



# Energie Damwand

SBIR EINDRAPPORTAGE FASE 2

CRUX ENGINEERING IN SAMENWERKING MET TU DELFT, TU EINDHOVEN,  
GROEP DUURZAME ENERGIE EN GOOIMEER BV

## Gegevens Project

|                                      |                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------|
| • SBIR-projectnummer                 | SB1EV18010                               |
| • Projecttitel                       | Energie Damwand                          |
| • Contactpersoon en uitvoerder       | CRUX Engineering B.V., ir. J.K. Haasnoot |
| • Begin en einddatum van het project | 28 november 2019 – 1 november 2020       |

### 1. Management Samenvatting

Doel van het project “Energie Damwand” is de mogelijkheden te onderzoeken om damwanden in kadeconstructies nuttig te gebruiken in de energiehuishouding van de bebouwde omgeving. Door in de kade opwek- en buffercapaciteit van energie te creëren, in de vorm van warmte, kunnen duurzame energiebronnen maximaal worden ingezet bij de verlaging van CO<sub>2</sub> emissies. Het eindproduct van fase 2 is een prototype van de Energie Damwand, getest in een pilot nabij De Zweth in Zuid-Holland.

Fase 2 is afgerond met de oplevering van de proefopstelling en de start van een traject waarin de opstelling in verschillende configuraties beproefd zal worden met het oog op:

- Geotechnisch invloed temperatuur wisseling;
- Opbrengst systeem gedurende alle seizoenen;
- Meest economische configuratie;
- Efficiëntie systeem.

De data die hieruit is verkregen wordt gebruik voor de validatie en toetsing van de ontwerpmodellen. Met het inwerking treden van de proefopstelling is fase 2 succesvol afgerond en voldoet de pilot aan de doelstellingen die in de offerte zijn gedefinieerd.

De conclusies zijn als volgt:

- De eerste resultaten van de pilot in De Zweth geven aan dat de thermische prestaties van de energie damwand in de lijn der verwachting ligt.
- De invloed van de energie damwand op het grondmechanisch functioneren van de damwand is conform verwachting minimaal.
- De belangstelling uit de markt voor het toepassen van de energie damwand overtreft onze verwachting en laat zien dat de potentie van het systeem zeer groot is.

Uit de case die in het haalbaarheidsonderzoek is uitgewerkt, blijkt dat per m Energie Damwand jaarlijks een CO<sub>2</sub> reductie van 1,24ton gerealiseerd kan worden. In 2015 bedroeg de CO<sub>2</sub> uitstoot van de provinciale organisatie van de Provincie Zuid-Holland voor het thema “Vaarwegen en bruggen” 5.037 ton CO<sub>2</sub>. Indien 4 km kade met een energie damwand wordt uitgerust, kan een neutrale CO<sub>2</sub> footprint voor dit thema worden gerealiseerd. De proefresultaten tot nu toe geven geen aanleiding om deze conclusies te herzien.

We kunnen met trots melden dat de Energie Damwand de NENnovationAward heeft gewonnen!

(<https://www.nen.nl/nennovationaward>).

Commercieel gezien lopen er momenteel een tiental ontwikkeltrajecten, van voorontwerp tot zelfs in uitvoering, waarin de energie damwand wordt toegepast als bron van duurzame verwarming. Gezien de groeiende bekendheid met het systeem is het economisch perspectief uitermate gunstig te noemen.

Binnen het consortium zijn nu afspraken gemaakt om eerst gezamenlijk een aantal project te ontwikkelen en uit te voeren, alvorens we overgaan tot het vormen van een aparte entiteit om het product “energie damwand” verder uit te rollen.

In deze vervolgfase is het voor de energie damwand van belang om vraagstukken op te lossen omtrent de vergunning van het systeem en het eigendom en verantwoordelijkheid van het systeem. Ten aanzien van de vergunningen is de invloed van de temperatuursverandering in de waterweg een vraagstuk dat ecologisch van belang is. De eigendomskwestie moet per case bekeken worden en komt voort uit de situatie dat het nuttig gebruik van de kade doorgaans ten deel valt aan een partij die niet de eigenaar of beheerder van de damwand is. Hier moeten dus tussen verschillende partijen afspraken over worden gemaakt.

Belangrijk punt bij het ontwikkelen van een project met een energie damwand is dat de warmte aanbodzijde goed moet aansluiten op de warmte vraagzijde. Een studie met de “Kademuur als Energiefabriek” voor de gemeente Amsterdam heeft uitgewezen dat het activeren van meer meters kademuur en dus het verwarmen van meer appartementen, een gunstig effect heeft op de business case oftewel de terugverdientijd.

Een economische “belemmering” voor de verdere uitrol van het systeem zit in de beschikbare investeringsruimte van de deelnemende partijen zelf. Vooruitlopend op de groei van het product worden reeds investeringsplannen uitgewerkt. Tevens wordt verkend op welke wijze en waar van duurzaamheidsinvesteringsfondsen gebruik gemaakt kan worden. Een positief punt hierin is de investeringsbereidheid van de centrale en lokale overheden in duurzame producten. De verwachting is derhalve dat op dit punt dus geen sprake van een onoverkomelijke economische belemmering zal zijn.

De samenwerking in dit project was uitstekend. Alle betrokken partijen, van aannemer tot wetenschapper, hebben met een innovatieve focus, en een beperkt budget, de energie damwand een stap verder weten te brengen. Op organisatorisch vlak loopt de samenwerking perfect, wij zijn dus klaar voor de volgende stap !

## 2. Uitvoering van het project

### Doelstelling en probleemstelling van het project fase 2

Doel van het project “Energie Damwand” is de mogelijkheden te onderzoeken om damwanden in kadeconstructies nuttig te gebruiken in de energiehuishouding van de bebouwde omgeving. Door in de kade opwek- en buffercapaciteit van energie te creëren, in de vorm van warmte, kunnen duurzame energiebronnen maximaal worden ingezet bij de verlaging van CO2 emissies. Het eindproduct van fase 2 is een prototype van de Energie Damwand, getest in een pilot nabij De Zweth in Zuid Holland (zie Figuur 1).

Fase 2 is afgerond met de oplevering van de proefopstelling en de start van een traject waarin de opstelling in verschillende configuraties beproefd zal worden met het oog op:

- Geotechnisch invloed temperatuur wisseling;
- Opbrengst systeem gedurende alle seizoenen;
- Meest economische configuratie;
- Efficiëntie systeem.

De data die hieruit wordt verkregen wordt gebruik voor de validatie en toetsing van de ontwerpmodellen. Met het inwerking treden van de proefopstelling is fase 2 succesvol afgerond.



Figuur 1 projectlocatie nabij de Zweth

### Evaluatie Samenwerking en Taakverdeling

Het projectteam bestaat uit de volgende partijen:

- CRUX Engineering B.V. (ir. Jacco Haasnoot, ing. F.K. de Jong & Vincent Leclercq MSc) [www.cruxbv.nl](http://www.cruxbv.nl)  
CRUX (sinds 2002) is een onafhankelijk ingenieursbureau voor ondergrondse oplossingen en is een expert op het gebied van grondkerende en kade constructies. CRUX beschikt over kennis en ervaring op het gebied van zowel ondergrondse constructies als de energetische mogelijkheden van de ondergrond. CRUX is de trekker van het project en zorgt dat de oplevering van de projectresultaten op tijd zal gebeuren. Daarnaast levert CRUX een inhoudelijke bijdrage op het gebied van bouwtechnieken, energiedamwand en warmte-koude opslag technieken. Tevens ondersteunt CRUX het afstudeeronderzoek van een student van de TU Delft en twee studenten van de TU Eindhoven die hun thesis onderzoek en stages uitvoeren op basis van het project.
- Groep Duurzame Energie BV (ir. Bob Bloemers) <http://www.groepduurzameenergie.nl/>  
Groep Duurzame Energie (GDE) loopt sinds 1989 voorop in het ontwerpen én bouwen van duurzame energievoorzieningen. De specialisten van de Groep Duurzame Energie hebben uitgebreide ervaring met duurzame projecten. Vanwege de jarenlange ervaring met duurzame energiesystemen ligt de rol van Groep Duurzame Energie in het project Energiekademuur op het gebied van installatietechnische en financiële haalbaarheid.



- TU Eindhoven (TUE), sectie Energie technologie (prof.dr.ir. David Smeulders)  
[www.tue.nl/universiteit/faculteiten/werktuigbouwkunde/onderzoek/onderzoeksgroepen/energy-technology/](http://www.tue.nl/universiteit/faculteiten/werktuigbouwkunde/onderzoek/onderzoeksgroepen/energy-technology/)  
 De missie van de afdeling Energie Technologie van de TU Eindhoven is het ontwikkelen van warmte en stroming technologie ten behoeve van energie en hightech toepassingen. Eén van de belangrijke onderzoeksrichtingen is de opslag van warmte, "warmtebatterij" door middel van PCM's Phase Change Materials en Zeolieten. Diverse promotie en afstudeeronderzoeken vinden op dat gebied plaats. Daarbij is het ook van belang om deze nieuwe technologie praktisch toe te passen in complexe omgeving. De bijdrage van TU Eindhoven ligt op het snijvlak van nieuwe energietechnologie en de warmtebehoefte in de omgeving van de vaarwegen.
- TU Delft, Sectie Geo-Engineering (dr.ir. Phil Vardon en ir. Ivaylo Pantev):  
<http://www.tudelft.nl/citg/over-faculteit/afdelingen/geoscience-engineering/sections/geo-engineering/>  
 Het duurzaam gebruik van de ondergrond is één van de belangrijke maatschappelijke issues waar de sectie Geo- Engineering onderzoek naar doet. Dr. Vardon is de trekker van het door het NWO gesponsorde onderzoek naar Energie Palen in Nederland. Hiervoor is onder andere een full scale test opstelling in Delft gebouwd. Hierin wordt onderzocht in welke mate het draagvermogen van de paalfundering wordt beïnvloed door warmtestroming door de paal en de ondergrond bij het gebruik als bodem energiesysteem. De bijdrage van de TU Delft ligt op het snijvlak van de thermische capaciteit van de ondergrondse elementen en de risico's voor het technisch gedrag van de kademuur.
- Gooimeer BV. (P. Stoelhorst en R. Janssen)  
[www.gooimeer.nl](http://www.gooimeer.nl)  
 Of het nu gaat over stalen damwanden, balken of stalen buispalen, Handelmaatschappij Gooimeer is al sinds 1976 dé specialist op dit gebied. Gooimeer is gespecialiseerd in de huur/verhuur en verkoop/terugkoop van zowel warmgewalste als koudgewalste stalen damwandprofielen van alle producenten op dit gebied. Gooimeer brengt samen met het Duitse SPS Energie een gepatenteerd Energie Damwand systeem op de Nederlandse markt.

In het project worden tevens partijen ingezet die gelieerd zijn aan de diverse partners. Specifiek betreffen dit Bouwrisik bv (zusterbedrijf CRUX) welke wordt ingezet voor monitoringswerkzaamheden en ingenieursbureau ZAI ( Duitse partner van Gooimeer) voor de overdracht van kennis uit Duitsland.

### Activiteiten

De fasering van het project is weergegeven in Tabel 1. Het ontwerp van de pilot (Fase 1) is op hoofdlijnen medio maart afgerond en ingediend bij de gemeente Rotterdam en het hoogheemraadschap Delfland voor de benodigde vergunningen. De installatie van de damwand (door Gooimeer) is met succes conform planning eind juni volbracht. Voor het verkrijgen van een stroomvoorziening voor de proef is, buiten invloed van dit consortium, helaas vertraging opgelopen bij de installatie van de pilot (Fase 2). Hier kwam nog een complicatie met een bodemverontreiniging bij waardoor de installatie van de warmtepompen (groep duurzame energie) en monitoringapparatuur (TU Delft) pas medio oktober plaats kon vinden. Afronding van fase 2 heeft daardoor effectief pas eind oktober plaats gevonden. Het uitvoeren van de proef (Fase 3) is derhalve begin november gestart en verloopt naar wens. De reeds verkregen data wordt inmiddels al toegepast in de scripties van 2 masterstudenten (TU Delft en TU Eindhoven) en een stagiair vanuit de TU Eindhoven.

Tabel 1 Fasering van het project "Energie damwand"

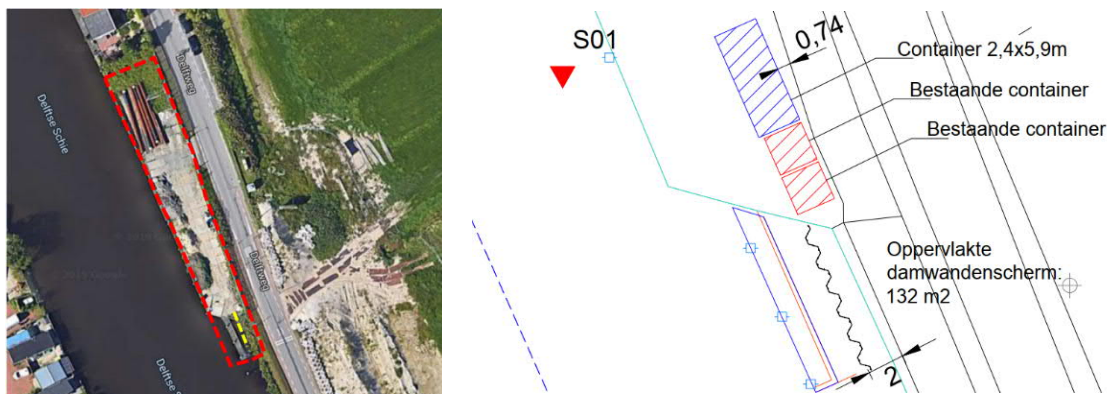
|                                | maand / jaar |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------|--------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                | 2019         |     |     |     | 2020 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                                | sep          | okt | nov | dec | jan  | feb | mrt | apr | mei | jun | jul | aug | sep | okt | nov |
| WP 1. Fase 1 Ontwerpen Pilot   |              |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| WP 2. Fase 2 Installatie Pilot |              |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| WP 3. Fase 3 Uitvoeren Pilot   |              |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Milestone pilot (1-11-2020)    |              |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   |

Ondanks de tegenslag met het verkrijgen van een stroomaansluiting is fase 2 qua samenwerking tussen de partners uitstekend verlopen. Dankzij de sterke verbinding tussen de verschillende partijen is de installatie van de proef met succes volbracht.

### Proeflocatie –en opstelling fase 2

De proef is opgesteld op het terrein van de Provincie ten zuiden van De Zweth (zie Figuur 2). Dit terrein wordt naast de pilot tevens gebruikt als opslagterrein voor dijkversterkingswerkzaamheden in het dorp. Qua dijkversterking zal langs het terrein een ophoging plaatsvinden van het dijklichaam. Het terrein zelf blijft daarmee in de definitieve situatie buitendijks.

Voor de exacte plaatsing van de proefopstelling is in het overleg met de provincie en het waterschap Delfland, de zuidelijke punt van het terrein (zie gele lijn in Figuur 2) aangewezen als de beste locatie. Het aangebrachte damwandenscherm bestaat uit een zestal Z-profielen en heeft een strekkende breedte van circa 8,5m. Het scherm is op ca 2m van de bestaande kade ingebracht.

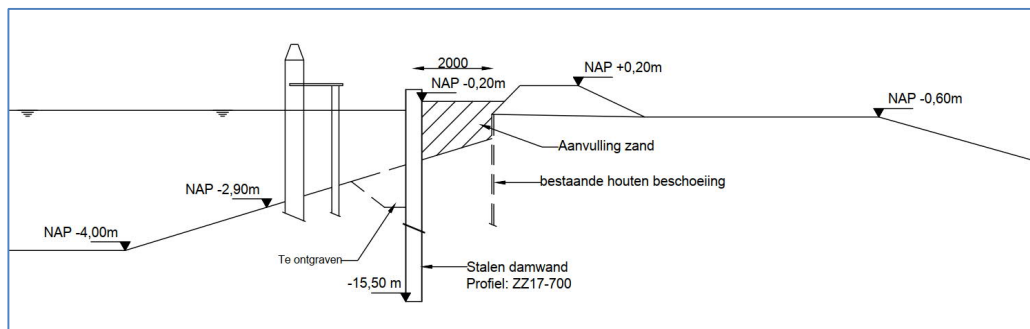


Figuur 2 Overzicht proeflocatie nabij De Zweth

Omdat het damwandenscherm is aangebracht in een dijklichaam is deze (door CRUX) dusdanig ontworpen dat deze voldoet aan de eisen met betrekking van de sterkte en stabiliteit. Dit ontwerp resulteert in een ZZ-17-700 profiel welke middels hoogfrequent trillen zijn geïnstalleerd tot een diepte van NAP -15,5m. Een dwarsdoorsnede van de damwand constructie is weergegeven in Figuur 2. Trillingen zijn bij installatie bewaakt om potentiële installatie schade aan de belendingen te voorkomen.

Achter het scherm is de ruimte tussen de bestaande beschoeiing en het damwandenscherm aangevuld met (gebiedseigen) grond tot circa 20cm boven het waterpeil om zo het gedrag van een daadwerkelijke kade na te bootsen.

De benodigde monitoringsapparatuur is bevestigd op, achter en voor het damwandenscherm in zowel de ondergrond als het water (Zie Figuur 4). De installatie (warmtepomp, expansievaten etc.) is samen met de dataregistratie van de monitoring onderbracht in een daarvoor ingerichte container welke nabij de locatie op het terrein van de Provincie is neergezet.



Figuur 3 Dwarsdoorsnede van de damwand constructie



Figuur 4 overzicht aansluiting

#### Proef fasering

Tijdens de pilot worden verschillende configuratie van de activatie getest op efficiëntie en rendement. Deze configuratie bestaan uit: activatie van de damwand tot aan de waterbodem, activatie van de damwand over de gehele lengte, enkelzijdige activatie van de planken, dubbelzijdige activatie en activatie van panelen welke in de damwandkassen afgehangen worden. De configuratie is van de activatielussen gegeven in Figuur 5.

#### Monitoringsplan

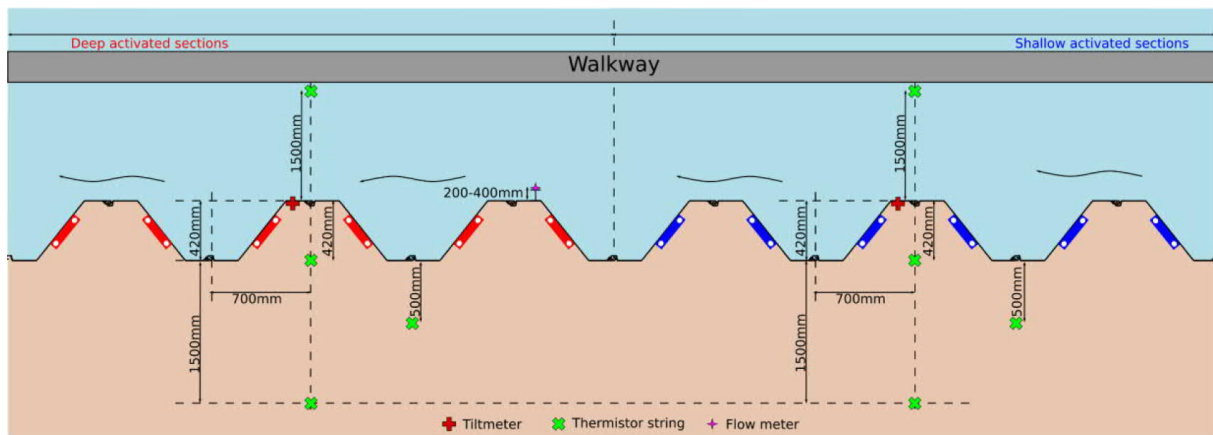
In samenwerking met de partners aan de TU Delft is een monitoringsconfiguratie opgesteld, en met succes geïnstalleerd. De hoofdoelen van het monitoringplan worden hieronder weergegeven:

- Identificeren van de omgevingsfactoren –luchttemperatuur, oppervlaktewater stroomsnelheid en temperatuur;
- Meting van systeemrendement en warmtewisselflux onder typische omstandigheden voor Nederland;
- Bepalen van extra belastingen en verplaatsingen op de damwandprofielen door temperatuurveranderingen van de omringende grond.

De benodigde meetapparatuur is geïnventariseerd en zijn ingevuld door de partners van het projectteam danwel door aan hun gelieerde partijen. De monitoringsonderdelen bestaan uit:

- Inclinometingen ten behoeve van de verplaatsingsmonitoring van de damwand. De inclinometingen worden uitgevoerd in stalen kokers welke voorafgaand aan de damwandinstallatie op de profielen worden gelast. De monitoring bestaat uit handmatige inclinometingen (interval metingen).
- Stroomsnelheidsmetingen in het water. Deze metingen worden verricht direct naast de damwand als op enige afstand van de damwand om directe informatie te hebben over de verschillen in stroomsnelheid.
- Temperatuurmetingen in de ondergrond. Deze metingen worden uitgevoerd door in de ondergrond aangebrachte thermometer strengen en zijn bedoeld om de verspreiding van de temperatuur (verhoging als verlaging) te monitoren.
- Temperatuurmetingen in het water. Op een locatie op enige afstand van het damwandscherm (bevestigd aan de steiger) worden temperatuur metingen verricht. Deze metingen zijn bedoeld om inzicht te verkrijgen in een eventuele temperatuursprong op afstand. Hiermee wordt inzicht verkregen in de toetsingseis van het waterschap ten aanzien van thermische lozingen.
- Temperatuur en stroomsnelheid metingen van de vloeistof in de leidingen (in- en uitgaand). Deze gegevens

worden verzameld per activatie configuratie om zo de rendementsberekeningen eenduidig te kunnen iken. Een schematisch overzicht van de monitoring is opgenomen in Figuur 5



Figuur 5 Meetapparatuur installatie plan



### 3. Inhoudelijke bevindingen

#### 3.1. Bijdrage aan het maatschappelijk vraagstuk

Het maatschappelijk vraagstuk dat binnen het thema van de SBIR Energietransitie vaarwegen voorligt, betreft de reductie van CO<sub>2</sub> emissies in 2025 met 25% ten opzichte van 2015. Uit de case die in het haalbaarheidsonderzoek is uitgewerkt, blijkt dat per m Energie Damwand jaarlijks een CO<sub>2</sub> reductie van 1,24ton gerealiseerd kan worden. In 2015 bedroeg de CO<sub>2</sub> uitstoot van de provinciale organisatie van de Provincie Zuid-Holland voor het thema “Vaarwegen en bruggen” 5.037 ton CO<sub>2</sub>. Indien 4 km kade met een energie damwand wordt uitgerust, kan een neutrale CO<sub>2</sub> footprint voor dit thema worden gerealiseerd. De proefresultaten tot nu toe geven geen aanleiding om deze conclusies te herzien.

De Energie Damwand zal bijdragen aan de energietransitie van oude vervuilende energiebronnen (olie, gas en steenkool) naar duurzame energiebronnen. Uit het haalbaarheidsonderzoek blijkt dat tegen een competitieve prijs en op duurzame wijze, energie, in de vorm van warmte, kan worden gewonnen en opgeslagen. Voor de eindgebruiker (woningbezitters en bouwers) is dit een aantrekkelijk energiesysteem.

Nederland in het algemeen en de provincie Zuid-Holland heeft een uitgebreid netwerk met vaarwegen. De kaden van dit waternetwerk zijn onderhevig aan constant onderhoud. In 2015 voldeed 27 procent van de (in totaal 4056 km aan) regionale keringen in Zuid Holland niet aan de veiligheidsnormen<sup>1</sup>. Onderhoud en bouw van kaden is onvermijdelijk. Door ontwikkeling van de Energie Damwand kan een veilige kade worden gerealiseerd die op een duurzame manier energie opwekt en de CO<sub>2</sub> voetafdruk van vaarwegen verbetert en uiteindelijk neutraal of positief maakt.

#### 3.2. Technisch perspectief

##### Haalbaarheid installatie

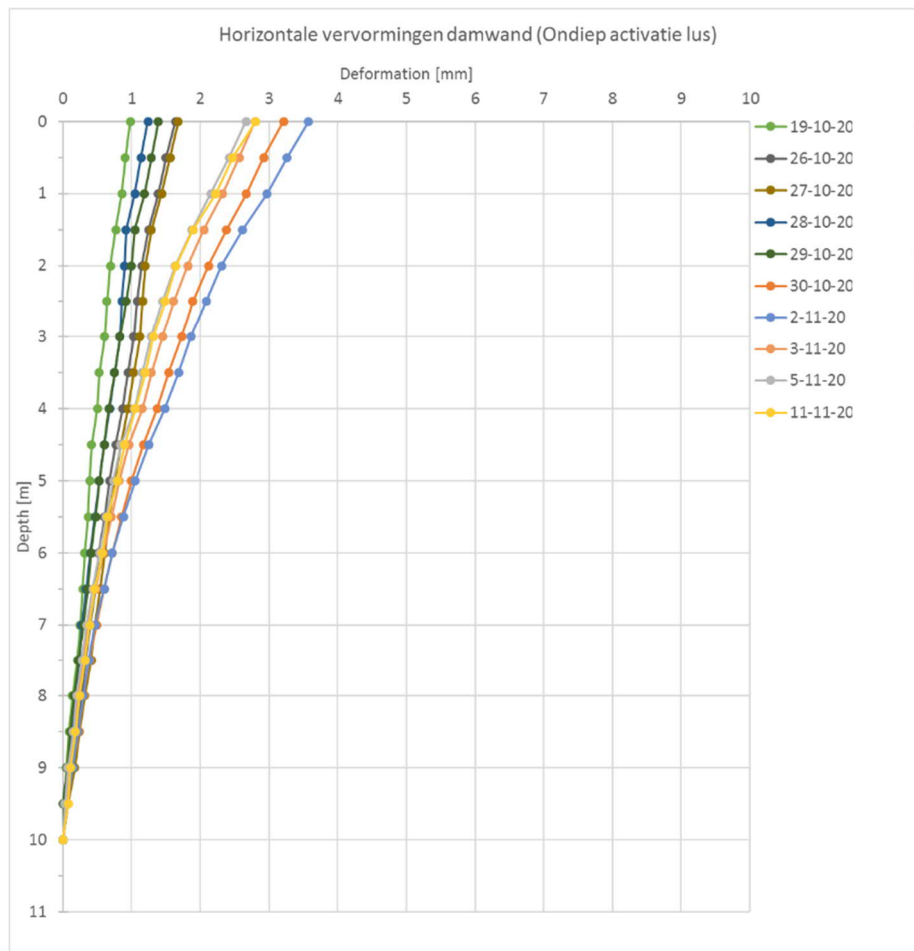
Een kracht van de energie damwand is het gemak van de installatie van de activatie. Het op diepte brengen van losse lussen brengt risico's tijdens installatie met zich mee. Door de lussen als gelaste kokers te installeren is dit risico sterk vermindert. Bij het installeren van de proef zijn dan ook geen problemen voorgevallen bij het activeren van de lussen. Nadat de lussen geïnstalleerd zijn, zijn deze getest op beschadigingen door middel van een druktest. Dit biedt zekerheid in de veilige grootschalige toepasbaarheid van het systeem.

##### Veiligheid voor omgeving

De grond/waterkerende functie van de energie damwand blijft een primaire functie. Door inclinometingen uit te voeren is aangetoond dat de vervormingen in de damwand ten gevolge van de toename in grondspanning door volume expansie gering blijft. In Figuur 6 zijn ter illustratie de inclinometingen weergegeven tijdens een periode van grote warmte onttrekking aan de ondiepe lussen (26 tot 29 oktober). Te zien valt dat tijdens bedrijf de vervormingen minimaal blijven. De sprong op 2 november is te relateren aan het aanvullen van zand, wat een belasting verhoging op de damwand veroorzaakt. Omdat het een onverankerde damwand betreft zijn eventuele effecten goed zichtbaar omdat dit type damwand relatief gevoelig is voor veranderingen in belasting en ondersteuning. Met deze metingen wordt aangetoond dat het thermisch activeren van de damwand geen negatieve gevolgen heeft ten aanzien van de constructieve veiligheid. De metingen worden tijdens de verdere meetperiode voortgezet om het gedrag in alle seizoenen te bewaken en analyseren.

---

<sup>1</sup> [https://staatvan.zuid-holland.nl/portfolio\\_page/waterveiligheid-regionale-keringen/](https://staatvan.zuid-holland.nl/portfolio_page/waterveiligheid-regionale-keringen/)

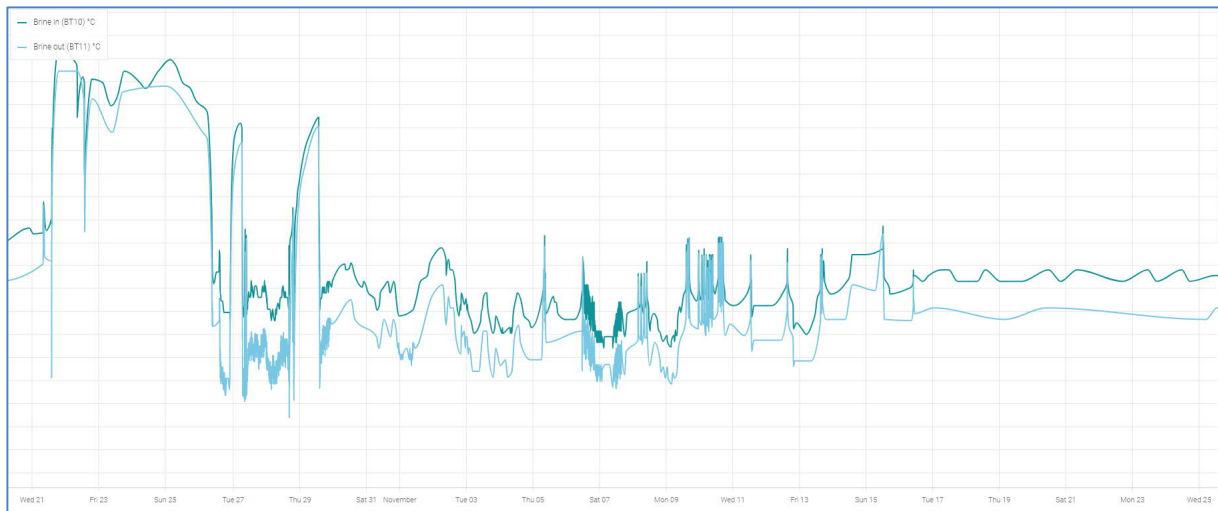


Figuur 6 Inclinometingen Ondiepe lus

### Energiewinning prestatie

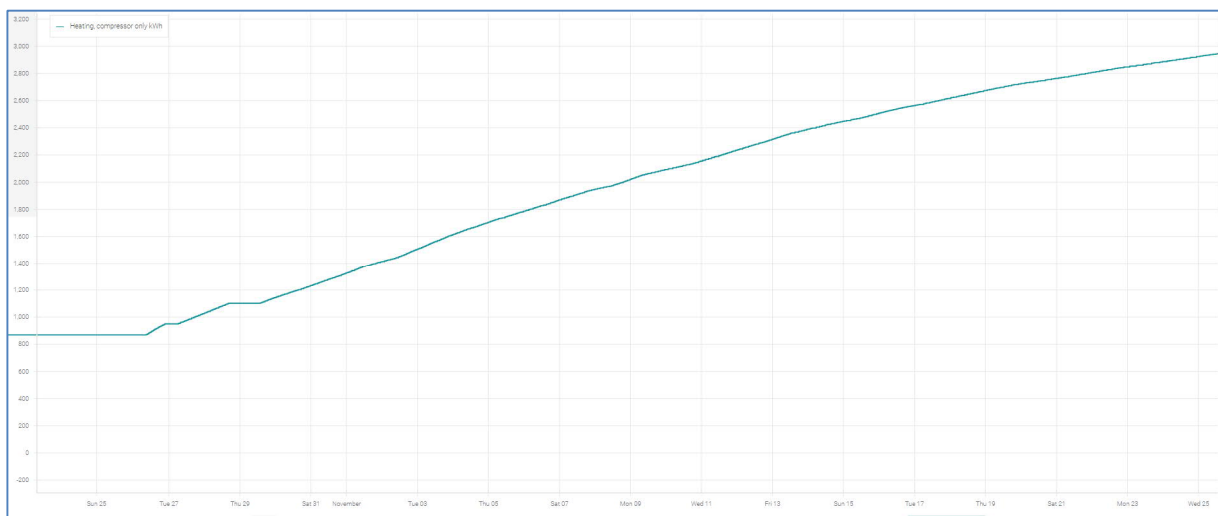
In de eerste fase van de test zijn slechts een beperkt aantal van de enkele korte lussen geactiveerd. De in- en uitstroom temperatuur van de warmtepomp (respectievelijk groen en blauw) zijn getoond in Figuur 7. Door de vertraagde start van de proef is het over de periode van 26 oktober tot 27 november alleen mogelijk geweest de korte lussen te activeren. De warmtevraag van de warmtepomp moest in die periode worden afgestemd op de capaciteit van de damwand (bron). Daarom is in de 1<sup>e</sup> periode een relatief onrustig beeld te zien van de temperaturen. In de aanlopende periode tot 18 november zijn de warmtepomp capaciteiten overeengestemd met de beschikbare warmte in de ondergrond. De dagelijkse sturing en controle van de proef wordt uitgevoerd door een klein team bestaande uit medewerkers van CRUX, Groep Duurzame Energie en de TU delft om direct in te kunnen spelen op de omstandigheden. Terugkoppeling naar de overige partners vindt 1x per maand plaats waarin de mogelijkheid is om de proef bij te sturen.

De positieve resultaten zijn terug te zien in de stabiele temperatuur onttrekking aan de ondergrond in de periode van 17 tot 25 november. Hierbij werd een gemiddelde temperatuur onttrokken van 2,0°C, met een leiding debiet rond de 8 L/s. de verwachting is dat het vermogen verder omhoog gaat met de stapsgewijze uitbreiding van de proefconfiguratie.



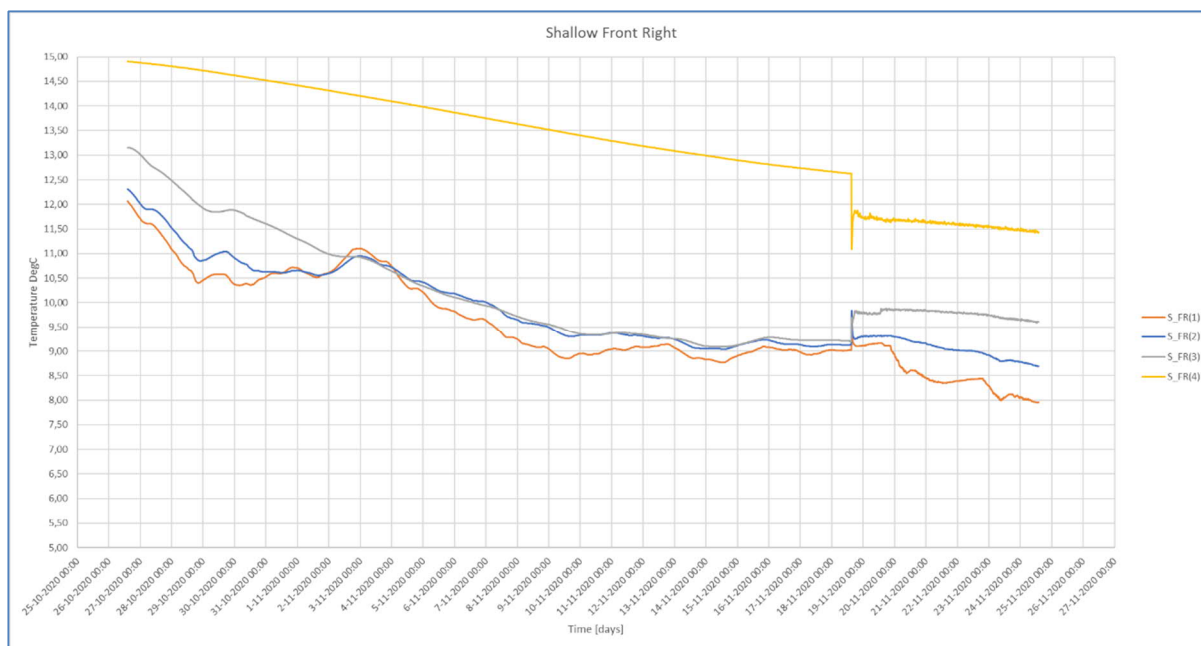
Figuur 7 In/ uitstroom temperatuur warmtepomp

Het inregelen van de warmtepomp capaciteit is ook terug te zien in de cumulatieve onttrokken warmte, gepresenteerd in Figuur 8. Hierbij is te zien dat de warmte onttrekking conform verwachting in de loop van de tijd vermindert (afvlakking van de curve). In de tijdperiode van 15 tot 27 november is 361 kWh warmte onttrokken over de korte lussen. Dit is in de lijn der verwachting. Een hoger rendement zal worden behaald wanneer de overige lussen aangesloten worden en de warmtepomp op volle capaciteit zal draaien conform de komende bedrijfsscenario's.



Figuur 8 Cumulatief onttrokken warmte vermogen

De lange termijn prestatie van de energiedamwand is afhankelijk van de mate van omgevingstemperatuur beïnvloeding. Deze wordt daarom conform het monitoringsplan nauwkeurig bijgehouden. Ter illustratie in Figuur 9 de grondtemperaturen op een halve meter van de ondiep geactiveerde damwanden. Hier is te zien dat na 15 november minder warmte uit de ondergrond wordt onttrokken (minder steile helling van de meetpunten), omdat na die datum de warmtepomp goed is ingeregeld.



Figuur 9 Ondiepe grondtemperatuur op 0,5m van korte activatie lussen

### 3.3 Economisch perspectief

De energietransitie in Nederland naar duurzame warmte- en koude energie is in volle gang. Waterwegen vormen een groot gedeelte van ons Nederlands landschap. Kademuuren en damwanden zijn hierbij een vaak gebruikte oeverbescherming, in Amsterdam alleen al bevindt zich al circa 600 km aan kadeconstructies, waarvan 200 km gerenoveerd moeten worden. Nederland kent daarbij zelfs de hoogste dichtheid in toepassing van stalen damwanden ter wereld. De potentiële markt is in Nederland dus enorm.

De beoogde eindgebruikers zijn gebruikers van woningen en utiliteitsbouw nabij de vaarwegen. Het beoogde energie systeem wordt geëxploiteerd door een ESCO (Energy Service Company). Afhankelijk van de omstandigheden (beschikbare kade en/of warmtevraag kan in de commercialisatie fase ook sprake zijn van een Energie Kademuur, waarin verschillende componenten voor warmte (en koude) opwekking en opslag zijn samengevoegd om voor de omgeving tot een optimale duurzame energievoorziening te komen. Hiermee levert de Provincie Zuid-Holland een belangrijke bijdrage aan de reductie van CO<sub>2</sub> uitstoot voor de Nederlandse maatschappij in het algemeen en de provinciale vaarwegen in het bijzonder.

De kracht van de energie damwand ten opzichte van concurrerende TEO systemen is de eenvoudige integratie in bekende kadesystemen het lage risico verbonden met het op diepte brengen van lussen en de bescherming van het systeem gedurende de levensduur. Het directe contact tussen de activatie lus en de damwand zorgt daarbij voor een directe contact met het oppervlaktewater wat de rendement significant verhoogd ten opzichte van rationele gesloten WKO systemen. De definitieve conclusies over het rendement in vergelijking met de modellen kan pas getrokken worden na een langere looptijd van de proef, maar de eerste resultaten zijn veelbelovend.

Op de publicaties van de partijen binnen het consortium komen veel reacties van geïnteresseerde partijen. De website <https://www.energie-damwanden.nl/> is hier een uitstekend voorbeeld van. Op de CRUX Engineering website is ook regelmatig uiting gegeven van nieuws over de energiedamwand: <https://cruxbv.nl/artikel/crux-trotse-winnaar-nennovation-award> . Op deze website page staan ook een aantal links naar andere publiciteitsmomenten. Op wetenschappelijk niveau is reeds over de pilot gepubliceerd op het 2nd International Conference on Energy Geotechnics ([https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/65/e3sconf\\_icegt2020\\_06002/e3sconf\\_icegt2020\\_06002.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/65/e3sconf_icegt2020_06002/e3sconf_icegt2020_06002.html) )

Binnen het consortium zijn nu afspraken gemaakt om eerst gezamenlijk een aantal project te ontwikkelen en uit te voeren, alvorens we overgaan tot het vormen van een aparte entiteit om het product “energie damwand” verder uit te rollen.



Commercieel gezien lopen er momenteel een tiental ontwikkeltrajecten, van voorontwerp tot zelfs in uitvoering, waarin de energie damwand wordt toegepast als bron van duurzame verwarming. Gezien de groeiende bekendheid met het systeem is het economisch perspectief uitermate gunstig te noemen.

### 3.4 Toezicht, wet- en regelgeving en bescherming intellectueel eigendom

Het grootste knelpunt vanuit de regelgeving betrof het verkrijgen van de watervergunning. Omdat het een vooralsnog onbekend systeem is voor de waterschappen is het stellen van kaders lastig gebleken. Voor de pilot is vooralsnog uitgegaan van een koude lozing, wat op zichzelf al een nieuw gebied is aangezien er traditioneel alleen bekendheid was met warmtelozingen. De oplossing van het hoogheemraadschap Delfland om het systeem te vergunnen op basis van een koude lozing is daarbij eveneens niet ideaal. Voor de pilot geeft dit voldoende ruime kaders maar voor grootschalige uitrol is dit naar verwachting te beperkend, zeker omdat er met het systeem in wezen geen sprake is van een lozing maar enkel de onttrekking van warmte. Om dit te ondervangen zal bij toepassing van het systeem vroegtijdig in overleg getreden moeten worden met de betreffende waterbeheerders om zo tijdig inzicht te hebben in de vergunningstechnische kaders. De proefresultaten van de pilot zullen hierbij essentieel zijn om de beperkte invloed op het watersysteem inzichtelijk te maken en zo gelijke zorgen bij de beheerders weg te nemen. De vervolgstap hierop zou vervolgens het verder verruimen van de kaders zijn, aangezien een verlaging van de watertemperatuur, op basis van momenteel lopende onderzoeken, juist een gunstige uitwerking heeft op de waterkwaliteit. Bij verdere toepassing in projecten wordt het ook duidelijk dat niet ieder waterschap of ook Rijkswaterstaat dezelfde eisen stelt. In de aanvangsfase van de uitrol van het systeem zal op dit gebied dus nog veel “missie – en zendingswerk” moeten worden verricht. De resultaten van de pilot in De Zweth zijn hierbij uitermate waardevol.

Een tweede knelpunt betreft het punt van eigendom. Veel kadeconstructies zijn in bezit/ beheer van waterschappen/provincies en of gemeenten. Afhankelijk van de belangen en wens om te verduurzamen zijn specifieke afspraken nodig over het gebruik van deze, in essentie openbare eigendommen, voor het onttrekken van warmte voor gebruik door bewoners. Er zijn hier verschillende oplossingsrichtingen mogelijk variërend van afspraken over recht van overpad tot een beheerder die de rol van energieleverancier (middels een lokaal wamtenet) op zich neemt. Omdat de gekozen oplossing locatie en beheerder specifiek zullen zijn is hier vooralsnog geen uniforme aanpak voor te geven en zal dit per project verkend moeten worden. Een belangrijk hulpmiddel hierin zou gevonden kunnen worden in normalisatie van het systeem via de NEN. Een eerste stap hiervoor is al gezet door de data beschikbaar te willen maken voor de toekomstige ontwikkeling van normering op het gebied van TEO systemen. De eerste onderkenning voor het systeem en de mogelijkheden is reeds verkregen door het winnen van de NENnovationAward, (<https://www.nen.nl/nennovationaward>).



Het systeem is gepatenteerd, waarvan Gooimeer de licentie voor de Benelux houdt. Binnen het consortium is het intellectueel eigendom dus gewaarborgd.

#### 4. Conclusies en commerciële vooruitzichten

De conclusies zijn als volgt:

- De eerste resultaten van de pilot in De Zweth geven aan dat de thermische prestaties van de energie damwand in de lijn der verwachting ligt.
- De invloed van de energie damwand op het grondmechanisch functioneren van de damwand is conform verwachting minimaal.
- De belangstelling uit de markt voor het toepassen van de energie damwand overtreft onze verwachting en laat zien dat de potentie van het systeem zeer groot is.

Commercieel gezien lopen er momenteel een tiental ontwikkeltrajecten, van voorontwerp tot zelfs in uitvoering, waarin de energie damwand wordt toegepast als bron van duurzame verwarming. Gezien de groeiende bekendheid met het systeem is het economisch perspectief uitermate gunstig te noemen.

- Technische belemmeringen

Gedurende de uitvoering van de pilot zijn geen additionele technische belemmeringen naar voren gekomen. Het systeem functioneert volgens verwachting.

Een punt dat nader wordt uitgewerkt is de corrosie bescherming van de warmtewisselaars. Het is van belang dat deze, ook in relatief agressievere milieus, een voldoende lange levensduur hebben. Voor damwandconstructies is dit uiteraard een bekend thema zodat dit niet tot onoverkomelijke problemen zal leiden.

Tijdens het opzetten van de pilot en de gesprekken die we nu hebben voor daadwerkelijke projecten lopen we aan tegen (technische) discussies omtrent de watervergunning (Waterschap) en het werken in waterkeringen (Rijkswaterstaat). Het is echter onze verwachting dat dit niet tot onoverkomelijke problemen zal leiden.



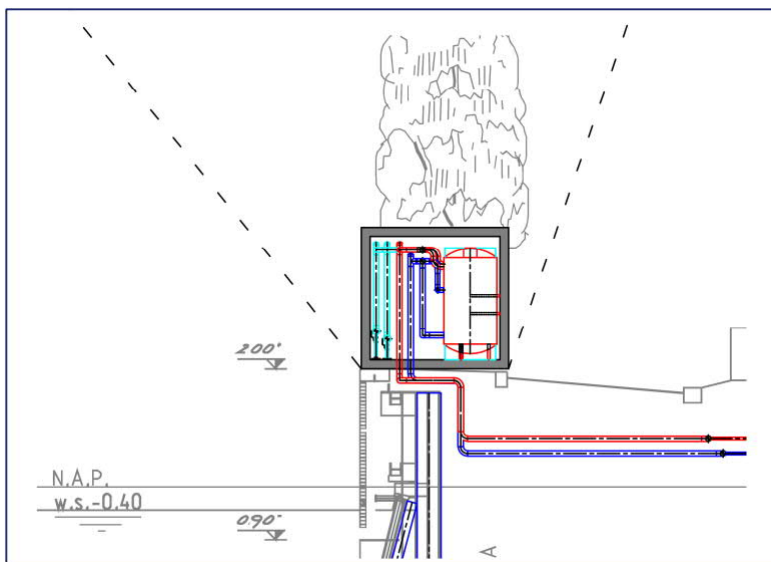
Figuur 10 Geïnstalleerde energie damwand in Enkhuizen

- Economische belemmeringen

Zoals voor alle duurzame energiesystemen geldt is een potentiële belemmering de prijsstelling van de conventionele warmtebronnen, zoals gas. Met name voor organisaties die gas groot en daarmee relatief goedkoop kunnen inkopen is een financiële vergelijking alleen, niet altijd economisch gunstig. Het is daarom van dat de organisaties ook voldoende duurzaamheidsdenken hebben om tot duurzame energietechnieken over te gaan.

Een economische “belemmering” voor de verdere uitrol van het systeem zit in de beschikbare investeringsruimte van de deelnemende partijen zelf. Vooruitlopend op de groei van het product worden reeds investeringsplannen uitgewerkt. Tevens wordt verkend op welke wijze en waar van duurzaamheidsinvesteringsfondsen gebruik gemaakt kan worden. Een positief punt hierin is de investeringsbereidheid van de centrale en lokale overheden in duurzame producten. De verwachting is derhalve dat op dit punt dus geen sprake van een onoverkomelijke economische belemmering zal zijn.

Belangrijk punt bij het ontwikkelen van een project met een energie damwand is dat de warmte aanbodzijde goed moet aansluiten op de warmte vraagzijde. Een studie met de “Kademuur als Energiefabriek” voor de gemeente Amsterdam (Figuur 11) heeft uitgewezen dat het activeren van meer meters kademuur en dus het verwarmen van meer appartementen, een gunstig effect heeft op de business case oftewel de terugverdientijd.



Figuur 11 Impressie van een centrale installatieruimte bij een kadeconstructie.

- Organisatorische belemmeringen

Organisatorisch verwachten we binnen de partners geen belemmeringen. De samenwerking verloopt goed door een open communicatie en afstemming. Binnen het consortium zijn nu afspraken gemaakt om eerst gezamenlijk een aantal project te ontwikkelen en uit te voeren, alvorens we overgaan tot het vormen van een aparte entiteit om het product “energie damwand” verder uit te rollen.

## 5. Financiën

In onderstaande tabel zijn de gerealiseerde kosten vergeleken met het geraamde budget. Uit de vergelijking blijkt dat het project redelijk conform budget is uitgevoerd. Opgemerkt wordt dat het aantal opgegeven uren (en daarmee de kosten voor arbeid van CRUX en de projectpartners) niet overeenkomt met het aantal daadwerkelijk gemaakte uren. De gemaakte uren van bijvoorbeeld CRUX zijn een veelvoud van de hier aangegeven uren. Hetzelfde geldt voor de projectpartners. Echter, omdat het budget gemaximaliseerd is, zijn deze hier niet allemaal aangegeven. Indien gewenst kunnen deze uren wel worden opgegeven aan de opdrachtgever.

| Kosten in Euro<br>(geraamd budget staat<br>tussen haakjes)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | WP1<br>Fase 1<br>Ontwerp Pilot | WP 2<br>Fase 2<br>Installatie Pilot | WP 3<br>Fase 3<br>Uitvoeren Pilot | Totaal in<br>Euro   | Totaal<br>uren* |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------|
| Kosten van Arbeid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.200<br>(1.200)               | 1.320<br>(2.280)                    | 1.800<br>(4.200)                  | 4.320<br>(7.680)    | 144<br>(256)    |
| Machines en Apparatuur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                | 28.059<br>(22.950)                  |                                   | 28.059<br>(22.950)  |                 |
| Kosten van Arbeid van<br>projectpartners                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4.800<br>(3.600)               | 5.700<br>(9.600)                    | 7.200<br>(10.800)                 | 17.700<br>(24.000)  | 590<br>(800)    |
| Kosten Derden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3.750                          | 30.540<br>(28.000)                  | 2.500                             | 36.790<br>(28.000)  |                 |
| Totaal (excl. BTW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9.750<br>(4.800)               | 65.619<br>(62.830)                  | 11.500<br>(15.000)                | 86.869<br>(82.630)  |                 |
| BTW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                |                                     |                                   | 18.242<br>(17.352)  |                 |
| Totaal (incl. BTW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                |                                     |                                   | 105.111<br>(99.982) |                 |
| * Opgemerkt wordt dat het aantal opgegeven uren niet overeenkomt met het aantal daadwerkelijk gemaakte uren. De gemaakte uren van bijvoorbeeld CRUX zijn een veelvoud van de hier aangegeven uren. Echter, omdat het budget gemaximaliseerd is, zijn deze hier niet allemaal aangegeven. Indien gewenst kunnen deze uren wel worden opgegeven aan de opdrachtgever. |                                |                                     |                                   |                     |                 |

In Werkpakket 1 zijn ook kosten derden toegevoegd omdat we in die fase ook leges kosten hadden en we een externe partij hebben ingehuurd om ons te ondersteunen bij de vergunningsaanvragen. Wij zagen dit als een belangrijk (tijds-)risico bij het ontwerp van de pilot.

In werkpakket 2 zijn de onderdelen “Machines en Apparatuur” en “Kosten Derden” goed gebudgetteerd. Bij Machines en apparatuur moet aan de damwand en monitorings apparatuur worden gedacht. Voor Kosten Derden gaat een groot deel van de kosten naar de installatietechniek die nog is voor de uitvoering van de proef. Daarnaast zijn hier posten bijgekomen als de aansluiting voor stroom door Stedin, verzekeringen, grondwerk rond de damwand, etc.

Werkpakket 3 bestaat met name uit arbeidskosten met daarnaast wat kleine kosten die tijdens de uitvoering nodig zijn, waaronder stroom.