



Voortgangsrapportage

1 maart 2023 – 29 februari 2024

Consortium Intelligente WarmteProductie

Openbaar

Titel	Openbare voortgangsrapportage
Subtitel	Intelligente Warmte Productie (MOOI-IWP)
Periode	1 maart 2023 – 29 februari 2024
Auteur(s)	Gerrit Jan van Riessen, Roland Valckenborg, Pim Donkers, Corry de Keizer, Anthonie Stuiver, David Out, Rick van Beek, Auzie Triratnamurti en projectpartners.
Publicatiedatum	27-03-2024

Consortium Intelligente Warmteproductie

Referentienummer RVO: MOOI32008

Subsidieregeling: Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI) 2020

Contact

Emergo Business Partners (penvoerder)

088 6964 000 | info@emergo.nl

Dit innovatieplan wordt uitgevoerd met Topsector Energie subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. De specifieke subsidie voor dit project betreft MOOI-subsidie ronde 2020.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van het consortium Intelligente WarmteProductie.

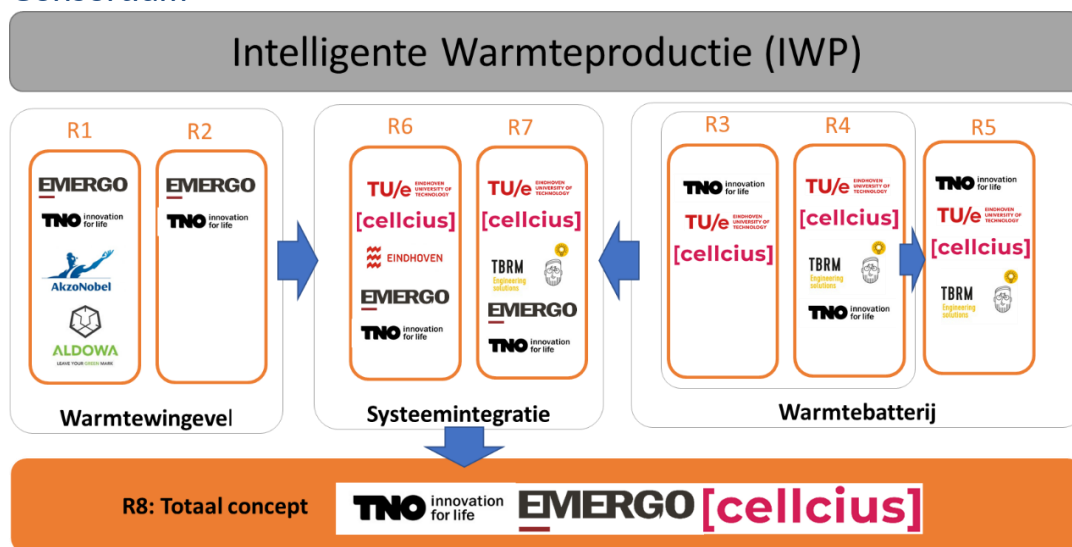
Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Consortium	4
1.2	Doelstelling en uitgangspunten	5
2	Activiteiten.....	5
2.1	Resultaat 1: Maatwerk warmteschil	5
2.2	Resultaat 2: Koeling	9
2.3	Resultaat 3: Verbetering efficiëntie door stabiel TCM bed	11
2.4	Resultaat 4: Geoptimaliseerde werktemperaturen van de warmtebatterij	13
2.5	Resultaat 5: Prototype warmtebatterij	14
2.6	Resultaat 6: Design support tool.....	15
2.7	Resultaat 7: Regelsysteem.....	15
2.8	Resultaat 8: Integraal prototype.....	15
3	Impact	16
3.1	Beoogde impact	16
4	Publicaties	17

1 Inleiding

Deze voortgangsrapportage beschrijft de voortgang die gemaakt is in het derde jaar van het project Intelligente WarmteProductie (IWP). Het project IWP heeft als doel een renovatieoplossing voor gasvrije, duurzame verwarming én koeling van seriematige grondgebonden woningen te ontwikkelen door het combineren van een warmtepomp met een warmtewingevel en een warmtebatterij.

1.1 Consortium



Projectoverzicht

Het consortium wordt geleid door Emergo en bestaat verder uit TBRM-Engineering Solutions, TNO, Akzo Nobel, Aldowa Green, Cellcius, Technische Universiteit Eindhoven en de Gemeente Eindhoven. In het bovenstaande overzicht staat vermeld welke projectpartners bij welke Resultaten betrokken zijn.

In onderstaande tabel zijn de projectpartners met hun rol nader beschreven.

Naam deelnemer	Type organisatie	Rol in project
Emergo Business Partners B.V.	Middenbedrijf	Projectleider Ontwikkelaar prefab gebouwschiloplossingen
TBRM-Engineering Solutions B.V.	Kleine onderneming	Ontwikkelaar/productie warmtebatterij
TNO	Kennisinstelling/ onderz. Org. - niet economische activiteiten	Ontwikkelaar Warmte wingevel en warmte batterij, daarnaast test locatie van totale systeem
Akzo Nobel Decorative Coatings B.V.	Grote onderneming	Ontwikkelaar coating op warmte wingevel
Aldowa Green B.V.	Kleine onderneming	Producent van de warmte wingevel
Cellcius	Kleine onderneming	Ontwikkelaar warmtebatterij en componenten van warmtebatterij
Technische Universiteit Eindhoven	Kennisinstelling/ onderz. Org. - niet economische activiteiten	Ontwikkelaar TCM bed
Gemeente Eindhoven	Overheid	Koppeling met eindgebruikers en beslissing nemers

Tabel 1 - Overzicht projectpartners

1.2 Doelstelling en uitgangspunten

De energietransitie in de gebouwde omgeving in Nederland omvat een aantal cruciale maatschappelijke en innovatie opgaves:

1. Nederland wil “van het gas af”, hetgeen een grote uitrol van duurzame energie vereist. Op de kortere termijn is de ambitie reeds scherp: in 2030 dienen circa 1,5 miljoen woningen en 15% van de utiliteitsgebouwen aardgasvrij en duurzaam te worden verwarmd.
2. Versnelling van de energie transitie. De tijd om aardgasvrij te worden is kort. Met de huidige, beperkte bouwcapaciteit betekent dat vooral ook het zoeken naar snel op te schalen, geïndustrialiseerde en gestandaardiseerde oplossingen.
3. Nadrukkelijk moet naar oplossingen in duurzame warmte worden gezocht, naast de full-electric oplossingen. Recente studies (onder andere Berenschot 2019, Winst 2020) onderstrepen bovendien dat de duurzame warmte route veelal een goedkopere route is dan die van full-electric.

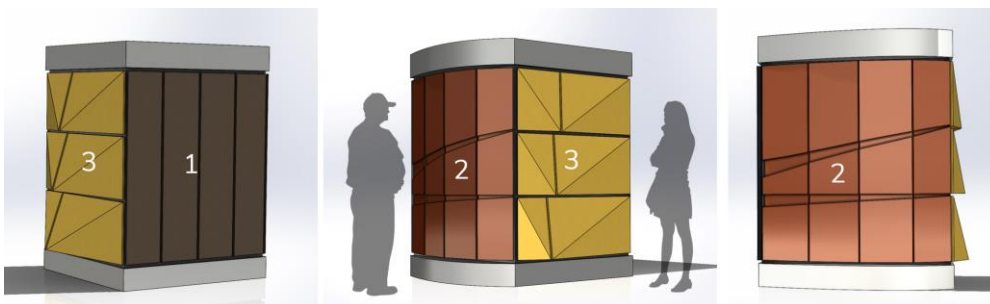
Doel van het project is een kosteneffectieve en flexibele ‘mass-customizable’ (grootschalig maatwerk) prefab ‘warmtepomp-warmteschil-warmtebatterij’ renovatie oplossing voor gasvrije, duurzame verwarming én koeling van seriematige grondgebonden woningen. Beoogde reductie van energie verbruik uit het elektriciteitsnet is minimaal 60% ten opzichte van eenzelfde use-case met luchtwarmtepomp, zonder afbreuk te doen aan comfort. Ons project integreert 2 internationale doorbraaktechnologieën, een warmtewinschil en een warmtebatterij, met bestaande warmtepomptechnologie in een nieuw prefab concept met een geactiveerde woningschil.

2 Activiteiten

2.1 Resultaat 1: Maatwerk warmteschil

2.1.1 Vergroten vormvrijheid voor flexibel paneelontwerp

In de afgelopen periode is er een mock-up ontwikkeld met betrekking tot het haalbaarheidsonderzoek naar de vrije vormen. Uit de studie is besloten om een demonstratie van drie type panelen in de mock-up te laten voorkomen: low-end (functioneel), mid-end (architectonisch) en high-end (iconisch). Deze varianten zijn bedoeld om aan de verschillende eisen en wensen van de architect of opdrachtgever te voldoen, dit is voornamelijk financieel en esthetisch een noodzaak. Een ontwerp samenvatting voor de mock-up is vastgesteld met de volgende uitgangspunten: Verrijdbaarheid voor de plaatsing bij Calosol, Aldowa of locaties van evenementen (zowel binnen als buiten). Optimaal formaat en gedeeltelijk demonteerbaarheid in verband met transport, opgenomen in een basis afmeting. Daarnaast de mogelijkheid om de warmtewin panelen geheel werkend te maken met het voorzien van een technische ruimte achter de panelen in de opstelling. De grote vormvrijheid is weergegeven voor elk type paneel in de volgende toepassingen: rechthoekig (1, functioneel), rond gesegmenteerd (2, architectonisch) en diamant (3, iconisch).



Mock-up om de vergrote vormvrijheid te laten zien en het maakproces van deze thermisch geactiveerde panelen te doorlopen.

Er is een onderzoek uitgevoerd naar kleurvoorkeur in de markt. De conclusie die hieruit is getrokken is dat de meest gebruikte kleuren tinten van zwart, grijs en wit zijn. Daarnaast worden er ook veel andere keuzes gemaakt uit heel diverse kleuren. De kleurcoat toepassing van de mock-up komt uit de Akzonobel kleurstalen en is voorzien van een TSA optimalisatie.

2.1.2 Optimalisatie warmteoverdracht door buizenstructuur

Deze activiteit heeft als doelstelling om meer begrip te krijgen van de invloed van de buizenstructuur op de warmteabsorptie in afwezigheid van de zonne-instraling en wanneer de zon wel schijnt. Als de zon niet schijnt werkt de warmtewingeval als een warmtewisselaar met de lucht. Wanneer de zon wel schijnt verhoogt dit de brontemperatuur voor de warmtepomp, die daarmee veel efficiënter werkt. Een betere warmteoverdracht naar de vloeistof leidt in beide gevallen tot een betere prestatie.

In de eerste 2 jaar van het project zijn meerdere aspecten van aluminium warmtewinpanelen onderzocht. In het 3^e project jaar is er vooral onderzoek gedaan naar de warmteoverdracht van een warmtewinnend glas-glas PV paneel (als PVT-variant) . Hier is de buizen structuur van de standaard collector aangebracht aan de achterzijde van een PV-paneel. Om de performance te onderzoeken is er op SolarBEAT huisje nr.5 een dak-opstelling gebouwd van naast elkaar gepositioneerde PVT, PV en ST zonthermische collectoren (ST=Solar Thermal). De buizenstructuur achter de PVT en de ST-panelen is identiek uitgevoerd. Op dit moment is er al ruim 3 maanden outdoor data verzameld. In deze periode is het complete bereik van de zogenaamde collectorcurve bemeaten. Ook zijn er zeer variërende weersomstandigheden (Relative Humidity, RH, wind speed, T_ambient, neerslag (regen en sneeuw) geweest in deze periode. Dat betekent dat de geanalyseerde warmteoverdracht een grote mate van betrouwbaarheid heeft voor diverse situaties.

Tevens is in het afgelopen jaar een testopstelling gerealiseerd op een woning op het terrein van Emergo. Hier worden een aantal ST- en PVT-panelen getest, zowel op verschillende gevels als op het dak. In paragraaf 2.1.4 zijn hier foto's van opgenomen. Dak en gevel worden doorstroomd met een water-glycol mengsel, en dienen als bron voor een (water-)warmtepomp. Op de zolder van de woning is een opstelling gebouwd, bestaande uit een glycol buffer, een warmtepomp, en een cv buffer, inclusief meetapparatuur. Met deze apparatuur kunnen de prestaties van de paneel secties individueel, en het systeem in het geheel worden gemeten.

2.1.3 Verhogen keuzevrijheden t.a.v. kleur, patronen en verfstructuren

In dit 3^e projectjaar is het onderzoek naar het verhogen van keuzevrijheid t.a.v. kleur, patronen en verfstructuren voortgezet en richting een afsluitende rapportage gebracht. De belangrijkste highlights zijn:

- Het is mogelijk om zon absorberende verven te maken met poeder formuleringen
- De hoeveelheid geabsorbeerde energie wordt in belangrijke mate bepaald door L*.
- Voor de lichtste kleuren is het gebruik van ATO aan te raden wanneer er naar de hoogst mogelijke absorptie wordt gezocht.

2.1.4 Integraal renovatieconcept voor de gebouwschil

De oplossingen voor een integrale prefab renovatie voor dak en gevel kunnen we onderverdelen in vier product-markt combinaties:

1. De gevelrenovatie oplossing voor woningen;
2. De dakrenovatie oplossing voor woningen;
3. De Energieberging renovatie oplossing voor woningen

4. De gevelrenovatie oplossing voor utiliteit

Ad 1. De gevelrenovatie oplossing voor woningen biedt uitkomst als het dak reeds gerenoveerd is en al voorzien is van goede isolatie en een zonnestroomsysteem (PV). Het dak voorziet dan al in de stroombehoefte van de woning en een extra dakisolatie heeft dan weinig toegevoegde waarde. Er is echter een grote behoefte aan warmte als bron voor de warmtepomp waardoor bodemboringen en geluidsoverlast van lucht-water warmtepompen kunnen worden voorkomen.

In het project is het afgelopen jaar de laatste versie van de warmtewingeval als systeem getest op een woning op het terrein van Emergo. De zuidgevel is onderverdeeld in twee zones, bestaande uit panelen met een hogere en een lagere dichtheid van buizen. De resultaten zullen worden vergeleken met de simulatieresultaten en de resultaten van de testopstelling op de Solarbeat. Er is een oplossing gevonden voor het koppelen van de warmtewinnende gevelelementen, zodat deze snel en betrouwbaar aangesloten kunnen worden.



Testopstelling geveloplossing op een woning op het terrein van Emergo

Ad 2. De dakrenovatie oplossing voor woningen is de meest voor de hand liggende optie wanneer het schuine dak van een woning nog niet gerenoveerd is. Deze kan indien gewenst uitgebreid worden met de gevelrenovatie oplossing. Het aanbrengen van een goed geïsoleerd dak is een grote stap richting een goed geïsoleerde woning.

Het afgelopen jaar is het ontwerp van de warmtewinpanelen voor de dak toepassing afgestemd op in de markt beschikbare zonnepanelen. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden om het paneel zowel esthetisch als montage technisch overeen te laten komen met een BIPV systeem waarin de zonnepanelen op een fraaie wijze in het dak worden geïntegreerd. Tevens is er voor de glas-glas PV-panelen een oplossing ontworpen waarin deze worden voorzien van het warmteabsortiesysteem, zoals bij de warmtewinpanelen. Dit leidt dus tot de keuze uit 3 varianten die nagenoeg dezelfde uitstraling hebben: een warmtewinpaneel (ST), een warmte- en stroomwinnend paneel (PVT) en een bestaand zonnepaneel (PV). De uitdagingen die we hier hadden was om de verschillende types goed op elkaar aan te laten sluiten en de montage zo makkelijk mogelijk te maken. Verder is het onderdak aangepast om grotere hoeveelheden condens- en smeltwater af te voeren.



Testopstelling dakoplossing op een woning op het terrein van Emergo met 8 warmtewinpanelen (ST, bovenste 2 rijen) en 4 warmte- en stroomwinnende panelen (PVT, onderste rij).

Op de testopstelling op het dak van een woning op het terrein van Emergo worden de verschillende type dakpanelen (ST, PVT en PV) samen met de installaties op systeemniveau getest.

Ad 3. De Energieberging is een renovatie oplossing voor woningen wanneer de woning constructief een renovatie met installaties niet aan kan of wanneer de overlast en de ingrepen aan de woning tot een minimum beperkt moeten worden. De Energieberging wordt prefab voorzien van een warmtewinschil als bron voor de warmtepomp, een warmtepomp, een warmtebuffer en de regelaar. De Energieberging komt veelal op de plek van de bestaande berging en wordt aangesloten op de afgiftesysteem van de woning.

De afgelopen winter is de Energieberging getest op de testopstelling op het terrein van Emergo. Hieruit zijn een aantal optimalisaties naar voren gekomen voor het ontwerp.



Testopstelling Energieberging op het terrein van Emergo met warmtewindak en -gevel en prefab ingebouwde installaties met een combiwarmtepomp en warmtebuffer.

Ad 4. De gevelrenovatie oplossing voor utiliteit is het afgelopen jaar

Afgelopen jaar is gewerkt aan een QuickScan rekenblad. Hiermee kunnen we o.b.v. het huidige energie verbruik de benodigde m² actieve gevel en de grootte van de warmtepomp bepalen.

Verder zijn een aantal geveloplossingen verder uitgewerkt:

- Warmtewingevel + naïsolatie

- Warmtewingeverl op bestaand sandwich paneel

Voor de gevelrenovatie oplossing is een doorstromingsmethode uitgewerkt voor gelijkmatige doorstroming en makkelijke ontluuchting. De parallelle vloeistoftrajecten zijn dusdanig vormgegeven dat de drukval nagenoeg identiek is en de doorstroming zo goed mogelijke verdeeld is. Op het hoogste punt is een ontluuchtoorziening aangebracht.

2.1.5 Performance van de warmtewin-dakpanelen onder winterse omstandigheden

Aldowa heeft ter ondersteuning van TNO een testopstelling gerealiseerd voor het onderzoek van de winterse neerslag en rijpvorming op locatie van TNO klimaatkamer in Delft. De dakpanelen worden bevestigd op een opstelling met een railingconstructie met de mogelijkheid om twee verschillende dakhellingen van 30° en 45° te simuleren.

2.2 Resultaat 2: Koeling

2.2.1 Technisch ontwerp van koeling concept voor (grondgebonden) seriematige renovatie woningbouw

Voor de koeling van woningen kunnen de warmtewincollectoren op twee manieren worden ingezet:

- Actief koelen met op de (omgekeerde) warmtepomp functionaliteit
- Passief koelen met waarbij de compressor van de warmtepomp niet actief is, maar wel zoveel mogelijk warmte afgestaan wordt via de gebouwschil.

Het koelvermogen van de collectoren is op SolarBEAT gemeten (zie volgende Activiteit 2.2). Voor het ontwerp voor afgifte in de woning is gekozen voor plafond panelen. Dit zijn geperforeerde cassettes met buizen aan de achterzijde (vergelijkbaar met warmtewincollectoren). Er kan zowel warme vloeistof als koude vloeistof door deze buizen lopen.

Het complete technische ontwerp, inclusief de uitvoering, is opgebouwd door Emergo op het bedrijventerrein van Emergo zelf, in een energieberging, en ook in een prototype huis waar geen mensen in wonen maar die vol zit met meetapparatuur. Net zoals bij de bepaling van de warmteoverdracht van de warmtewincollectoren wordt er gemeten aan T_{inlet} , T_{outlet} en flow. Daarmee wordt de warmteoverdrachtscoefficient berekend in $[W/m^2 \cdot K]$. Voor koeling vanuit uit plafond geldt dat dit over het algemeen door bewoners als prettiger wordt ervaren dan koeling via een airco. Punt van aandacht is om de koelleidingen en -buffer niet onder het dauwpunt te laten komen, omdat er dan condens kan optreden. Deze hoeveelheid condens is veel meer dan men zou verwachten en kan leiden tot roest of andere schade.



Koelplafond

2.2.2 Onderzoek en beproeving van koeling op SolarBEAT

Deze activiteit heeft als doelstelling om de performance van de warmtewinpanelen in kaart te brengen indien deze ingezet worden om te koelen. Aldowa heeft hiervoor metalen collectoren in dak-uitvoering aangeleverd aan Emergo, die deze vervolgens geactiveerd heeft met buizen om er zodoende warmtewinpanelen van te maken. Op SolarBEAT heeft TNO de performance van deze warmtewinpanelen onderzocht. Allereerst wordt de collectortemperatuur ($T_{\text{collector}}$) ingesteld op een waarde boven de omgevingstemperatuur. In de praktijk zal er onderscheid zijn tussen passieve koeling, voor $T_{\text{collector}}$ is tot orde 10K warmer dan de omgevingstemperatuur in de nacht, en actieve koeling waarbij de warmtepomp omschakelt en een buffervat kan koelen met $T_{\text{collector}}$ tot wel orde 30K warmer dan de omgevingstemperatuur.



Koelen met de warmtewinpanelen op SolarBEAT.

SolarBEAT huisje nr.6 is voorzien van IWP warmtewinpanelen in de twee kleuren wit en grijs en drie orientaties (zichtbaar op foto zijn noord en west orientatie). Ook goed zichtbaar zijn de nieuwe sensoren voor zonne-instraling, en -uitstraling; en voor windsnelheid.

In dit 3^e projectjaar is huisje nr.6 op SolarBEAT omgebouwd. Tot voor kort was het alleen maar mogelijk om thermische metingen te doen aan de zuidzijde. Echter, het is zeer goed denkbaar (en wenselijk) om ook andere oriëntaties van huizen te gebruiken. Daarom is er sinds het voorjaar van 2023 nu ook aansluiting voor west- en noord-gevel. Op deze twee nieuwe meetgevels zijn er ook sensoren voor windsnelheid, windrichting, zonne-instraling (irradiance), en uitgaande straling (outgoing radiation). In de literatuur is er nauwelijks iets bekend over thermisch onderzoek op deze oriëntaties. Verder is er gekozen voor collectoren in de kleuren wit en grijs.

Uit de resultaten blijkt dat de intrinsieke performance (collectorcurve) van de collectoren op de west- en noord-gevel gelijk is aan de zuid-zijde; geheel naar verwachting omdat deze collectoren identiek zijn. Echter de zonne-instraling en uitstraling zijn compleet anders voor west- en noord-gevel. Zo zal er op de noordgevel bijna nooit directe zonne-instraling zijn. De gemeten uitstraling liet zien dat de westkant van het huisje geen bebouwing heeft en daardoor veel groter is dan de uitstraling naar de noordzijde waar een hoogbouw staat. Ook de weersomstandigheden voor de diverse orientatie zijn duidelijk anders. De westgevel krijgt veel meer wind dan zuid- (en noord-) gevel en is daarmee een positie waar de warmteoverdracht hoger is; 'dus meer koelend vermogen'.

2.3 Resultaat 3: Verbetering efficiëntie door stabiel TCM bed

2.3.1 Inleiding

Het doel van resultaat 3 was het minimaliseren van de drukvalverhoging van het bed en daardoor de voorspelbaarheid van de bed kwaliteit te verbeteren. Hierbij is het doel gesteld: maximaal 20% drukvaltoename na 10 cycli. We komen van 300% drukvaltoename na 10 cycli.

De finale metingen aan de bedden ontwikkeld binnen resultaat 3 zijn nog lopende. De tussenresultaten laten zien dat we er niet in geslaagd zijn enkel door materiaalverbetering het gestelde doel van 20% drukvaltoename te realiseren. We zien dat de oplossingen getest in de verschillende resultaten leiden tot reductie van de drukvaltoename, maar dat deze aan het eind van het project nog in de orde van 100% is na 10 cycli. De resultaten op 1 kg niveau zullen nu herhaald moeten worden op bed niveau (activiteit 5) om te zien of onder gecontroleerde omstandigheden de verbeteringen toch voldoende zijn.

Door de drukval karakteristieken verkregen binnen resultaat 3 over het aantal cycli is het wel mogelijk de reactor her te ontwerpen en daarmee de performance van de batterij op papier te verbeteren. Resultaat 5 moet aantonen dat dit ook daadwerkelijk het geval is.

Een korte samenvatting van de resultaten zijn hieronder weergegeven.

2.3.2 TCM stabilisatie door coating

Doel van de ontwikkeling binnen resultaat 3.1 was de introductie/realisatie van een mechanische stabilisatie van TCM-deeltjes door een polymeer gebaseerde coating om de gevoeligheid van het materiaal tijdens cyclische lading/ontladingsstappen te verminderen.

De meeste TCM-deeltjes zonder enige vorm van stabilisatie (coating, interne matrix) breken tijdens de eerste cyclus.

Er werden 9 verschillende polymeren gescreend als potentiële coating materialen, de materiaalscreeningstests omvatten thermische en chemische stabiliteit in de relevante omgeving, trekproeven om de sterkte en ductiliteit van dunne lagen te beoordelen en tests/metingen van de dampdoorlatendheid. Cellulose gebaseerde polymeren (MC, HPCM en HPC) vertoonden het beste gedrag van de geteste polymeren, PVP en Chitosan vertoonden het slechtste gedrag. HPC werd uiteindelijk geselecteerd als het meest geschikte coatingmateriaal vanwege sterkte en stabiliteit in de relevante omgeving.

De coatings werden via pan-coating opstelling op de deeltjes aangebracht, deze methode wordt ook grootschalig in de industrie toegepast. Door het testen van een reeks deeltjesvormen is gebleken, dat de geometrie geen invloed heeft op het aanbrengen en op de stabiliteit van de coating.

Om de mechanische stabiliteit van de coatings te verbeteren werden cross-linkers aan de geselecteerde coatingoplossing toegevoegd. Additioneel is ook na oplossingen gezocht, om de ductiliteit en permeabiliteit van de coatings te verbeteren. Daarvoor werden 5 verschillende weekmakers onderzocht in combinatie met een geselecteerde coatingoplossing.

HPC met verschillende molecuulgewichten werd getest om de meest optimale kwaliteit voor de coating te vinden. HPC met een laag molecuulgewicht heeft een betere dampdoorlaatbaarheid en is gemakkelijker te coaten maar is mechanisch zwak. HPC met een hoog molecuulgewicht heeft een slechte dampdoorlaatbaarheid, is moeilijker te coaten, maar is mechanisch sterk.

Reactie-kinetische tests op de tabletten hebben aangetoond dat coating de hydratatiesnelheid kan verlagen. De toevoeging van weekmaker lijkt geen grote invloed te hebben op de doorlaatbaarheid of sterkte van de coating wanneer deze op de tablet wordt aangebracht.

Alternatief wordt de toevoeging van HPC aan het poedermengsel vóór tableting werd onderzocht met als doel een interne matrix te creëren en daarmee extra versterking te verkrijgen. Wanneer de coating op deeltjes zonder enige aanvullende stabilisatie wordt aangebracht, scheuren de meeste coatings tijdens de eerste hydratatie, als de coating wordt aangebracht op deeltjes met 25% interne matrix, wordt de

mechanische integriteit van de tabletten verlengd tot minimaal 20 cycli. Een toevoeging van coating aan de intern gestabiliseerde tabletten is niet nodig en heeft geen groot effect op de stabiliteit.

2.3.3 TCM stabilisatie door binder

De taak R3.2 had tot doel om een stabilisatie methode te vinden voor TCM materialen m.b.v. een binder. Het doel is dus om in het TCM deeltje een matrix te vormen die mechanische eigenschappen van het TCM verbetert en daardoor de drukvaltoename over het bed te reduceren.

Er zijn een twee methodes toegepast om dit doel te bereiken:

Het gebruik van fibers (aanpak 1): door toevoeging synthetisch fibers aan het TCM deeltje zijn de mechanische eigenschappen verbeterd. Hoewel deze aanpak leidt tot verbetering van de eigenschappen, introduceert deze ook nieuwe problemen. De verwerkbaarheid van TCM/fiber poeders is veel moeilijker dan de verwerkbaarheid van een puur TCM poeder. Dit bemoeilijkt de opschaling van deze methode naar industriële processen (tableteren en compacteren), waarbij het poeder goede stromingseigenschappen moet hebben. Een veelbelovende stap lijkt gezet te kunnen worden door de deeltjegrootteverdeling van het te verwerken poeder te manipuleren. Een vervolgonderzoek zal zich daarom moeten richten op dit aspect van het procedé, zodat productie op industriële schaal mogelijk wordt.

Het creëren van een polymeer netwerk middels 'smelten' (aanpak 2): TCM poeders zijn vermengd met poeders van polymeren. Na het persen van deeltjes m.b.v. dit poeder, is een continue polymeernetwerk gemaakt door de deeltjes te onderwerpen aan een warmtebehandeling. De verkregen deeltjes hebben een veel hogere sterkte dan deeltjes zonder polymeernetwerk. Ook bleken de deeltjes stabiel over een gedurende cyclische testen met 10 cycli, waarin deeltjes zonder polymeernetwerk niet overleven. De onderzocht polymeren laten zien dat een "polymeer netwerk formatie" methode kan werken. Er is nog voldoende ruimte deze methode in de toekomst verder te optimaliseren. De verkregen materialen zijn veel belovend, maar kunnen nog niet op industriële schaal geproduceerd worden. Hiervoor zijn vervolgstudies nodig die twee punten adresseren: 1) de stromingseigenschappen van het poeder met het oog op menging en deeltjesproductie (tableteren of compacteren), 2) de compacteerbaarheid of tabletteerbaarheid van de poeders.

2.3.4 Verbeteren bed eigenschappen door bed geometrieën

Taak R3.3 had tot doel meer inzicht te krijgen in de bed eigenschappen en bedgeometrieën om zo de eigenschappen te verbeteren.

Om dit doel te bereiken is een NMR-opstelling gebouwd om inzicht te krijgen in de hydratatie van tabletten in een reactor. Met behulp van de ontwikkelde opstelling kunnen niet-destructief de hydratatie profielen in een proefreactor tijdens het hydratatieproces gemeten worden als functie van de tijd. Hiermee wordt voor de eerste keer direct inzicht verkregen in de hydratatieprofielen tijdens het ontladen van een warmte reactor en kan daarmee direct inzicht worden verkregen in invloed van de bed eigenschappen.

Eerst zijn enkele tests uitgevoerd met zeolietkorrels 13X om de aangepaste NMR-opstelling testen. Uit deze tests bleek dat de NMR-opstelling naar verwachting functioneerde. Verder lieten deze tests zien dat de wandeffecten niet te verwaarlozen zijn bij het ontwerp van een reactor. Dat komt door het stapelen van de korrels en met name door de stapeling nabij de reactorwand. Door deze stapeling nabij de reactorwand is er in het algemeen een hogere porositeit nabij de reactorwand. Het resultaat hiervan is dat de stromingsweerstand lager is nabij de reactorwand en er zal er niet langer een homogeen hydratatiefront door de reactor bewegen. Op dat moment kunnen twee hydratatie fronten worden onderscheiden, namelijk één front dat zich door het midden van de reactor beweegt en één front dat langs de reactorwand beweegt.

Vervolgens zijn er een serie tests uitgevoerd aan reactoren gevuld met tabletten. Hiervoor moesten echter nog extra aanpassingen aan de NMR-opstellingen worden uitgevoerd omdat het signaal van gehydrateerde tabletten te laag was in vergelijking met de metingen verricht met zeoliet.

Bij de metingen met de tabletten is gekeken naar twee manieren om de reactor te vullen: een kubusvormige en FCC-stapeling, ofwel als torentjes en om-en-om gestapeld. Niet alleen heeft de stapeling invloed op de totale vulling van de reactor, maar ook op de mechanische interactie tussen de tabletten. Voor de FCC-stapeling werd de wand van de reactor aangepast om wandkanalisatie-effecten te beperken, zoals gezien bij de Zeoliet korrels. Binnen de experimentele nauwkeurigheid zijn er voor beide stapelingen geen verschillen te zien hoe het reactiefront door de reactor loopt.

Verder laten de metingen zien dat de overall hydratatioestand van de reactor duidelijk gerelateerd is met de relatieve vochtigheid bij de uitstroom van de reactor. Zodra het hydratatie front het uiteinde van de reactor ontmoet, neemt de relatieve vochtigheid toe en neemt de warmteproductie af. Deze metingen laten goed zien dat de relatieve vochtigheid bij de uitstroom als indicator kan worden gebruikt voor de totale hydratatiegraad van de reactor.

2.4 Resultaat 4: Geoptimaliseerde werktemperaturen van de warmtebatterij

2.4.1 Inleiding

Binnen resultaat 4 is er gewerkt aan het verbeteren van de laad en ontlad temperaturen van de warmtebatterij. Aangezien deze bepaald worden door de waterdampdruk (bij aannahme van hetzelfde basis materiaal) moet de waterdampdruk verlaagd worden tijdens het laden (condensor) en verhoogd worden tijdens het ontladen (verdamper). Waar in het verleden beide onderdelen in 1 onderdeel zaten, is er nu voor gekozen, deze los van elkaar te ontwerpen, om een hogere vrijheid te hebben.

2.4.2 Optimalisatie van verdampingstemperatuur

De verdamper is geoptimaliseerd door een studie uit te voeren naar het zo optimaal mogelijk verdampen de gesprayde hoeveelheid water. Hierbij zijn een aantal factoren onderzocht:

1. Overspraken: Meer dan 20% overspraken zal de performance onnodig verlagen.
2. Homogeen benatten: Er zijn verschillende nozzles en spray patronen getest om dit te optimaliseren.
3. Spray rate: Door gebruik te maken van verschillende spray patronen in de tijd is gezocht naar een optimum in sproeisnelheid en benatten. Vanwege de wisselende vermogens zal constant sprayen soms tot te hoge spray rates resulteren, aangezien niet alles wordt opgenomen. De druk reguleren van de spray pomp zou 1 optie zijn, enkel kan dat het spray patroon aanpassen incl. druppels.

Het resultaat geeft op dit moment een koude bron welke 10 °C lager mag zijn dan voor het project. Dit resulteert in een reductie van electra verbruik van 10% van de WP tijdens het ontladen.

2.4.3 Innovatieve hoge temperatuur condensatie door modificatie condensatie vloeistof

Deze condensor is aangepast op basis van het toevoegen van hygroscopische materialen in de condensor.

Er is op labschaal aangetoond dat er een verlaging van 15 °C van de oplaad temperatuur gerealiseerd kan worden. Dit zorgt dat de huidige TCM niet op 20/80 °C geladen moet worden, maar op 20/65 °C al geladen kan worden. De potentie is dit nog verder te verlagen naar 20/50 °C, enkel vraagt dat ook om een grotere condensor of meer cycli in de condensor.

2.5 Resultaat 5: Prototype warmtebatterij

2.5.1 Ontwerp en produceren (Activiteit 5.1 t/m 5.3)

De warmtebatterij is volledig ontworpen in 2023. De concepten gemaakt in 2022 zijn omgezet in productie tekeningen. De batterij is in de productie gegaan vanaf september 2023. Vanwege een leveringissues van een onderdeel is de batterij nog niet volledig geassembleerd. Dit wordt verwacht in maart 2024. De belangrijkste verbeteringen binnen IWP ontwikkeld zijn onderstaand weergegeven.

De reactor (waar het zout inzit) is op verschillende punten verbeterd ten opzichte van het start ontwerp op basis van HEAT-INSYDE (H2020 project)

- Flexibelere plaatsingsmogelijkheden door de verbinding tussen de CB en TCM reactor
- Reductie warmte verlies door verlagen warm buiten oppervlak tijdens ontladen
- Makkelijker drukvast maken door ronde vormen
- Significante assemblage tijdverkorting door weghalen van het aantal kleppen
- Kosten reductie door ontbreken pneumatisch systeem
- Vullen van TCM bed makkelijker door andere geometrie
- Bed vorm verhoogd de effectieve opslag capaciteit
- Drukval gereduceerd (aangetoond met behulp van eerste drukval metingen over het TCM bed) t.o.v. initiële ontwerp

De componenten unit is op verschillende punten verbeterd:

- Compacter ontworpen, zodat dit in de toekomst ook een compactere plaatsing tegen de wand kan krijgen. Voor testmogelijkheden is de opstelling groot uitgevoerd, maar dit kan in de toekomst compacter.
- Water en elektra connecties krijgen een koppel punt aan de bovenkant van de CB (net als bij de meeste warmtepompen). Water en elektra worden gescheiden. Betere isolatie mogelijkheden en veiliger.
- Verdampers en condensoren zijn parallel geschakeld, zodat de nieuwe innovatie in het systeem geïntegreerd kan worden.
- Klep systeem ontwikkeld om de verdampers en condensoren in lijn aan te blazen
- SHX warmtewisselaar uitgevoerd zodat dit ook een condensor kan zijn.
- Nieuw concept drukvast maken van de CB, resulterend in betere onderhoudsmogelijkheden.

Het regelsysteem is zover ontwikkeld dat de testen aan de warmtebatterij uitgevoerd kunnen worden.

2.5.2 Prestatieanalyse compacte warmtebatterij onder testcondities (Act.5.4)

Het testplan is opgesteld en uitgewerkt in samenspraak met het consortium. Hierbij is gekozen de testen uit te voeren bij Cellcius en na een positieve FAT en SAT over te dragen aan resultaat 8. Belangrijkste onderdelen van het testplan zijn de volgende onderdelen:

Laden (dynamisch en statisch):

- Noodzakelijk laad temperatuur: 70°C
- Laad vermogen afhankelijk van de temperatuur: 1 kW op 70°C
- Elektra verbruik incl. rand apparatuur (bv. Warmtepomp): <14% van opslag vermogen
- Opstart tijd: < 1uur

Ontladen (dynamisch en statisch):

- Ontlaad temperatuur: >60 °C
- Ontlaad vermogen afhankelijk van de temperatuur: 1 kW bij 60°C afgifte temperatuur
- Elektra verbruik incl. rand apparatuur (bv. Warmtepomp): <14% van thermisch ontlad vermogen
- Opstart tijd: < 1 uur

2.6 Resultaat 6: Design support tool

2.6.1 Inventarisatie wensen en eisen van potentiële eindgebruikers

Er is gesproken met gebouw- en woningeigenaren, architecten, ontwerpers en (renovatie) bouwondernemingen om een goed beeld te krijgen van de eisen en wensen in de grondgebonden woningbouw. In samenwerking met Aldowa zal een gebruikerssessie gepland worden met architecten en gebouweigenaren voor de hoogbouw. Hiervoor zal de mock-up voor de hoogbouw- en utiliteit worden ingezet, zie figuur bij activiteit 1.1.

2.6.2 Selectie applicatie ter ondersteuning voor bouwproject ontwerpers

Er is een rekenmodel opgesteld o.b.v. normjaar NEN5060. In dit normjaar zijn weergegevens, zoals zon, temperatuur, wind en regen en bewolking beschikbaar en wordt het systeem in een woning het hele jaar doorgerekend op uurbasis. De door TNO op de Solarbeat gemeten meetdata van de collectorcurven zijn input voor de prestaties. De elektriciteitsvraag en aanbod gedurende het jaar kan nu voor verschillende configuraties en situaties berekend worden en daarmee kan de juiste warmteschil bepaald worden en de juiste installaties. Het is dus de basis voor de Design Support Tool en de regeling (R7). De output van de rekentool is een energierapportage waar de verschillende scenario's met elkaar worden vergeleken.

2.7 Resultaat 7: Regelsysteem

Het ontwerp van de hardware controller is afgerond, op het geheugen van een component na. Communicatie via alle protocollen, zoals gedefinieerd voor het project, is gevalideerd. Het functionele ontwerp en de testresultaten van de hardware zijn besproken door Emergo en TNO dit voorjaar. De hardware ontwikkeling zal worden afgerond met de vastlegging van het elektrische schema met componenten. Daarnaast is ook een basis installatie van de controller software beschikbaar gekomen dit voorjaar.

2.8 Resultaat 8: Integraal prototype

In R8 zal de complete combinatie van warmtebatterij, warmtepomp en warmtewingevel worden getest in een systeem test op SolarBEAT. Het ontwerp daarvoor is inmiddels gemaakt. In de eerste periode (Act.8.1) zullen alle afzonderlijke deelcomponenten worden geanalyseerd op correct functioneren. Daarna volgt (Act.8.2) een periode van 3 maanden waarin het integrale prototype wordt getest op systeemgedrag en systeemperformance in een situatie waarin tapwatervraag en ruimtevraag gesimuleerd zal worden.

3 Impact

3.1 Beoogde impact

3.1.1 Waarde voor afnemer en gebruiker

Het verduurzamen van de gebouwde omgeving is een belangrijk onderdeel van de door het parlement in 2019 aangenomen Klimaatwet. Om de doelstellingen voor 2050 waar te maken staan zowel private als collectieve woningeigenaren samen met bouwend Nederland voor een immense verduurzamingsopgave van circa 1.000 woningen per dag!

Zowel de particuliere woningbezitters als collectieve woningeigenaren (woningcorporaties) en hun huurders zullen hun woningen in de komende decennia moeten verduurzamen. De verduurzaming van de Nederlandse woningvoorraad gaat veel verder dan het sec gasloos maken van woningen of het leggen van PV op daken. Een verduurzaming zal in zeer veel gevallen bestaan uit zowel energie-technische als bouwkundige aanpassingen aan de woningen. De eigenaren en bewoners worden geconfronteerd met nieuwe, voor hun vaak onbekende technologieën, investeringen, overlast van werkzaamheden zowel aan hun eigen woning, als die van de buurt waarin ze wonen.

IWP is een vorm van selectieve vernieuwing die zich primair richt op de grondgebonden seriematige woningbouw. De resultaten zijn waarschijnlijk – met aanpassingen – ook bruikbaar voor andere bouwtypes. IWP kan ook toegepast worden bij complete schilvernieuwing.

IWP maakt een labelstap naar NOM mogelijk. De meeste selectieve renovaties halen maximaal een stap naar label A. IWP is daarmee vooral aantrekkelijk voor woningen:

- a. Waarvan de gevels bouwkundig nog in goede staat zijn;
- b. Waarbij geen directe behoefte aan comfortverbetering bestaat;
- c. Waarvoor een beperkt renovatiebudget beschikbaar is.

Hierbij kan gedacht worden aan woningen van voor de jaren 80 die (door een bouwkundige renovatie) in goede staat zijn, maar ook aan de woningen uit de jaren 80 en op termijn de jaren 90. We hebben IWP gescoord ten opzichte van de eerdergenoemde belangen, die de waarde van de oplossingen voor de bewoners c.q. woningeigenaren vertegenwoordigen. Dit leidt tot onderstaande tabel.

Tabel 2 - Waardetabel IWP

Belangen	Score IWP	Toelichting
Haalbaarheid en hoogte investering	+	Complete schilvernieuwing zoals bekend uit o.a. Stroomversnelling is vaak niet haalbaar door hoge investering; IWP biedt mogelijkheid om NOM te realiseren met selectieve schilrenovatie en integratie met warmteschil, warmteopslag en warmtepomp.
Terugverdientijd	+	Door de beperkte bouwtechnische ingrepen is de investering (en terugverdientijd) lager.
Hoogte toekomstige energierekening	++	IWP maakt gebruik van elektriciteitsnetwerk nagenoeg overbodig: optimale energierekening.
Invloed op energierekening	++	IWP biedt een per woning afgestemde energieoplossing en geeft de bewoner een maximale invloed op de energierekening.
Uitstraling van de woning	++	Productoplossingen voor de warmteschil zijn fraai en geven de woning een esthetische upgrade.
Renovatie passend bij technische staat van de woning	+	IWP is uitermate geschikt voor woningen waarvan het casco en de gevels nog in goede staat zijn, maar kan ook toegepast worden in complete schilvernieuwing.
Behouden / verhogen wooncomfort	+	IWP biedt mogelijkheden voor behoud en verhoging van het wooncomfort, afhankelijk van de startsituatie.
Beperking overlast tijdens renovatie	+	Door toepassing van prefab componenten is de renovatie snel en efficiënt, wat de overlast significant beperkt ten opzichte van andere strategieën.
Reducering van kosten netverzwaring	++	Door de schilvernieuwing zal de warmtevraag dalen, wat de energievraag vanuit de warmtepomp reduceert, daarnaast worden er twee technologieën ingezet de COP van de warmtepomp te verhogen, ook op ongunstige momenten.

3.1.2 Waarde in bredere zin

Waarde voor energie partijen: Lagere netwerkbelasting betekent lagere investering

De oplossing met warmteopslag zorgt voor een hogere initiële investering, maar biedt wel de mogelijkheid om het gebruik van het elektriciteitsnet te minimaliseren. Het ligt in de lijn der verwachting dat de salderingsregeling geheel afgebouwd wordt, wat de wenselijkheid van onafhankelijkheid van het elektriciteitsnet (voor piekmomenten zowel in opwekking als gebruik) door middel van lokale warmteopslag versterkt.

Waarde voor omgeving / gemeentes: Minimale overlast, in renovatieoverlast en geluid

Alle renovatieactiviteiten zorgen voor overlast voor zowel bewoners als burens. IWP is een renovatieaanpak die minder ingrijpend is dan andere strategieën (zie tabel 2.1). Veel energierenovaties maken gebruik van een luchtwarmtepomp. Deze apparaten zorgen voor geluidsoverlast bij bewoners zelf en hun burens. IWP maakt geen gebruik van ventilatoren die genoemde geluidsoverlast veroorzaken. Daarnaast moeten gemeentes keuzes gaan maken in de transitieopgave, de IWP helpt hierbij.

Waarde voor bouwers: Brede toepasbaarheid en schaalbaarheid levert versnelling

IWP is door de toepassing van mass-customization principes eenvoudig schaalbaar voor de doelmarkt. Ook is IWP – met aanpassingen – toepasbaar voor andere gebouwtypologieën.

4 Publicaties

De volgende (media)publicaties hebben plaatsgevonden:

Datum	Titel publicatie	Uitgever
03-11-2023	Stabilization of salt hydrates using flexible polymeric networks	Energy, Elsevier
01-07-2023	Polymeric stabilization of salt hydrates for thermochemical energy storage	Applied Energy, Elsevier