project "Aardgasloos levensloopbestendig en vitaal douchen" en in het Consortium Integrale Energietransitie Bestaande Bouw het project "Opschaling en industrialisatie RenoDouche" gestart. Dit eerste project is gericht op het levensloopbestendig maken van particuliere woningen door het bad te vervangen door een veilige MEED inlopdouche. Het tweede project is gericht op kostprijverlaging en opschaling van de MEED.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Samenvatting | 2 |
| 1 | Inleiding | 4 |
| 1.1 | Aanleiding en probleemstelling..... | 4 |
| 1.2 | Doelstelling | 5 |
| 1.3 | Werkwijze | 6 |
| 2 | Stand der techniek en PvE | 7 |
| 2.1 | Stand der techniek..... | 7 |
| 2.2 | Programma van Eisen | 8 |
| 3 | Werking MEED | 9 |
| 3.1 | Procesbeschrijving..... | 9 |
| 3.2 | Bepaling rendement warmtewisselaar en systeem rendement..... | 10 |
| 4 | Praktijkbeproeving | 13 |
| 4.1 | Bouw douchecabines | 13 |
| 4.2 | Seinen projectontwikkeling | 13 |
| 4.3 | WestCord Fashion hotel | 17 |
| 5 | Conclusies en mogelijkheden voor spin off | 20 |
| 5.1 | Conclusies | 20 |
| 5.2 | Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten | 20 |
| 6 | Uitvoering | 21 |
| 6.1 | Technische en organisatorische problemen tijdens projectuitvoering..... | 21 |
| 6.2 | PR en wijze van kennisverspreiding..... | 21 |
| 7 | Ondertekening | 22 |
| | Bijlage(n) | |
| | A Gebruikers enquête | |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

In moderne goed geïsoleerde woningen is warmtapwater de grootste energieverbruiker. Ruimteverwarming is door betere isolatie, luchtdicht bouwen en warmteterugwinning sterk teruggebracht. Echter warmtapwatergebruik kan niet worden teruggebracht zonder comfortverlies. Om kosteneffectief tot energie neutrale woningen te komen moet ook het warmtapwater worden aangepakt. Warmtapwater kan duurzaam worden opgewekt met zonnecollectoren of warmtepompen die met groene stroom zijn gevoed. Echter deze systemen zijn relatief duur en vereisen dat energie wordt opgeslagen in warmwatertanks. Dit kost ruimte en zorgt ook voor stilstandswarmteverliezen. Hierdoor ligt de inzet van douchewarmtewisselaars voor de hand. Een voordeel van douchewarmtewisselaars is dat het de benodigde buffervolumes beperkt. Echter de douchewarmtewisselaars die momenteel op de markt zijn zorgen ondanks de geclaimde temperatuurrendementen van ruim 60% in sommige gevallen voor slechts een gasbesparing van circa 20%. Daarnaast zijn ze, omdat ze op basis van zwaartekracht werken, ook niet overal inzetbaar. Denk hierbij aan een appartement waarbij het niet mogelijk is om de bijna twee meter lange rechtopstaande warmtewisselaar onder de douche te monteren. Bij het ontwerp van bijvoorbeeld het Jakarta hotel zorgde dit voor een ingewikkelde lay-out waarbij onder elke badkamer de warmtewisselaar in een koof in de verdieping eronder is gemonteerd.

Om de aanleiding en de probleemstelling van het project goed te beschrijven wordt hier nader ingegaan op de problemen met de bestaande douchewarmtewisselaars:

- **Gecompliceerde aansluitmethode:** voor een maximaal effect dienen zowel de koudwaterkraan van de douche als de CV ketel/warmtepomp op de douchewarmtewisselaar te worden aangesloten. Alleen in dat geval zijn de waterstromen in de warmtewisselaar met elkaar in balans. Vaak zorgt dit voor langere leidinglengtes. Daarom blijkt in de praktijk dat in veel gevallen alleen de koudwaterkraan van de douche wordt aangesloten, dit zorgt voor 15% rendementsverlaging.
- **Slecht toegankelijk voor onderhoud:** het temperatuurrendement geldt voor een schone warmtewisselaar. Vervuiling kan het rendement met 25% verlagen. Sommige leveranciers geven daarom aan dat de warmtewisselaars jaarlijks dienen te worden schoongemaakt. In veel gevallen zijn de warmtewisselaars niet of slecht bereikbaar. Daarnaast zijn er slechts weinig gebruikers die de warmtewisselaar laten onderhouden of zelf een 2 m lange rager in huis hebben. Omdat de conditie van de warmtewisselaar niet eenvoudig is te inspecteren, is ook niet duidelijk of reiniging noodzakelijk is.
- **Inzetbaarheid:** omdat ze op basis van zwaartekracht werken is het in een appartement niet mogelijk om de bijna twee meter lange rechtopstaande warmtewisselaar onder de douche te monteren. Dit probleem is deels opgelost met de douchebakwarmtewisselaar, welke echter een lager temperatuurrendement heeft van maximaal 45%. Voordeel van deze uitvoering is dat deze eenvoudig door de gebruiker te inspecteren en te reinigen is.

- **Leidingverliezen:** Bij aanvang van iedere douchebuurt moet eerst de warmtewisselaar in de CV ketel opwarmen, daarnaast moeten de leidingen inclusief inhoud naar het tappunt worden opgewarmd. Ook de douche WTW zelf moet opwarmen. Aan het eind van de douchebeurt is alles op temperatuur gebracht echter deze warmte wordt niet bij het douchen gebruikt en wordt aan de woning afgegeven. Met name bij korte douches en met een laag tapdebit zal dit een relatief groot effect hebben. In de EPC berekening wordt voor de leidingverliezen gecorrigeerd en bestaat ook de mogelijkheid om de leidinglengte en diameter aan te passen. Bijvoorbeeld: een douchepijp WTW met een temperatuurrendement van 65,3% resulteert in combinatie met een CW4 klasse in een procentuele besparing op tapwater van 35,1%¹.
- **Verdampingsverliezen:** Onderzoek van TNO² en de Universiteit van Liverpool³ toont aan dat de temperatuur afname tussen de douchekop en de inlaat van de douche WTW fors groter is dan de 3 K die in de NEN 7120 norm wordt verondersteld. Er treedt gemiddeld een afkoeling van 6 K op. Dit zijn enerzijds verdampingsverliezen, anderzijds warmteverliezen naar tegels/wanden en de betonvloer. Begin 2015 is door TNO aan de betreffende normcommissie een verzoek ingediend om dit te corrigeren. De verdampingsverliezen hebben ook andere ongewenste effecten. De damp slaat elders in de badkamer neer waardoor schimmel kan ontstaan. Om dit te voorkomen moet de badkamer extra worden geventileerd wat in het stookseizoen tot hogere stookkosten leidt.

In 2014 is door TNO de energiebesparing van douchewarmtewisselaars in de praktijk onderzocht³. De gasbesparing van de douchepijpwarmtewisselaar met een temperatuurrendement van 62,2% bedroeg slechts 20%. Het verschil kan met bovengenoemde factoren worden verklaard. Hoewel het onderzoek qua schaalgrootte beperkt van omvang was geeft dit duidelijk aan dat er nog een grote besparingspotentie beschikbaar is wat betreft douchewarmteterugwinning.

1.2 Doelstelling

Om daadwerkelijk een slag te maken wat betreft energiebesparing bij douchen moet de stap worden gemaakt van losse componenten naar een multifunctionele cabine die vijf functies combineert:

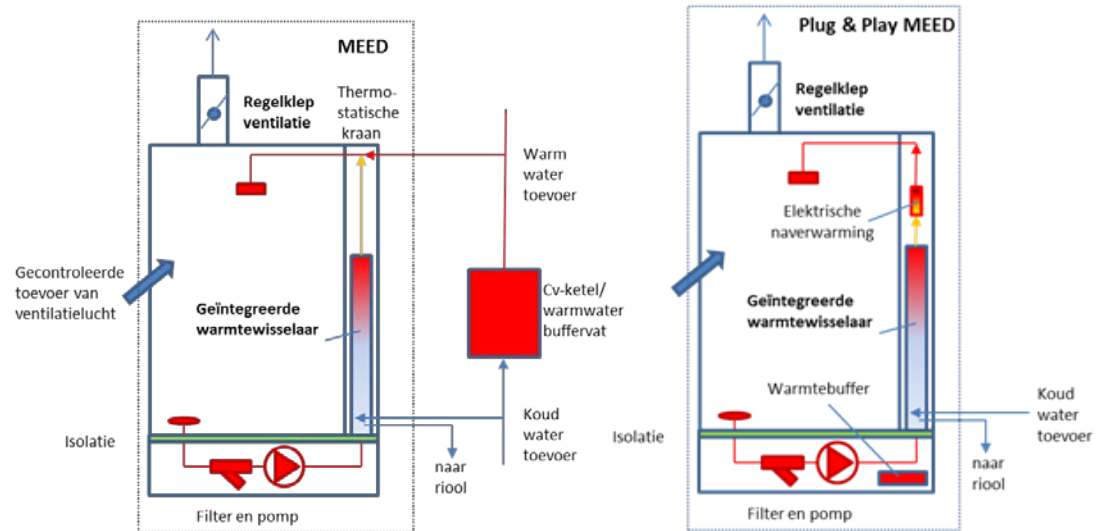
- Gesloten cabine met gecontroleerde **ventilatie** waardoor verdampingsverliezen worden geminimaliseerd;
- **Isolatie en minimale warmtecapaciteit** waardoor energieverlies ten gevolge van opwarming van wanden en vloeren wordt voorkomen.
- In de cabinewand is een met een **pomp gevoede warmtewisselaar** geïntegreerd die door het grote beschikbare oppervlak een temperatuurrendement > 85% behaalt en behoudt omdat de warmtewisselaar eenvoudig door de gebruiker te inspecteren en schoon te maken is.
- **Elektrische naverwarming** van het voorverwarmde douchewater, door deze Plug en Play uitvoering van de cabine is alleen een koudwateraansluiting en een afvoer noodzakelijk.
- **Warmtebuffer**, deze buffer beperkt de benodigde aanvangsstromen tot maximaal 16 A.

¹ <http://www.hei-tech.nl/pdf/ToelichtingEPCVerlaging.pdf>

² TNO rapport 2015 R10118, Praktijkmetingen douche WTW.

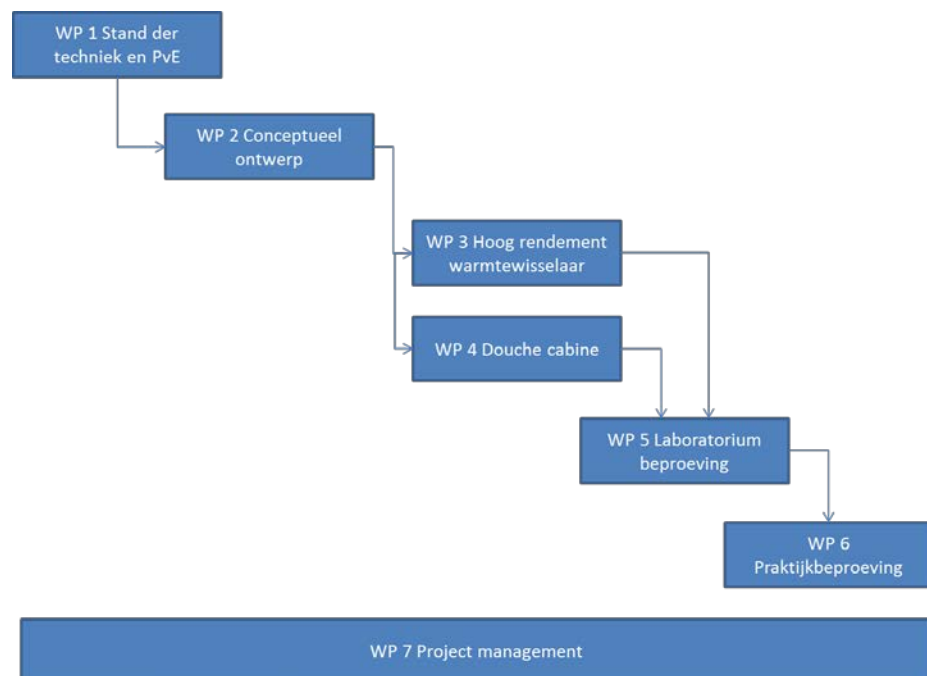
³ <http://www.allianceforwaterefficiency.org/assets/0/28/142/48/88/C86DEB33-2463-4795-BE5E-A66EA64CAB3E.pdf>

Door de cabine prefab te maken worden de productie- en installatiekosten sterk vermindert. Dit maakt bij renovatie plaatsing in 1 dag mogelijk, en geeft dus veel minder overlast voor bewoners. Figuur 1 toont twee verschillende uitvoeringen van de Multifunctionele Energie Efficiënte Douchecabine.



Figuur 1 schematische dwarsdoorsnede van de Multifunctionele Energie Efficiënte Douchecabine (MEED), links aangesloten op een externe warmtetoevoer, rechts in Plug en Play uitvoering.

1.3 Werkwijze



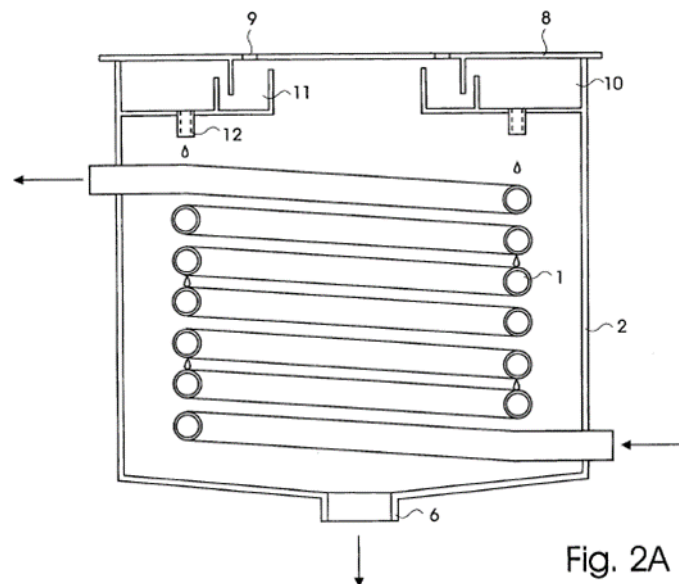
Figuur 2 schematische weergave van de werkpakketten. WP3 en WP4 worden parallel uitgevoerd.

2 Stand der techniek en PvE

2.1 Stand der techniek

Octrooi literatuur

Literatuur en octrooionderzoek naar douchewarmteterugwinning leverde een interessant concept gebaseerd op een vervallen octrooiaanvraag voor een spiraalvormige warmtewisselaar, zie Figuur 3. Deze warmtewisselaar was oorspronkelijk ontworpen voor de toepassing onder wastafels. De in het octrooi genoemde afmetingen bedroegen 10 cm in diameter met een lengte van ongeveer 4 m. Het op te warmen drinkwater stroomt aan de binnenzijde van de koperen buis en het douchewater aan de buitenzijde. Groot voordeel van dit ontwerp is een bijna perfecte tegenstroom en een zeer hoge turbulentie aan de buitenkant waardoor de warmteoverdracht coëfficiënt hoog is.



Figuur 3 spiraalvormige warmtewisselaar beschreven in NL octrooi 1020068, Gertjan Jelle de Wit, 2002 (vervallen).

Dit type warmtewisselaar wordt in 2014 ook gebruikt in een octrooiaanvraag van Novothermic (WO 2014/127488 A1) voor warmteterugwinning in vaatwassers voor grootkeukens.

KIWA

Voor het indirect opwarmen van drinkwater heeft KIWA een Beoordelingsrichtlijn opgesteld de BRL-K656/03 d.d. 1 februari 2012. Hierin staan onder andere eisen en bepalingsmethoden vermeld wat betreft dubbelwandige scheiding en lekdetectie voor warmtewisselaars. Op 12 april 2016 zijn deze eisen bij KIWA in Rijswijk met TNO/BeterBad/Hametech besproken. KIWA gaf destijds aan dat het wel of niet noodzakelijk zijn van een dubbelwandige warmtewisselaar afhankelijk is van de vloeistofklasse indeling van het douchewater. In geval van vloeistofklasse 3 volstaat

een enkelwandige warmtewisselaar. In geval van vloeistofklasse 4 en 5 is een dubbelwandige warmtewisselaar vereist voor het verkrijgen van een KIWA certificaat.

In het Waterwerkblad WB 3.8 staan eisen vermeld voor de aansluiting en beveiliging van (gevaarlijke) toestellen. Deze geven invulling aan de eisen van artikel 3.8 van NEN 1006 (2015). De belangrijkste eis is dat het toestel dient te zijn voorzien van een controleerbare terugstroombeveiliging. Ook dient tussen de gebouwriolering en het toestel een zichtbaar vrije uitloop (airbrake) te zijn van minimaal 20 mm.

Legionella preventie

Douche-WTW: voorkomen dat in rust de temperatuur van het leidingwater hoger dan 25 °C blijft. Concreet houdt dit in dat de WTW niet in een schacht, koker of meterkast met warme leiding mag worden geplaatst tenzij door berekeningen is aangetoond dat de temperatuur hierbij niet boven 25 °C komt.

Later is tijdens de uitvoering van het project de NEN 1006 aangepast met een aanvullende eis dat het water in de warmtewisselaar binnen 45 minuten afgekoeld dient te zijn onder de 25 °C.

2.2 Programma van Eisen

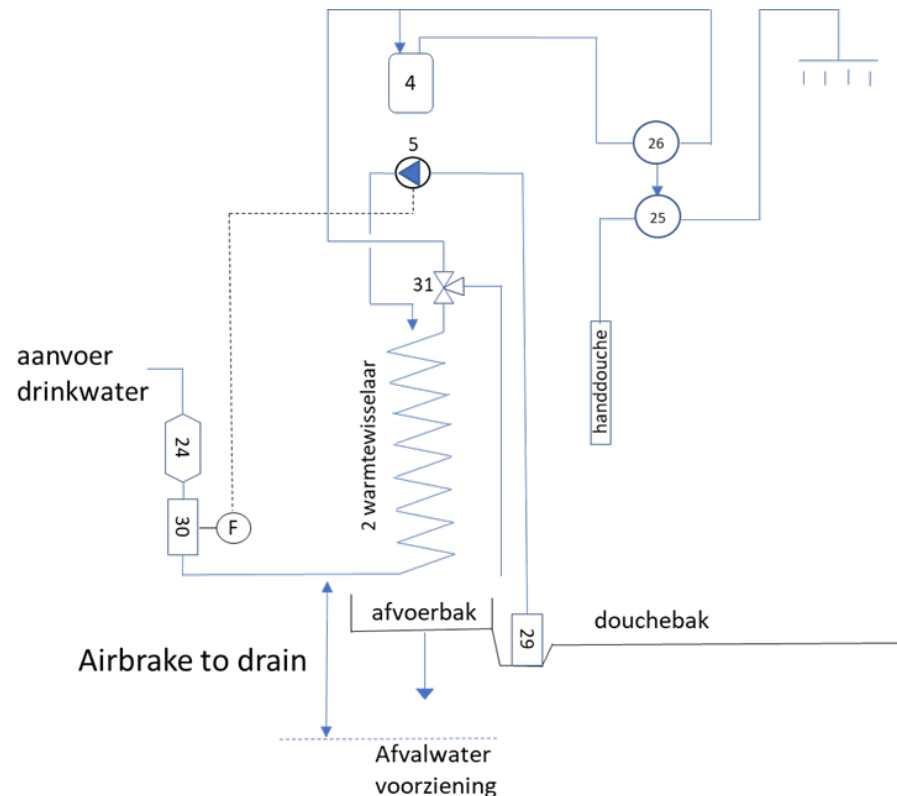
Samen met de eindgebruikers WestCord hotels en Seinen projectontwikkeling is onderstaand programma van eisen opgesteld.

| | Plug & Play MEED | MEED |
|---|--|--|
| Toepassing | All electric woningen | Woningen, hotels |
| Kosten ex. BTW | ± 3500 | ± 3000 |
| Componenten | WTW, pomp, close in boiler, cabine inclusief douche kop, regeling | WTW, pomp, console inclusief douche kop, douchebak, regeling |
| Voeding | Elektrisch (Plug & play) | Circulatiesysteem 65 °C |
| Maximale drukval warmtewisselaar | 3 bar | 3 bar |
| CW [# liter 40 °C /minuut] | 3 (10 liter/min.) | Green key (< 9 liter/min) ² |
| Cabine bovenzijde | Gesloten, met afvoer rooster | open |
| Schoonmaak warmtewisselaar water filter | 1 x per 3 maanden 1 x week | 1 x per 3 maanden 1 x per week |
| Elektrisch verbruik | max. 3600 W | Max. ca. 100 W |
| Cabine | Glas aan twee zijden, led verlichting in plafond, minimaal aantal knoppen | Console/zuil met douchebak, minimaal aantal knoppen |
| Afmetingen | 90 x 90 x 200 cm Warmtewisselaar - max. 20cm diep Instap - max. 10cm hoog | 50 x 15 x 200 cm Instap - max 10cm |
| KIWA | Veiligheidscertificaat | Veiligheidscertificaat |

3 Werking MEED

3.1 Procesbeschrijving

De werking van de MEED wordt toegelicht aan de hand van onderstaande schematische figuur. In navolgende procesbeschrijving zijn de componenten in de tekst vet gedrukt.



Figuur 4 schematische opzet MEED, de nummers verwijzen naar de tekst.

Het drinkwater komt binnen via **inlaatcombinatie 24**. Vervolgens wordt met **flowswitch 30** gedetecteerd dat het douchen is gestart, op basis hiervan wordt **pomp 5** aangestuurd. Het drinkwater wordt opgewarmd in **warmtewisselaar 2**. Vervolgens wordt afhankelijk van de stand van de thermostaatkraan het water gesplitst over de warm- en koudwaterpoort van **thermostaatkraan 26**. Het drinkwater wat door de warmwaterpoort gaat wordt eerst nog tot 70 °C opgewarmd in **boiler 4**. Deze boiler bevat 2 **verwarmingselementen 28** van elk 3 kW. Deze verwarmingselementen worden op basis van temperatuursensoren in de boiler aangestuurd. Afhankelijk van de gewenste voorkeur kan door verstelling van **omstelkraan 25** met de handdouche of met de hoofddouche worden gedoucht.

Het douchewater wordt in de douchegoot in de douchebak verzameld en verontreinigingen zoals haren via **filter 29** door **pomp 5** omhoog gepompt naar de

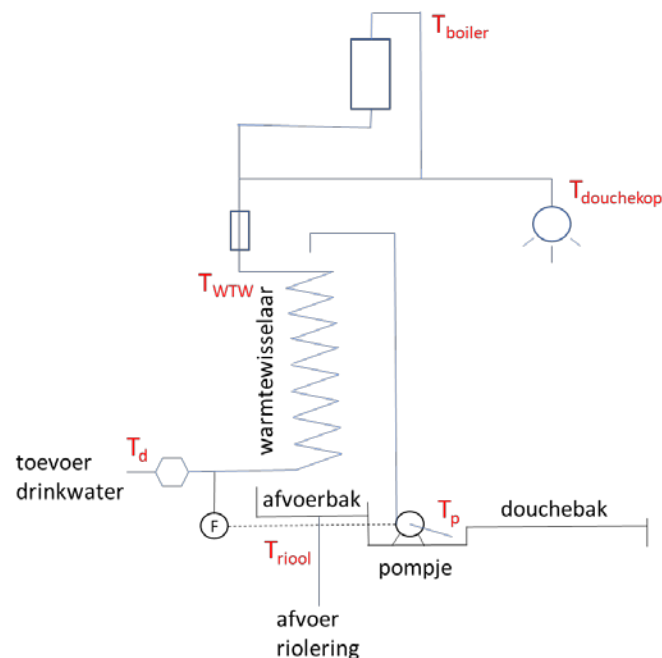
bovenzijde van warmtewisselaar 2. Het douchewater loopt aan de buitenzijde van de warmtewisselaar omlaag, geeft zijn warmte af aan het drinkwater en wordt in de afvoerbak opgevangen en naar een afvalwatervoorziening (riolering) afgevoerd. Zodra het douchen wordt gestopt wordt dit door **flowswitch 30** gedetecteerd en wordt **pomp 5** na enkele seconden uitgeschakeld. Deze vertraging is instelbaar en hiermee wordt bereikt dat de douchegoot wordt leeggepompt. In NEN 1006 wordt voorgeschreven dat binnen 45 minuten het water in de warmtewisselaar tot onder 25 °C dient te zijn afgekoeld. Om dit zeker te stellen wordt het water in de warmtewisselaar na het douchen doorspoeld met drinkwater. Dit vindt plaats door het openen van **spoelklep 31**. Dit drinkwater wordt eerst gebruikt om de douchegoot na te spoelen. Vervolgens wordt het spoelwater wordt door **pomp 5** weggepompt en hiermee wordt ook de buitenzijde van **warmtewisselaar 2** nagespoeld. Deze spoelstap wordt elektronisch aangestuurd.

3.2 Bepaling rendement warmtewisselaar en systeemrendement

Het WTW rendement en het systeemrendement zijn met de volgende formules bepaald, de positie van de temperatuursensoren is schematisch in Figuur 5 aangegeven:

Vergelijking 1
$$WTW \text{ rendement} = \frac{T_{WTW} - T_d}{T_p - T_d} \times 100\%$$

Vergelijking 2
$$\text{stelsysteem rendement} = \frac{T_{WTW} - T_d}{T_{douchekop} - T_d} \times 100\%$$



Figuur 5 schematische testopzet met de positie van de temperatuur sensoren in rood.

Op 28 november 2019 is bij Beter Bad een indicatieve test uitgevoerd waarbij zoveel mogelijk de omstandigheden conform NEN 7120, Bijlage B zijn aangehouden:

- Tapwater inlaattemperatuur $10\text{ °C} \pm 1\text{ K}$: $9,7\text{ °C}$
- Douchewatertemperatuur $40\text{ °C} \pm 1\text{ K}$: $37,7\text{ °C}$
- Omgevingstemperatuur opstelruimte $20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$: 19 °C

Het tapvolume is 9 liter/min, dit is CW-klasse 3. Hierbij hoort een tapvolume van 73 liter en een tapduur van 7 minuten en 56 seconden.

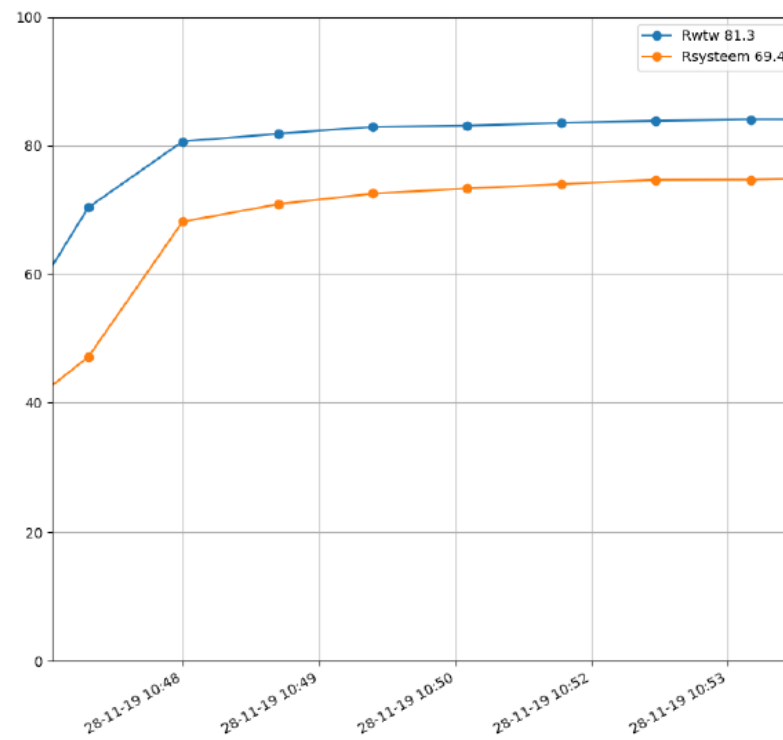
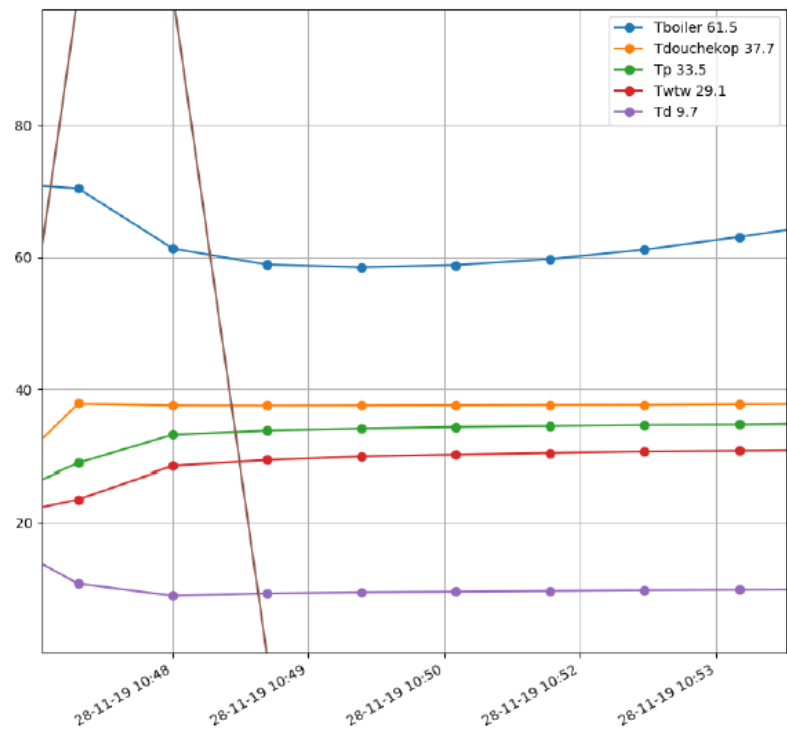
Volgens bijlage B van NEN 7120 dient de WTW unit voorafgaand aan de meting op de temperatuur van het koude water te worden gebracht. Dit is een relevante uitgangsconditie voor pijp-in-pijp-warmtewisselaars die regelmatig worden doorstroomd omdat ergens in de woning warmwater wordt getapt. Bijvoorbeeld in de keuken of in de badkamer. Voor de MEED geldt dit niet. Deze wisselaar wordt alleen doorstroomd als er wordt gedoucht. Hierbij is uitgegaan dat de temperatuur gelijk is aan de omgeving.

In bijlage B van NEN 7120 wordt uitgegaan van een sampletijd van 1 seconde. Aangezien de meting is uitgevoerd met monitoring op afstand was de kleinste sample tijd 1 minuut.

Uit Figuur 6 volgt een 8 minuten gemiddeld WTW rendement van 81,3%. Het systeemrendement conform vergelijking 2 bedraagt 8 minuten gemiddeld 69,4%.

Bij de MEED is er geen sprake van stilstandsverliezen na het tappen. Wel is er sprake van stilstandsverliezen van de boiler, deze worden op 20 W geschat.

De EPC besparing hangt af van de woning en de andere installaties. Een 1^e inschatting voor de praktijk is een EPC besparing van 0,05 tot 0,10.

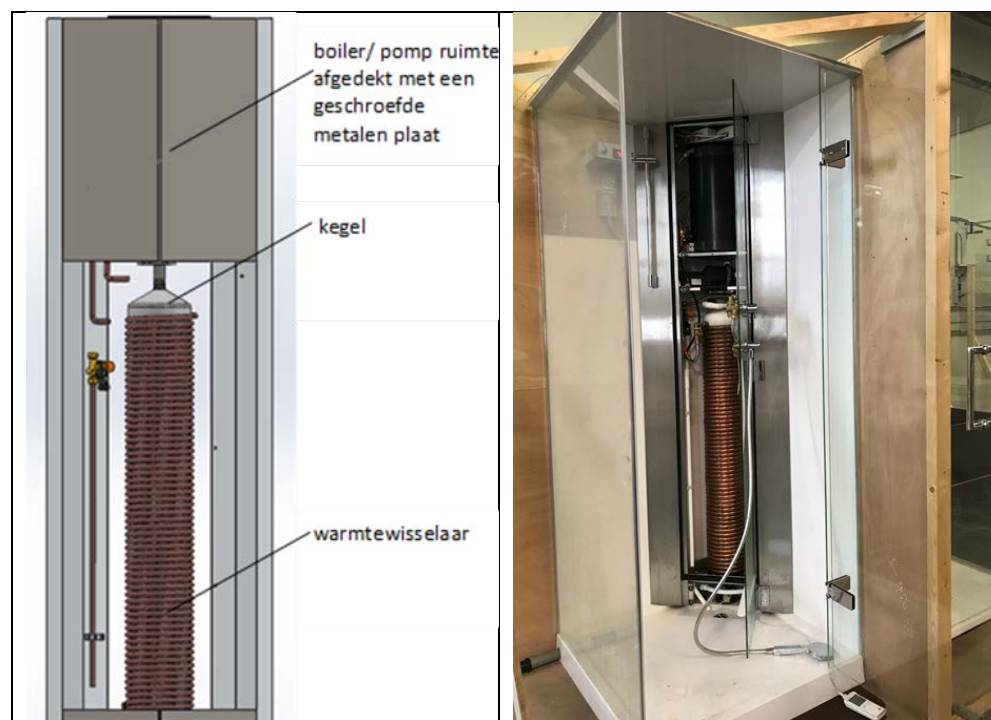


Figuur 6 28 november 2019: 8 minuten test MEED bij een waterdebiet van 9 liter per minuut, de getallen zijn 8 minuten gemiddelde waarden.

4 Praktijkbeproeving

4.1 Bouw douchecabines

Door BeterBad en Hametech zijn vier plug en play douchecabines voor de praktijktest gebouwd, zie Figuur 7. In de installatiekolom van elke cabine waren 5 temperatuursensoren ingebouwd voor monitoring.



Figuur 7 douchecabine voor praktijkproeven met compartimentering waarbij de drie compartimenten met elektrische delen met een geschroefde metalen plaat zijn afgedekt, links 3D tekening en rechts realisatie.

4.2 Seinen projectontwikkeling

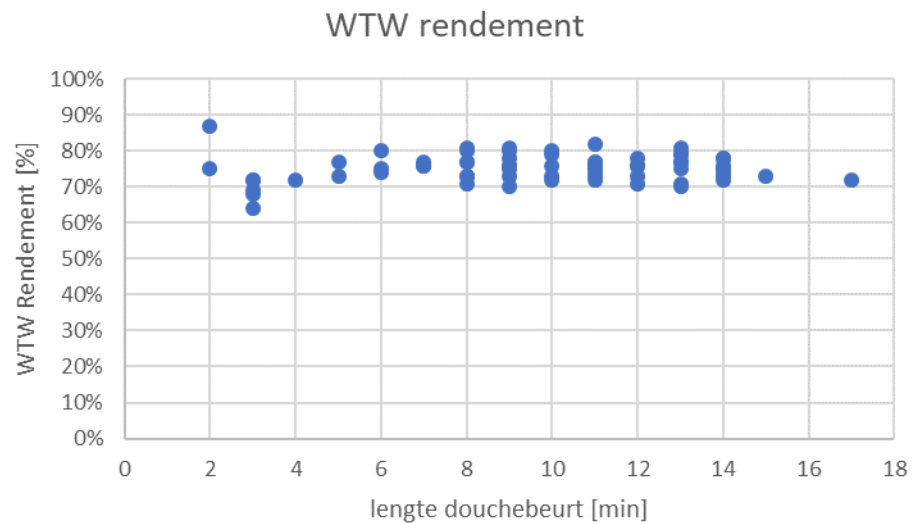
Bij een eengezinswoning van Seinen Projectontwikkeling is door Beter Bad op 19 en 20 december 2019 de MEED douche geïnstalleerd, zie Figuur 8.



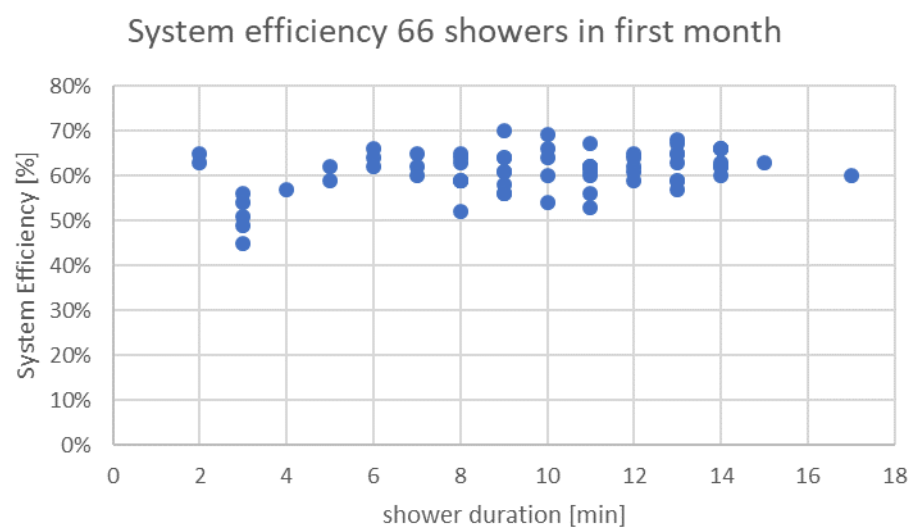
Figuur 8 MEED in eengezinswoning van Seinen Projectontwikkeling.

Analyse monitoringsresultaten Seinen

De monitoringsdata tussen 24 december 2019 en 18 januari 2020 zijn automatisch geëvalueerd met een speciaal ontwikkeld Python algoritme. Hiermee worden de douchebeurten automatisch gedetecteerd en zowel het warmteterugwin (WTW) rendement als het systeemrendement berekend. Ook wordt van elke douchebeurt de lengte geregistreerd. In totaal leverde dit 66 douchebeurten op in 26 dagen. Figuur 9 en Figuur 10 laten respectievelijk het WTW en het systeemrendement zien als functie van de lengte van de douchebeurten. Het WTW rendement neemt binnen 4 minuten toe tot een waarde tussen 70 en 80%. Het systeemrendement neemt vervolgens nog verder toe en blijft na circa 6 minuten stabiel en varieert tussen 60 en 70%.

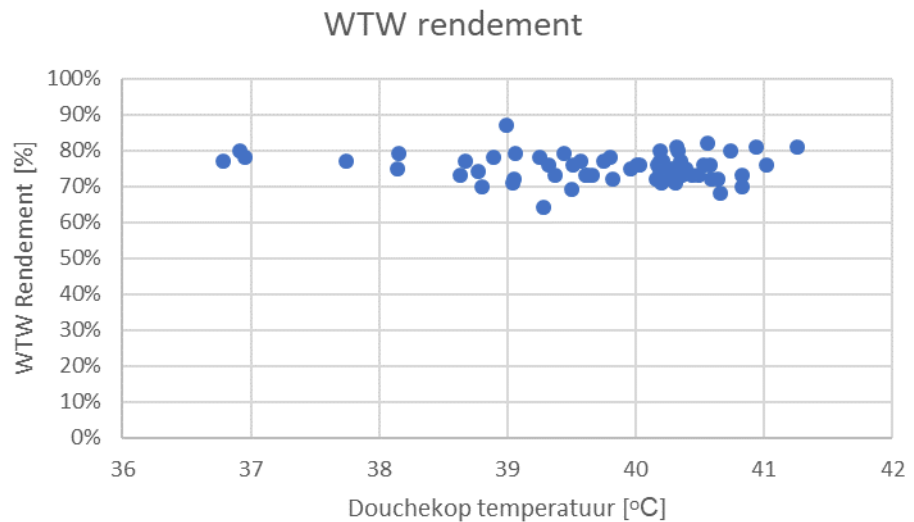


Figuur 9 WTW rendement als functie van de lengte van douchebeurt.

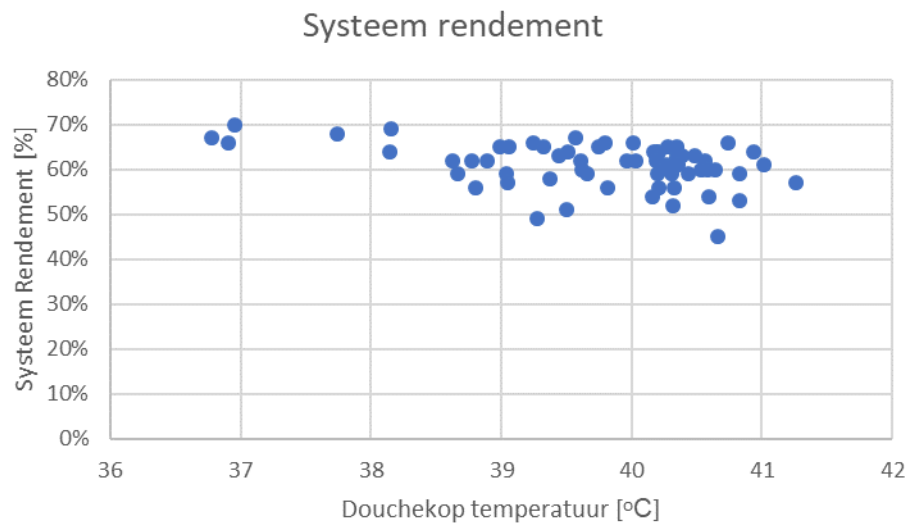


Figuur 10 systeemrendement als functie van de lengte van douchebeurt.

Figuur 11 en Figuur 12 laten het effect van de douchetemperatuur op het WTW en systeemrendement zien. De douchetemperatuur heeft geen merkbaar effect op het WTW rendement. Wel is er een effect te zien op het systeemrendement. Bij een hogere douchetemperatuur zijn de warmteverliezen hoger. Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door extra verdamping.



Figuur 11 WTW rendement als functie van de douchetemperatuur.



Figuur 12 systeemrendement als functie van de lengte van douchebeurt.

Enquêtes

Om het comfort te beoordelen is een enquête uitgezet onder de vier gebruikers van de douchecabine. De enquête is vermeld in Bijlage A en de resultaten zijn samengevat in Tabel 1.

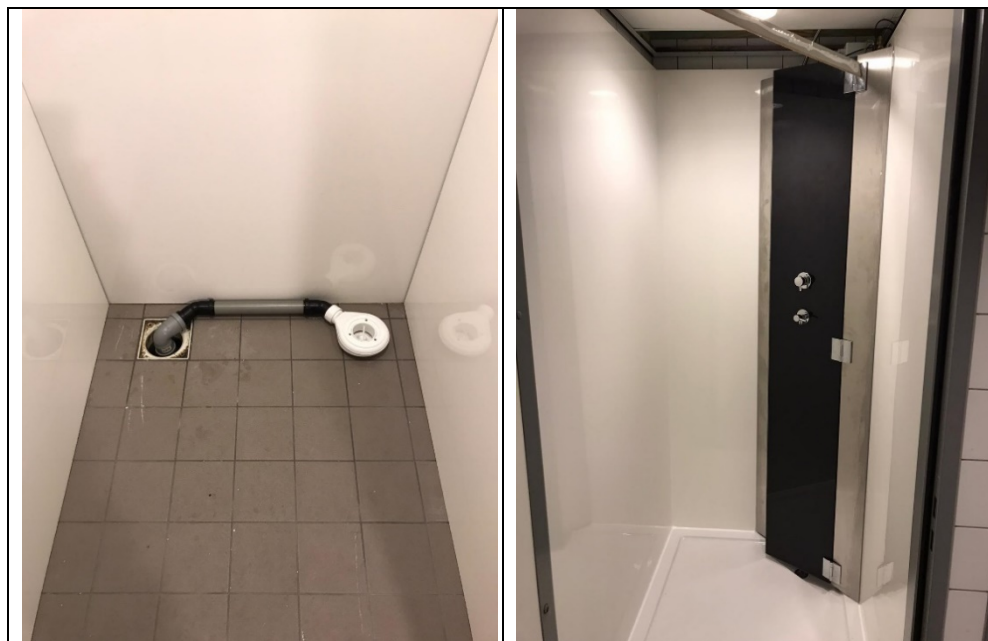
Tabel 1 resultaten gebruikersenquête eengezinswoning Seinen (n=4).

| Testpersoon | 1 | 2 | 3 | 4 | gem. |
|---------------------------|-------|--------|-------|--------|------|
| 1. Algemene douchecomfort | 6 | 7 | 6 | 7 | 6.5 |
| 2. Genoeg warm water | 7 | 7 | 6 | 7 | 6.75 |
| 3. Temperatuurregeling | 5 | 7 | 6 | 7 | 6.25 |
| 4. Geluidsniveau | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| 5. Gesloten cabine | 6 | 7 | 6 | 7 | 6.5 |
| 6. Gebruiksgemak | 6 | 7 | 5 | 7 | 6.25 |
| 7. Koude douche ervaring | nooit | nooit | nooit | nooit | |
| 8. Filterschoonmaak | nooit | 1 x pw | nooit | 1-2 pw | |

Uit de resultaten blijkt dat het douchecomfort als hoog wordt ingeschat ook is er voldoende warm water. Aangezien de pilots in de winter zijn uitgevoerd is het drinkwater relatief koud: 8 tot 10 °C. Hierdoor is de MEED onder 'worst case' condities getest.

4.3 WestCord Fashion hotel

Op 17 en 18 december 2019 is door Beter Bad de MEED geplaatst in het WestCord Fashion hotel in Amsterdam. Omdat het een demonstratie betreft is er voor gekozen om de MEED in een van de twee personeelsdouches te plaatsen. Figuur 13 laat het verloop van het installatieproces zien.

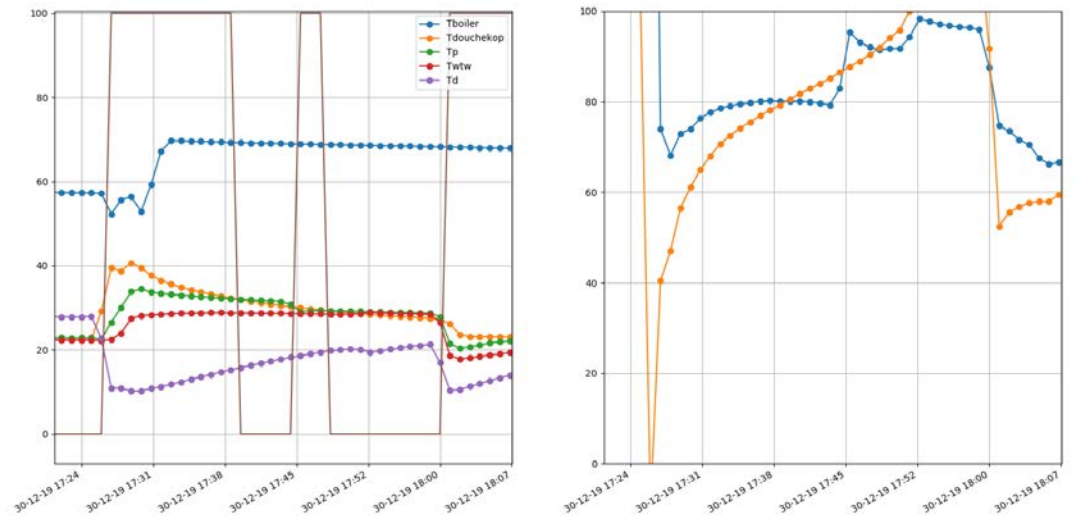


Figuur 13 plaatsing MEED in WestCord Fashion hotel Amsterdam.

Uit de monitoring blijkt dat er sporadisch wordt gedoucht. Navraag bij WestCord gaf aan dat dit komt omdat het een relatief rustige tijd is met weinig personeel. De personeelsleden die hebben gedoucht zijn tevreden. De temperatuur is stabiel dan in de personeelsdouche ernaast.

De douchebeurten zijn relatief kort, 3 à 4 minuten, zie het voorbeeld in Figuur 14. Er wordt enkele minuten bij 40 °C gedoucht. De drinkwater aanvoertemperatuur bedraagt 10 °C. Het WTW rendement bedraagt maximaal 74%. Interessant is om het effect van de spoelstap na 30 minuten te zien. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat de temperatuur van het water in de warmtewisselaar binnen 45 minuten na het douchen onder de 25 °C komt.

Aandachtspunt is wel de temperatuur van het aanvoerwater. Bij stilstand bedraagt deze bijna 28 °C, zie paarse lijn aan de linkerkant van Figuur 14.



Figuur 14 WestCord Fashion hotel Amsterdam, douche om 17.25 uur op 30 december 2019, links de temperaturen, rechts het WTW (blauw) en systeemrendement (oranje).

5 Conclusies en mogelijkheden voor spin-off

5.1 Conclusies

Het is gelukt om een plug en play hoog rendement douchecabine te maken en succesvol in de praktijk te testen. In het laboratorium zijn warmteterugwinrendementen gerealiseerd tot 86%. In de praktijkbeproeving zijn warmteterugwinrendementen gerealiseerd tot 80%. Het systeemrendement in de praktijk bedroeg circa 70%. Uit de pilots zijn een aantal verbeterpunten gedestilleerd die in vervolgprojecten nader zullen worden uitgewerkt.

5.2 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

Afgelopen tijd zijn drie vervolgprojecten opgestart. Voor toepassing bij woningbouwcorporaties is op 1 januari 2019 het lijn 0 project RenoDouche gestart. In dit project wordt samen met drie woningbouw corporaties een douchecabine ontwikkeld voor het aardgasloos maken van huurwoningen.

Op 1 januari 2020 is het DEI+ project "Aardgasloos levensloopbestendig en vitaal douchen" gestart. Dit project is gericht op het levensloopbestendig maken van particuliere woningen door het bad te vervangen door een veilige inloopdouche. Naar schatting betreft dit in Nederland de komende jaren 1,1 miljoen koopwoningen. Dit project wordt door TNO, BeterBad, Hametech in samenwerking met Molenaar Badkamers uitgevoerd. Doelstelling is om in één dag zonder hak en breekwerk de zogenaamde VitaalDouche te installeren. Er zullen twee concepten worden ontwikkeld en in de praktijk worden beproefd. De eerste betreft een douchecabine met een lage instap, glazen schuifwanden en open boven zijde. Het tweede concept betreft een inloopdouche.

Op 1 januari 2020 is in het Consortium Integrale Energietransitie Bestaande Bouw het project "Opschaling en industrialisatie RenoDouche" gestart. Dit project wat door BeterBad, Hametech, TNO en GroenWest wordt uitgevoerd is gericht op kostprijsverlaging en opschaling van de MEED. Doelstelling is om het prototype zodanig door te ontwikkelen dat 90% van de badkamerrenovaties binnen 1 dag uit te voeren zijn en om de kostprijs met 30% te verlagen. Hiertoe zullen in 25 huurwoningen van koploper- en snelle volger corporaties van het Regioplatform Woningcorporaties Utrecht (RWU) energetische badkamerrenovaties worden uitgevoerd.

In december 2019 is door Beter Bad en Hametech gezamenlijk de MEED bv opgericht voor de verkoop en marketing van de MEED.

6 Uitvoering

6.1 Technische en organisatorische problemen tijdens projectuitvoering

Een belangrijke technische uitdaging was het vervaardigen van een dubbelwandige warmtewisselaar. Hieraan is in 2016 en 2017 veel aandacht besteed. Met name de bestellingen en de tijd nodig voor de vervaardiging van de dubbelwandige warmtewisselaar door de Duitse leverancier kostte veel doorlooptijd. Uiteindelijk is geconcludeerd dat een enkelvoudige warmtewisselaar geen noemenswaardig risico geeft op drinkwaterbesmetting en is deze ingebouwd.

Het vinden van een geschikte elektrische verwarming was een zoektocht. Er was geen product beschikbaar wat aan de specificaties voldeed. Er is getracht om een combinatie te maken tussen een elektrische boiler en doorstroomverwarmer. Echter dit bleek wat betreft aansturing, drukval en veiligheid problematisch. Vervolgens is in 2018 veel tijd besteed aan het zoeken naar een geschikte 10 liter boiler met voldoende elektrisch vermogen en ook een regeling die een snelle verwarmingsrespons garandeert. In de markt kon hiervoor geen kant en klare oplossing voor worden gevonden. Uiteindelijk was dit aanleiding om zelf een boilervaatje te maken en regelprint te laten ontwerpen voor de aansturing van de elektrische elementen en die ook zorgdraagt voor het naspoelen.

Het vinden van een geschikte pomp met regeling heeft veel tijd gekost. De pomp moest niet gevoelig zijn voor vervuiling en anderzijds een acceptabel geluidsniveau geven. In 2019 zijn een viertal pompen getest voordat uiteindelijk een pomp, die in de UK wordt verkocht, is gevonden die aan de specificaties voldeed.

6.2 PR en wijze van kennisverspreiding

Het concept is op 14 maart 2017 beschermd met een octrooi aanvraag. Daarna is op 20 september 2018 de aanvraag gepubliceerd. Aangezien de ontwikkeling ook hierna liep is er bewust voor gekozen om in eerste instantie geen inhoudelijke kennis te verspreiden. In juli 2019 is het RenoDouche concept in het Blad Installatie en Sanitair gepresenteerd in het artikel: Douchen met een keukenboiler.

Op de VSK beurs, 4 – 7 februari 2020 in Utrecht, is door BeterBad een werkende MEED douchecabine gepresenteerd. De reactie van de bezoekers was erg positief. Naar aanleiding van de VSK beurs is op www.installatie.nl een bijdrage gepubliceerd: *Douche-WTW naar next level*.

7 Ondertekening

Delft, 27 februari 2020



Ir. A.C. Westerlaken
Afdelingshoofd

TNO



ir. P. Jacobs
Auteur

A Gebruikers enquête

MEED Enquête

Datum:

In te vullen door zoveel mogelijk personen per huishouden, één exemplaar per persoon. Bij de vragen wordt een 7-punts schaal gebruikt. Gaarne één mogelijkheid per vraag omcirkelen. Eventuele toelichting of andere opmerkingen kunt u onder aan de pagina geven.

1. Hoe vindt u het algemene douchecomfort?

Niet comfortabel 1 2 3 4 5 6 7 zeer comfortabel

2. Komt er genoeg (warm) water uit de douche?

Veel te weinig 1 2 3 4 5 6 7 ruim voldoende

3. Hoe bevalt de regeling van de temperatuur ?

Slecht regelbaar 1 2 3 4 5 6 7 temperatuur zeer goed regelbaar

4. Hoe storend ervaart u het geluidsniveau?

Zeer storend 1 2 3 4 5 6 7 niet storend

5. Hoe bevalt het gebruik van een gesloten cabine?

Slecht 1 2 3 4 5 6 7 zeer goed

6. Hoe is het gebruikersgemak?

Ingewikkelde bediening 1 2 3 4 5 6 7 eenvoudige bediening

7. Hoe vaak heeft u een 'koude douche ervaring' gehad?

Elke dag 1x per week 1x per maand nooit

8. Hoe vaak maakt u het filter schoon?

Elke dag 1x per week 1x per maand nooit

9. Eventuele verdere toelichting, algemene opmerkingen:

.....
