



Voortgangsrapportage

1 maart 2021 – 28 februari 2022

Consortium Intelligente WarmteProductie

Openbaar

Titel	Openbare voortgangsrapportage
Subtitel	Intelligente Warmte Productie
Periode	1 maart 2021 – 28 februari 2022
Auteur(s)	Bart Erich, Pim Donkers, Tobias Borst & projectpartners
Publicatiedatum	25-03-2022

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.

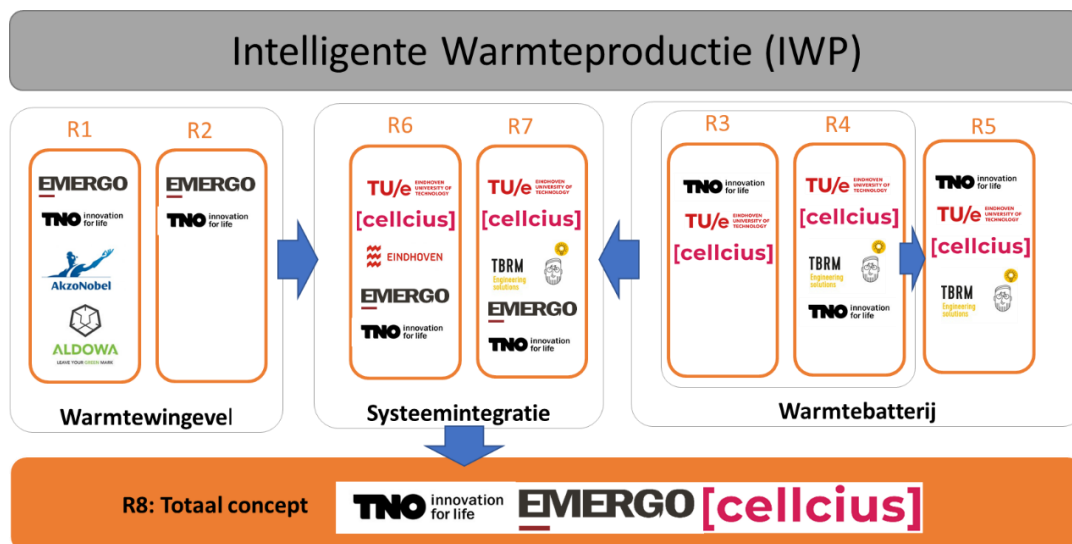
Inhoud

1	Inleiding.....	4
1.1	Consortium	4
1.2	Doelstelling en uitgangspunten	5
2	Activiteiten	5
2.1	Resultaat 1: Maatwerk warmteschil (MP3).....	5
2.2	Resultaat 2: Koeling (MP6).....	8
2.3	Resultaat 3: Verbetering efficiëntie door stabiel TCM bed (MP1)	9
2.4	Resultaat 4: Geoptimaliseerde werktemperaturen van de warmtebatterij (MP2)	14
2.5	Resultaat 5: Prototype warmtebatterij (MP4)	16
2.6	Resultaat 6: Design support tool (MP7).....	16
2.7	Resultaat 7: Regelsysteem (MP5).....	16
2.8	Resultaat 8: Integraal prototype (MP8).....	16
3	Impact.....	17
3.1	Beoogde impact	17
4	Spin-off en publicaties.....	18

1 Inleiding

Deze voortgangsrapportage beschrijft de voortgang die gemaakt is in het eerste 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. In het eerste jaar is met name gewerkt aan het verder ontwikkelen van de warmtewingevel (R1 en R2) en de warmtebatterij (R3, R4 en R5).

1.1 Consortium



Figuur 1 - 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 figuur staat vermeld welke projectpartners bij welke Resultaten betrokken zijn.

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

Tabel 1 - Overzicht projectpartners

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

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 warmtegevel en een warmtebatterij - met bestaande warmtepomptechnologie in een nieuw prefab concept met een geactiveerde woningschil.

Beiden naderen marktrijpheid en versterken elkaars prestaties in een geïntegreerd systeem gecombineerd met een warmtepomp.

2 Activiteiten

2.1 Resultaat 1: Maatwerk warmteschil (MP3)

Resultaat 1 onderzoekt hoe flexibel een warmteschil ontworpen kan worden met behoud van hoge thermische efficiëntie voor verschillende paneelvormen, -patronen en -kleuren voor kleine oplages (<20 m² per woning). Afgelopen periode is een begin gemaakt met het onderzoeken van verschillende opties om deze onderwerpen verder te brengen. Daartoe is een eerste serie collectoren geproduceerd met verschillen in coatingtechnologie, dikte van de coating en buisafstand. Mijlpaal 3 is gepland voor februari 2023.

2.1.1 Vergroten vormvrijheid voor flexibel paneelontwerp

De aluminium gevelpanelen die als drager van het buizensysteem dienst doen kunnen tot op zekere hoogte in vrijwel iedere afmeting geproduceerd worden. De gevelpanelen zijn zo ontwikkeld dat deze binnen de grenzen van het machinepark en hanteerbaarheid op de bouw in zowel hoogte als breedte met maximaal afmetingen gemaakt kunnen worden.

Er is een grote vormvrijheid, panelen kunnen rond gewalst worden, geknikt uitgevoerd worden, maar ook diverse 2D vormen als driehoeken e.d. zijn mogelijk. Op dit moment is de beperkende factor de vormvrijheid van het buizensysteem en het coatingsysteem, alleen op vlakke delen van gevelpanelen is het buizensysteem nu te bevestigen. Het grote voordeel van de warmte wingevel is dat uiterlijk geen verschil zichtbaar is tussen actieve en passieve panelen. Waardoor gekozen kan worden voor het alleen activeren van panelen met een voldoende groot oppervlak t.b.v. het buizensysteem.

De vervolgstappen zijn nu het paneelontwerp voor verschillende toepassingen (industriële pand, woningbouw hoogbouw, oplossingen voor A-locaties, grondgebonden woningen), buizen opties, alsook poeder opties.

2.1.2 Optimalisatie warmteoverdracht door buizenstructuur

Bij gebruik van de warmtewingeverel als bron voor een warmtepomp, functioneert de gevel niet alleen als 'zonne'collector, maar ook als warmtewisselaar. Er is gewerkt aan een model om de warmteoverdracht van de absorber naar de vloeistof te optimaliseren.

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

De huidige generatie van warmtepanelen worden gecoat via een industrieel coilcoating proces. Hierbij wordt een opgerolde aluminium plaat (de coil) machinaal uitgerold, gecoat en vervolgens weer opgerold. De gecoate coil wordt vervolgens getransporteerd naar een gespecialiseerd metaalverwerkingsbedrijf waar de warmtepanelen uit de aluminium rol wordt uitgesneden en gevormd. Dit proces heeft als voordeel dat er grote hoeveelheden (standaard) panelen kunnen worden gemaakt met een constante (hoge) kwaliteit tegen een lage prijs. Het nadeel van deze methode is echter dat de panelen relatief dun zijn, waardoor de spanwijdte beperkt wordt, en dat er alleen grote hoeveelheden panelen zijn te maken, d.w.z. de kleinste coil die verkrijgbaar is heeft een oppervlak van $\sim 750\text{m}^2$.

De bouwindustrie heeft ook behoefte aan kleinere series panelen waarbij ook grotere spanwijdtes kunnen worden overbrugd en complexe(re) vormen kunnen worden gemaakt. Deze panelen worden eerst uit (plaat) aluminium gemaakt, waarna ze worden gepoedercoat. Het poedercoaten verschilt echter behoorlijk van coilcoaten en het is geenszins gegarandeerd dat de warmte absorptie en doorgifte op dezelfde manier verloopt als bij coilcoating. Zo hebben poedercoatings in het algemeen een grotere laagdikte dan coilcoatings en wordt er bij poedercoaten meestal gebruik gemaakt van enkel laag systeem. Coilcoating maakt altijd gebruik van meerlaags systemen waarbij er meer vrijheidsgraden zijn om de zonne-energie absorptie te optimaliseren.

Er zal in dit onderdeel stapsgewijs worden toegewerkt naar een begripsvorming in hoeverre de warmte absorptie van poedercoatings verschilt van coilcoatings. Hiertoe zullen verschillende poedercoatings (met verschillende warmte absorpties) op warmtepanelen worden geapliceerd en bij SolarBEAT op efficiëntie worden beoordeeld. Ook zal er worden gekeken naar meerlaags poedersystemen.

In de afgelopen periode is er een start gemaakt met de experimentele werkzaamheden: een zwart warmtepaneel welke met een maximale warmte absorptie is gemaakt en klaar om bij SolarBEAT geïnstalleerd te worden. Een lab evaluatie van de overige testkleuren wordt momenteel uitgevoerd, waarbij de kleurselectie is gemaakt o.b.v. technische criteria (kleur en zonnewarmte absorptie) en nog niet o.b.v. de verwachte marktbehoefte. Met name ook afgifte voor koelingstoepassingen wordt momenteel (nachtelijke uitstraling op daken) onderzocht.

2.1.4 Productie serie IWP-collectoren

Nieuwe IWP-collectoren met een verbeterde warmteoverdracht voor koeling in de zomer (en betere opwarming koude zijde warmtepomp in de winter) zijn ontworpen en geproduceerd door Aldowa en Emergo. Er zijn 6 warmtecollectoren voor de façade opstelling en 3 collectoren voor de schuindak opstelling gemaakt. Daarnaast zijn er 3 dummypanelen gemaakt. De collectoren verschillen in type en dikte van de coating, afstand tussen de buisjes en de dikte van de panelen. Om deze verschillen met elkaar te kunnen vergelijken (poedercoatings zijn dikker en hebben daardoor mogelijk een mindere warmteoverdracht) zijn deze collectoren allemaal uitgevoerd met een RAL 9005 zwarte coating. De prestatie van de collectoren wordt gemeten (zie sectie 2.2.2).

De panelen zijn geactiveerd, bij SOLARBEAT geïnstalleerd en worden gemonitord (zie figuur 4 op pagina 8).

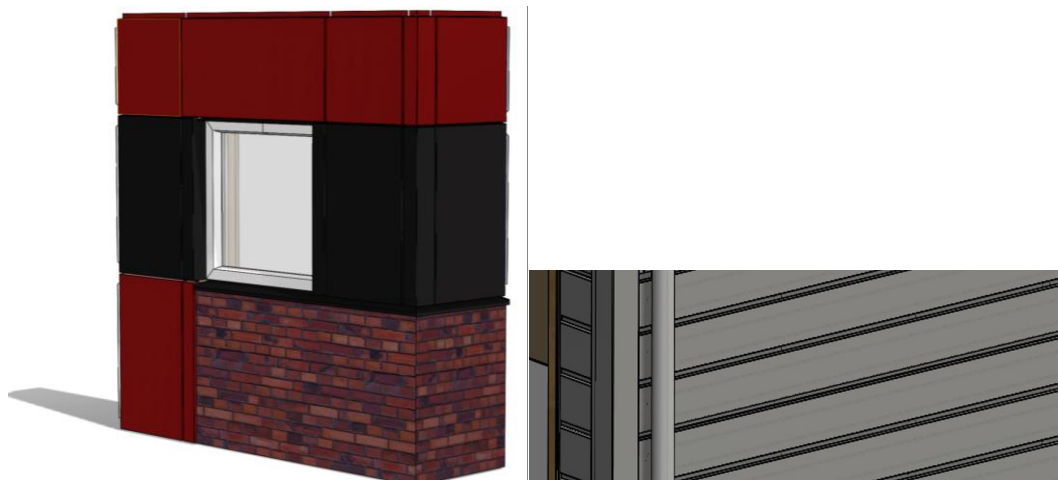
2.1.5 Integraal renovatieconcept voor de gebouwschil

Er is gewerkt aan een renovatieconcept voor dak en gevel waarin de warmtepanelen geïntegreerd zijn. Voor het dak is gekeken naar een concept waarin zowel zonnewarmte- als zonnestroompanelen geïntegreerd kunnen worden.



Figuur 2 Renovatiedak (links) en impressie van mogelijke oplossing (rechts)

Op de voorgaande afbeeldingen is het huidige renovatie dak van Emergo te zien en een impressie van de beoogde oplossing met zonnewarmte- als zonnestroompanelen. Voor de gevel wordt gewerkt aan een de keuzemogelijkheid van warmtewincassettes of -rabbatdelen. De rabbatdelen kunnen zowel horizontaal als verticaal toegepast worden.



Figuur 3 Impressies van IWP-cassettes (links) en IWP-rabbatdelen

Bij zowel het dak als gevel moet de warmte zo gelijkmatig over het oppervlak onttrokken worden. Dit stelt hoge eisen aan de verdeling van de vloeistof door de verschillende delen. Voor het verdelen van de vloeistof over de panelen wordt dan ook een speciaal leidingstelsel ontwikkeld. Dit leidingstelsel verdeelt de vloeistof over de panelen en gaat uiteindelijk met 1 aanvoer en 1 retour door de gebouwschil naar binnen. Deze nieuwe aanpak vereenvoudigt de installatie techniek enorm, waardoor er kosten bespaard wordt. De warmtewinschil is daarmee de bron voor de warmtepomp die zowel warmtapwater als de ruimteverwarming verzorgt. In de zomer kan de warmtewinschil gebruikt worden om de woning te koelen.

2.2 Resultaat 2: Koeling (MP6)

2.2.1 Technisch ontwerp van koelingsconcept voor (grondgebonden) seriematige renovatie woningbouw

Dit onderdeel is (volgens plan) nog niet begonnen.

2.2.2 Onderzoek en beproeving van koeling op SolarBEAT

Voor het onderzoek naar de performance van deze nieuwe IWP-collectoren is het nodig geweest om de thermische infrastructuur op onderzoeksfaciliteit SolarBEAT aan te passen. De thermische infrastructuur is in februari 2022 opgeleverd.

De thermische performance metingen zijn recent als volgt gestart:

- Cabin 6, IWP-facade-opstelling (zie Figuur 4): vanaf 2022-02-02 diverse settings voor variërende invoertemperatuur uitgevoerd. Het systeem blijft op druk, ook bij temperaturen onder 0 graden Celsius waarbij er aanvriezing van condens uit lucht plaatsvindt. De thermische performance wordt de komende tijd verder uitgewerkt. In de zomer vinden experimenten voor koeling plaats.
- Cabin 5, IWP-schuindak-opstelling (zie Figuur 5): vanaf 2022-02-15 diverse settings voor variërende invoertemperatuur uitgevoerd. Vervolgstappen zijn het doorvoeren van diverse meetcampagnes met variërende invoertemperatuur en flow. Dit is van belang om de thermische performance van de collectoren bij inzet in een systeem met warmtepomp en warmtebatterij te kunnen voorspellen.

Wij lopen op dit punt voor op de planning. Echter gedurende winter periode was meten van nachtelijke uitstraling gewenst. Nieuw is ook de metingen op dakpanelen.



Figuur 4: Nieuwe IWP-facade collectoren (6 stuks) gemonteerd op Cabin 6 van SolarBEAT.



Figuur 5: Nieuwe IWP-schuindak collectoren (3 stuks) en dummy-platen (3 stuks) gemonteerd op Cabin 5 van SolarBEAT. Aannemer zal binnenkort de zijkant afwerking met gewone dakpannen uitvoeren. Dit is puur esthetisch. Het systeem zoals nu op de foto te zien, is al waterdicht.

2.3 Resultaat 3: Verbetering efficiëntie door stabiel TCM bed (MP1)

2.3.1 Inleiding

Resultaat 3 is gezamenlijke activiteit van de TU/e, TNO en Cellcius met als doel om een stabiel reactor bed te realiseren. Stabiliteit betreft de drukval over het bed van TCM deeltjes. De TCM deeltjes zijn K_2CO_3 -gebaseerde tabletten, waarvan de basistechnologie ontwikkeld is in het H2020 project HEAT INSIDE door de TU/e, TNO en Cellcius¹. Hiervoor zijn in de projectbeschrijving de volgende KPI's gedefinieerd:

- **Drukval:** deze mag met maximaal 20% toenemen over 10 laad/ontlaadcycli.
- **Vermogen:** het minimale vermogen dat het bed moet kunnen generen is 25 W/kg.

Er wordt gewerkt langs twee lijnen:

- **Lijn A:** ontwikkeling van een nieuwe stabilisatiemethoden voor K_2CO_3 -tabletten.
- **Lijn B:** productie van reeds ontwikkelde tabletten om reactorontwikkeling te faciliteren.

De resultaten 3.1 – 3.3 adresseren elk een stabilisatieroute: stabilisatie door encapsulatie met een coating (3.1), stabilisatie door skeletvormende binder (3.2) en stabilisatie door mechanische interventies in de bedgeometrie (3.3).

¹ <https://www.heat-insyde.eu/>

De voortgang op deze deelresultaten zal in de volgende paragrafen besproken worden. Hier worden kort een drietal project gerelateerde punten besproken: 1) harmonisatie van de tijdsplanning i.v.m. afstemming op de resultaten van R4 en R5, 2) productie materialen voor demonstrators en 3) de “go/no-go 1”.

1. **Harmonisatie:** In het oorspronkelijke plan loopt R3 t/m februari 2023. Terwijl er t/m februari 2024 materialen ontwikkeld en gemaakt moeten worden voor R4/5. Daarom is reeds een verzoek tot verlenging van R3 ingediend en goedgekeurd.
2. **Productie voor demonstrators:** In samenspraak met R4/5 is afgesproken dat er op 3 momenten in de tijd batches materialen zullen worden aangeleverd.
 - September 2022: 30 – 40L voor reactortesten
 - Juli 2023: 333L voor de eerste demonstrator
 - Februari 2024: 333L voor de tweede demonstrator.
3. **Go/no-go 1:** Er is besloten om de ontwikkelingen die in gang gezet zijn door te zetten. Er is een high-throughput 1L reactor ontwikkeld aan de TU/e, waarmee tests uitgevoerd aan lijn B materialen. Deze liggen nog niet op het niveau van maximaal 100% toename in drukval over 10 cycli, maar maken ook nog geen gebruik van binnen R3.1-3.3 in ontwikkeling zijnde stabilisatiemethodes. Dit besluit is gebaseerd op de volgende overwegingen:
 - De voorziene demonstraties kunnen gedaan worden met de lijn B materialen. Dit maakt het mogelijk om parallel materiaaleigenschappen te verbeteren en reactortesten en -demonstraties uit te voeren.
 - Er zijn binnen R3.1/3.2 stabilisatietechnologie in ontwikkeling die veelbelovend lijken op labschaal, en bij succes opschaalbaar zijn m.b.t. materiaalproductie. Er wordt gewerkt aan gecoate tabletten een ‘fiber reinforced’ tabletten.
 - Tevens zal er in het voorjaar 2022 een parallel project gestart worden door de TU/e, TNO en Cellcius om een beter begrip van het zwelproces te krijgen. De kennis die dit oplevert zal het ontwikkelingsproces in R3 versnellen.

2.3.2 Resultaat 3.1: TCM stabilisatie coating

Activiteiten

In dit resultaat wordt gezocht naar (mechanische) stabilisatie van K₂CO₃-tabletten door middel van een coating (encapsulatie). Een hoofdprobleem van het huidige materiaal is het uitzetten van de tabletten bij hydratatie en krimpen bij dehydratatie. Deze proces, vooral het krimpen bij dehydratatie is niet volledig reversibel, als gevolg neemt het volumen van de tabletten gedurende hydratatie/dehydratie cycli toe, wat in een stijging van de drukval over een gepakt bed vertaalt. In dit resultaat wordt gezocht naar manier om de uitzetting van de tabletten over progressieve cycli te beperken, dit zal worden gerealiseerd door middel van een (elastische) schil (coating). De activiteiten zetten eerder werk gerealiseerd in samenwerking van de TU/e en TNO² voort. De volgende activiteiten zijn ondernomen:

- Er is selectie van geschikte polymeren gemaakt, die wateroplosbaar zijn (verwerking), de kinetiek van de hydratatie niet veranderen (power) en chemisch/thermisch stabiel zijn. Verder is de mogelijkheid tot cross linken van belang, om water oplosbaarheid van de coating te beperken en de mechanica (rek bij breuk, elasticiteitsmodule) van fundamenteel belang.
- Er zijn op lab schaal coating experimenten volgens een in praktijk relevante proces (drum coating) uitgevoerd, de gecoate tabletten zijn uitgevoerd, de gecoate tabletten zijn getest m.b.t tot het kinetisch gedrag en de (mechanische) stabiliteit van de coating en de tabletten over meerdere cycli.

² Ravensteijn et al., ACS Applied Polymer Materials, 3, 1712-1726

Resultaten

Hydroxypropylcellulose is de beste optie als coating materiaal, homogene coatings kunnen worden aangebracht.

Crosslinking kan worden uitgevoerd tijdens dehydratie van de tabletten, de coating is in water onoplosbaar. De coating wordt door crosslinking harder en broser. Verder is het mogelijk door gebruik van weekmakers de van de coating te beïnvloeden. Generieke observaties:

- Veel weekmaker maakt schil (te) zacht,
- crosslinked coatings zonder weekmaker zijn permeabel en broser.

Volgende stappen:

- Kinetiek bepalen: enkele losse gecoate deeltjes bestuderen
- Opschalen productie: met oog op bed testen
- Drukval bed testen over cycli (Cellcius)



Figuur 6: Coatings naar oplossing in water (niet gecrosslinked, gecrosslinkt, gecrosslinkt met weekmaker)

2.3.3 Resultaat 3.2: TCM stabilisatie door binder

Activiteiten

In dit resultaat wordt gezocht naar stabilisatie van K_2CO_3 -tabletten (zie foto). De reactiekinetiek (vermogen) is recentelijk opgehelderd door de TU/e en TNO³. Dergelijke tabletten groeien in omvang gedurende hydratatie/dehydratie cycli. In dit resultaat wordt gezocht naar 'binders' die een skelet vormen en zo de tablet meer consistentie geven, en daardoor het zwellen onderdrukken. De volgende activiteiten zijn ondernomen:



Figuur 7: Gestabiliseerd K_2CO_3 tablet

- Er is een lijst met randvoorwaarden opgesteld m.b.t. eisen aan aard van de 'binders' en het productieproces.
- Er is een uitgebreid literatuuronderzoek verricht naar potentieel interessante chemie die compatibel is met het bestaande tabletteerproces.
- Eerste testen met fiber-versterkte tabletten zijn uitgevoerd.

Resultaten

Allereerst is een lijst met voorwaarden opgesteld:

- De binder moet chemisch/thermisch stabiel zijn onder gebruikscondities ($T < 200^\circ\text{C}$).
- De binder mag het vermogen niet verlagen en slechts een beperkte invloed hebben op de energiedichtheid.
- De introductie van de binder moet mogelijk zijn binnen het bestaande tabletteerproces, bij voorkeur slechts leiden tot één extra processtap, en geen gebruikmaken van grote hoeveelheden organisch oplosmiddel.
- Extra processtappen, nodig door de introductie van de binder, moeten schaalbaar zijn en gedaan kunnen worden op basis van bestaande processingtechnologie.

Deze zullen in de komende periode onderzocht worden.

³ Aarts et al., J Journal of Energy Storage, 47, 103554 (2022).

2.3.4 Resultaat 3.3: Verbeteren bed eigenschappen door bed geometrieën

Activiteiten

In dit resultaat wordt gezocht naar een mechanische toevoeging aan het TCM bed met als doel de drukval over het bed stabiel tot houden (dat is zo min mogelijk te laten oplopen na oplopende cycli). Bij 'mechanische toevoeging' moet o.a. gedacht worden aan verende reactorwanden, buisjes in het bed en de precieze reactorvorm. Om direct inzicht te krijgen in de effecten van mechanische stabilisatie wordt het gedrag van een reactor gedetailleerd in beeld gebracht met behulp van geavanceerder meettechnieken zoals MRI en CT.

Resultaten

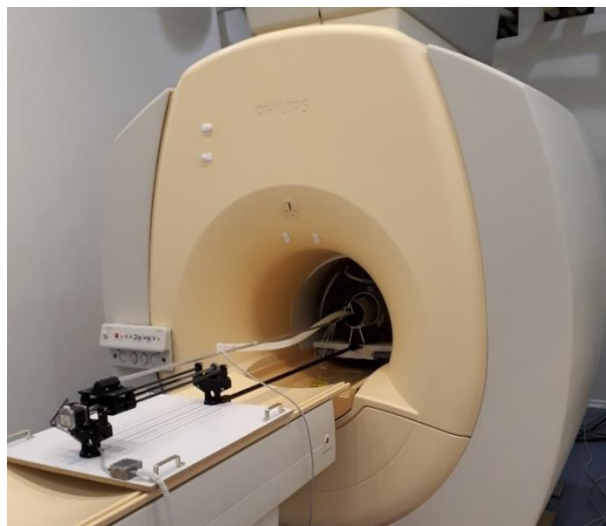
Er is een speciale setup ontworpen om een TCM-reactor in beeld te kunnen brengen met een NMR-setup gebaseerd op 1.5T medische MRI. Meer gedetailleerd:

- Er is een reactor gebouwd van een hittebestendige kunststof (PEEK) welke onzichtbaar is met NMR. In deze reactor zijn temperatuur en druksensoren opgenomen. De reactor heeft een lengte van 200 mm en doorsnede van 80 mm.



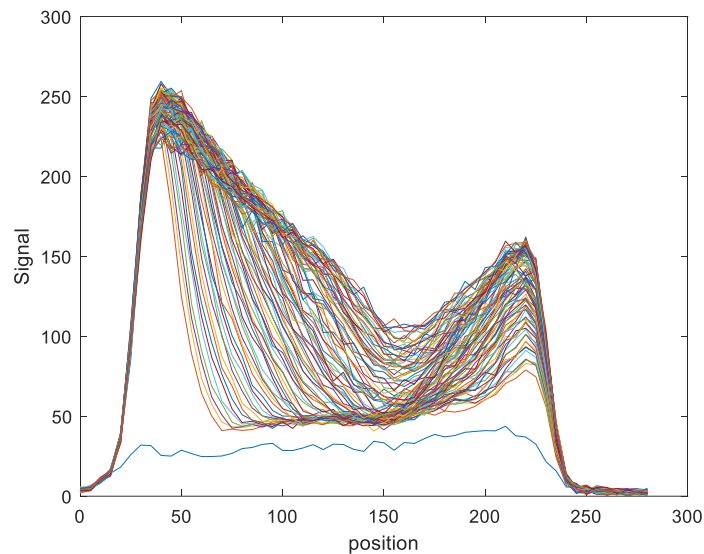
De reactor gemaakt van PEEK. Duidelijk zichtbaar zijn de thermokoppels

- Ten behoeve van het volledig in beeld te kunnen brengen van de reactor is een speciale manipulator gebouwd, welke ook kan werken het magnetische strooiveld van de MRI.



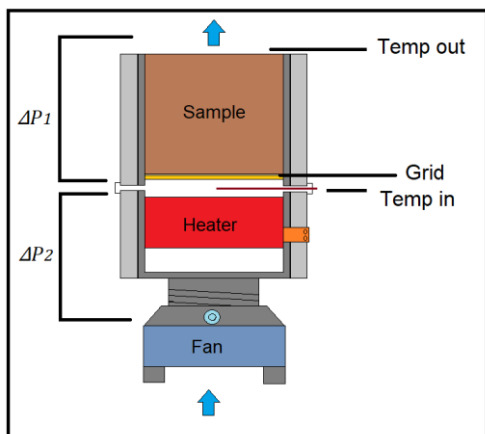
De 1.5T magneet van de MRI welke gebruikt wordt om de TCM-reactor gedetailleerd in beeld te brengen. Op de voorgrond is de manipulator te zien welke gebruikt wordt om de reactor door de MRI te schuiven

- In eerste instantie is als test gemeten aan een reactor van zeoliet korrels. Deze laten zien dat de opstelling lijkt te voldoen aan de verwachtingen.



Een testmeting van een zeoliet reactor. Weergegeven zijn de gemeten vochtprofielen tijdens het bevochtigen van de reactor. Duidelijk zichtbaar is het inlopende reactiefront

- Omdat de metingen in de MRI-complex en tijdroven zijn is ervoor gekozen om een additionele kleine reactor te ontwikkelen om sneller de meest belofde mechanische stabilisatie te kunnen selecteren. Met deze reactor kan snel de drukval van deeltjes bedden gescreend worden. Dit maakt het mogelijk om deeltjesvormen en -groottes systematisch te testen.



De een kleine test reactor om snel te verschillende configuraties van de reactor te kunnen testen.

2.4 Resultaat 4: Geoptimaliseerde werktemperaturen van de warmtebatterij (MP2)

2.4.1 Inleiding

Een van de nadelen van de commerciële uitrol is het genereren van waterdamp. Hoe lager de temperatuur voor het verdampen mag zijn, hoe makkelijker deze gevonden kan worden binnen de aanwezige infrastructuur. Door een efficiënte manier van verdampen te gebruiken en daarmee lagere warmtebronnen te accepteren zal het mogelijk zijn om vaker laagwaardige warmte vanuit de gevelpanelen te gebruiken om te ontladen. Hierdoor zal de batterij hogere rendementen kunnen halen, maar ook de panelen meer vermogen kunnen leveren (zie resultaat 1).

Daarnaast is veelvuldig gebruik van de batterij over het gehele jaar van belang om de investering in de batterij rendabel te maken. Concreet betekent dit dat voor de commerciële uitrol van de warmtebatterij het laden van de batterij in winterse omstandigheden cruciaal gaat worden. Op dit moment is het niet mogelijk de batterij te laden met de meeste standaard warmtepompen voor de consumentenmarkt vanwege de gevraagde laad temperatuur van minimaal 80 °C. Dit zorgt ervoor dat de batterij met zonnecollectoren of PV-panelen geladen moet worden, welke in de winter een laag rendement hebben. Binnen activiteit 4.2 zal onderzocht worden hoe de laadtemperatuur verlaagd kan worden door middel van het verlagen van de waterdampdruk in het systeem.

2.4.2 Optimalisatie van verdampingstemperatuur

Activiteit

Het effectief reguleren van de waterdampdruk in de batterij opstelling is van belang om de batterij efficiënt te laten draaien. Het verhogen van de waterdamp druk met een enkele mbar kan de efficiëntie van het systeem bij de lagere verdampingstemperaturen (<20 °C) met 10-25% verhogen, bij het leveren van dezelfde eindtemperatuur. Er zal met name gewerkt worden aan de spray methode en type warmtewisselaars. Het ontwerpen en bouwen van verschillende testopstelling zal gebeuren bij Cellcius en TBRM, het uitvoeren van de metingen zal gebeuren op de TU/e en Cellcius.

Resultaten

Binnen deze activiteit is er met name gezocht naar het bevochtigen van de lucht. Een drietal methodes is onderzocht om de lucht te bevochtigen. De test methodes resulteren in een vochtige luchtstroom. Doordat niet al het water verdampt, maar vooral vernevelt, koelt de luchtstroom ver af. Het toevoegen van extra warmte zal zorgen voor hogere absolute waterdamp drukken.

De samenvatting van de eerste testresultaten zijn hieronder weergegeven

1. **Ultrasoon bevochtigen.** De methode werkt, enkel de waterkwaliteit eisen zijn relatief hoog voor de toepassing. Vervuiling vanuit de batterij zelf zou de opstelling kapot kunnen maken.
2. **Benatten door sproeikop:** Methode werkt, veel keuze in sproeikoppen. Het voordeel is dat er geen aanpassingen gedaan hoeven te worden aan de onderdelen in de luchtstroom. Ook hier is het gevaar van onzuiverheden aanwezig. De sproeikop opening kan gevarieerd worden van < 1 µm tot een paar mm. Deze methode heeft geen negatief effect op de drukval, enkel moet wel voldoende waterdruk aanwezig zijn om de nozzles te laten vernevelen.
3. **Benatten door wick-action:** Methode heeft potentie. Het gevaar van deze methode is dat het direct de luchtstroming beïnvloedt. Daardoor kan dit een negatief effect hebben op de luchtstroming. Aan de andere kant is er een minimale vraag aan extra producten om het systeem te installeren.

Deze drie methodes zijn op labschaal getest en gevalideerd. Op basis van deze testen zal er gewerkt worden aan wick-action en de sproeikoppen. Van beide systemen zal er een test opstelling ontworpen worden op significante schaal.

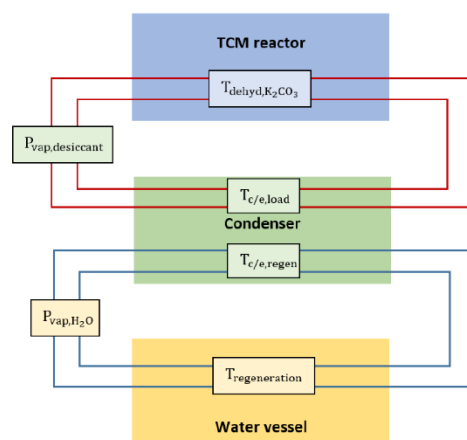
2.4.3 Innovatieve hoge temperatuur condensatie door modificatie condensatie vloeistof

Activiteit

Met een condensatie temperatuur een saturatie waterdampdruk genereren die 15 K onder de daadwerkelijke condensatie temperatuur ligt. Het laden van de batterij is sterk afhankelijk van de waterdampdruk in de batterij. Door het reduceren van de waterdampdruk op de inlaat van het TCM-bed zorgt voor een hogere efficiëntie van het systeem. Wat hier nog belangrijker is, dat een lagere waterdampdruk leidt tot een lagere dehydratatie temperatuur. Dit zorgt ervoor dat de gevraagde temperatuursprong van 60-80 K verlaagd kan worden met 5-15 K. Hierdoor krijg je de mogelijkheid het zout te dehydrateren met de gevelpanelen en de warmtepomp, wat zorgt voor een hoger gebruik van de warmte geproduceerd met de gevelpanelen. Daardoor kan de batterij vaker geladen worden en zodoende vaker ingezet worden om warmte te leveren. In deze activiteit zal de condensor aangepast worden door deze condensor te besproeien van een hygroscopische vloeistof, welke slim herladen zal worden. Het ontwerpen en bouwen van verschillende testopstelling zal gebeuren bij Cellcius en TBRM, het uitvoeren van de metingen zal gebeuren op de TU/e en Cellcius. Dit zal bewezen worden door de waterdamp druk verlaging te meten van de luchtstroom over de condensor bij een toevoer lucht van 25 °C en 20 mbar waterdamp. In rapport vorm zal de potentie van deze drukverlaging gekwantificeerd worden in termen als efficiëntie toename van de batterij.

Resultaten

Allereerst is er een schema gemaakt hoe de nieuwe condensor zou moeten werken. Deze is weergegeven in Figuur 8. Dit figuur laat simplistisch de belangrijkste temperaturen en variabelen zien (waterdampdrukken). De uitdaging is de temperatuur van laden van de TCM (T_{dehyd,K_2CO_3}) zo laag mogelijk te maken, zodat dit kan matchen met de temperaturen geproduceerd via de warmtepanelen of de warmtepomp. Belangrijk is om ook de energie mee te nemen welke nodig is om het systeem te regenereren.



Figuur 8: Schema van de nieuwe condensor.

Er is begonnen met een literatuurstudie van verschillende deliquescence materialen welke de waterdamp druk kunnen verlagen bij gelijke temperatuur. Op basis van deze studie zijn er 3 materialen uitgekomen welke potentie hebben.

Punten van aandacht voor de komende periode:

1. Drukval optimalisatie van het deliquescence materiaal door encapsulatie.
2. Integratie van het deliquescence materiaal in een warmtewisselaar om de gegenereerde warmte weg te koelen. Een eerste opstelling is hiervoor gemaakt. Deze zal komende maand getest gaan worden.
3. Kinetiek optimalisatie van het deliquescence materiaal.
4. Verdampers koppelen aan een TCM-reactor om deze op te laden in-situ.

2.5 Resultaat 5: Prototype warmtebatterij (MP4)

Binnen dit resultaat zal een 200 MJ warmtebatterij ontworpen worden voor testen de warmteschil en warmtepomp in resultaat 6. Op basis van labtesten zal aangetoond worden dat de batterij geladen en ontladen kan worden, met een vermogen van minimaal 1 kW en een capaciteit van 200 MJ. Als dit gerealiseerd is kan de batterij in de toekomst geplaatst worden bij eindgebruikers, vanwege de relatief kleine maat ($< 1 \text{ m}^3$). Deze batterij maakt het dan ook mogelijk warmte op te slaan welke duurzaam is opgewekt. Binnen de warmtebatterij zijn er twee hoofdcomponenten die in resultaat 3 en 4 los van elkaar verbeterd zijn. Deze componenten moeten tezamen een oplossing vormen de mismatch van warmte vraag en aanbod door warmte met voldoende vermogen op te kunnen slaan en te leveren.

De resultaten van resultaat 3 zullen gebruikt worden om een TCM-compartimenten unit te ontwerpen en te produceren. De resultaten van resultaat 4 zullen een belangrijk onderdeel zijn van de warmtewisselaar unit, welke in activiteit 5.2 ontworpen en geproduceerd gaat worden. Het regelen van de verschillende pompen en kleppen zal geregeld worden met een regelsysteem vanuit activiteit 5.3, wat gekoppeld is aan het werk van resultaat 7. Hoe goed de batterij kan werken zal getest worden in activiteit 5.4. Hierna kan de batterij geplaatst worden in een systeem met warmteschil en warmtepomp in resultaat 8.

Dit resultaat is pas net gestart en zal in de komende periode verder opgepakt worden. Op dit moment zijn de eerste brainstormsessies gehouden om de batterij te ontwerpen. Met name het inpassen van de nieuwe verdamper/condensor is kritisch in het ontwerp.

2.6 Resultaat 6: Design support tool (MP7)

Dit resultaat is nog niet gestart.

2.7 Resultaat 7: Regelsysteem (MP5)

Dit resultaat is nog niet gestart.

2.8 Resultaat 8: Integraal prototype (MP8)

Dit resultaat is nog niet gestart.

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 bouwende 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 bouwtypen. 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:

- Waarvan de gevels bouwkundig nog in goede staat zijn;
- Waarbij geen directe behoefte aan comfortverbetering bestaat;
- 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 warmtescil, 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 warmtescil 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, die 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 Spin-off en publicaties

In december 2021 is Calosol B.V. opgericht. Deze B.V. gaat de warmtewingvel op de markt zetten voor de utiliteitsbouw. Daarnaast zal de warmtewingvel de markt bereiken via Emergo Prefab.

De volgende (media)publicaties hebben plaatsgevonden:

Datum	Titel artikel	Naam tijdschrift / krant / etc.
17-03-2021	Renovatieprojecten geven impuls aan verduurzaming gebouwde omgeving	TechniekNederland
Juli/augustus 2021	De gevel als energieleverancier, zout als batterij	E&W Installatietechniek

<https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/de-gevel-als-energieleverancier-zout-als-batterij>

<https://www.technieknederland.nl/nieuwsberichten/renovatieprojecten-geven-impuls-aan-verduurzaming-gebouwde-omgeving>