



# Thermische potentie van de CSM-energiewand wordt gemeten

**De vraag naar duurzame warmteproductie en energie in het algemeen neemt wereldwijd toe. Klassieke geothermische boorgat-installaties zijn duur vanwege de vereiste boordieptes. Ondiepe thermische warmtewisselaars bestaande uit thermisch geactiveerde geotechnische constructies vormen daarom een interessant alternatief door het combineren van primaire, civieltechnische functies met een warmtebron als secundaire functie.**

De CSM (Cutter-Soil-Mix) -energiewand is een dergelijke geotechnische constructie die inzetbaar is als bodemwarmtesysteem door een warmtewisselaar aan te brengen op de wapeningsprofielen. Naast de funderings-en/ of grondkerende functie van de CSM-wand ontstaat zo tevens een warmte/koude-bron. In Amstelveen is in het kader van de MIT-subsidie een testlocatie opgezet waar dit systeem gedurende 1 jaar (vanaf november 2023) wordt getest. Het doel van deze pilot is om zowel de thermische efficiëntie als het thermo-mechanische gedrag van het systeem te beoordelen. Voorlopend aan de proef zijn verkennende numerieke eindige elementen modellen opgezet waarin de gevoeligheid van de thermische onttrekkingspotentie is verkend.

## IN 'T KORT - CSM-energiewand

Een warmtewisselaar maakt van een geotechnische constructie een energiewand

In Amstelveen is een proefopstelling gemaakt van de CSM-energiewand

Met een TEMP/W model is een variantenstudie uitgevoerd

De uitkomsten van de pilot worden gebruikt om de modellen te verfijnen

## Systeembeschrijving

Een CSM-wand is een in de grond gevormde grond- en waterkerende wand. De wand wordt gerealiseerd middels een CutterSoilMix-frees die de aanwezige grond in situ vermengt met cement en water. Waar voorheen de CSM-wand voornamelijk is toegepast in zandige ondergronden, kan deze nu ook worden toegepast in cohesieve lagen. Na het frezen van de wand worden stalen wapeningsprofielen (veelal IPE-profielen) afgehangen in het nog onverharde CSM-materiaal.

Door PE-lussen te verbinden aan deze wapeningsbalken ontstaat een CSM-energiewand. De aangebrachte lussen worden vervolgens aangesloten op een warmtepomp die een koudemiddel (water+glycol) door het systeem circuleert. De op deze manier aan de ondergrond onttrokken warmte wordt vervolgens opgewaardeerd naar bruikbare temperaturen voor verwarming en afgegeven aan het afgiftesysteem in het gebouw. Het systeem is ook te gebruiken voor koeling van gebouwen, bijvoorbeeld in de zomer wanneer de bodem kouder is dan het pand zelf.

## Proefopstelling - Amstelveen

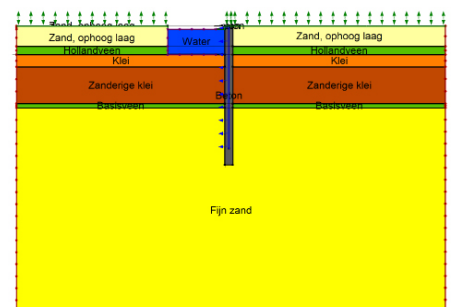
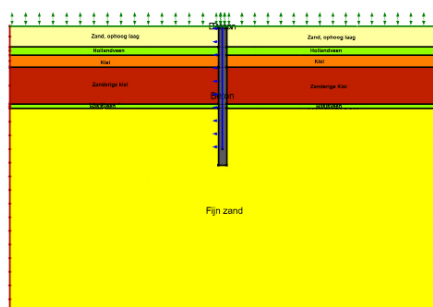
In Amstelveen is een CSM-energiewand pilot opgezet waarbij de wand tijdens de bouw fase functioneert als grondkering voor de aanleg van de kelder. In de definitieve situatie functioneert de CSM-energiewand ook als funderingselement en als bron van warmte en koude. De activatie-PE-lussen zijn aangebracht op alle IPE300 wapeningsprofielen van de wand.

De bodemopbouw op de locatie is kenmerkend voor Amsterdam, met een zandige toplaag tot circa NAP -3,5m en Holocene pakket tot circa NAP -11,0 m met

daaronder de eerste zandlaag. Twee luslengtes zijn toegepast op de locatie: ondiepe lussen ter beoordeling van het onttrekbaar vermogen uit het Holocene pakket en diepe lussen ter beoordeling van het maximale vermogen uit de CSM-energiewand. Tijdens deze proef worden het vermogen, de bodemtemperaturen en debieten door het systeem gemeten. De pilot loopt van november 2023 tot september 2024. Het doel is om de thermische potentie van de CSM-energiewand in de praktijk vast te stellen.

## TEMP/W modellering

Om de invloed van diverse thermische eigenschappen van de grond op het rendement van de CSM-Energiewand te bepalen, is middels een TEMP/W-model een variantenstudie uitgevoerd. Dit onderzoek is gedaan in het kader van een afstudeeronderzoek. Hiertoe is een basismodel opgesteld, gebaseerd op de proefopstelling geometrie en thermische parameters van de grondlagen op basis van kengetallen. De thermische parameters uit dit basismodel zijn gevarieerd ter vaststelling van de invloed van de parameters op het piekvermogen. Aanvullend is het basismodel aangepast om de invloed van open water op het piekvermogen te beschouwen. In dit model is onderzocht wat de potentie van warmteonttrekking uit oppervlaktewater is vergeleken met de eerder beschouwde grondsoorten. De invloed van de thermische eigenschappen van de grond is weergegeven met behulp van warmtefluxen. Een warmteflux geeft aan hoeveel energie per seconde van een medium naar een oppervlakte stroomt. In deze studie is enkel gekeken naar de warmteflux die



Model opstelling gevoeligheidsanalyse thermische parameters (links) en contactmetingen water vs. grond (rechts).



Een PE-lus op het IPE-profiel voordat deze in de CSM-wand is geplaatst.

optreedt tijdens de eerste dag, bij het piekvermogen van de warmteonttrekking. De langetermijn-afname van het vermogen door afkoeling van de bodem is in deze eerste studie niet meegenomen.

Twee modellen zijn opgesteld:

- Gevoeligheidsanalyse van de thermische parameters.
- Gevoeligheidsanalyse contactmedium naast CSM Energiewand.

### Gevoeligheidsanalyse

De thermische geleidbaarheid ( $\lambda$ ) en de volumetrische warmtecapaciteit ( $C_p$ ) hebben een dominante invloed op het thermisch rendement van de CSM-energiewand. Om de invloed van deze thermische parameters inzichtelijk te maken zijn deze parameters verhoogd en verlaagd met 50 procent in de klei- en veenlagen.

In een tabel zijn de percentages van de verschillende piekwarmtefluxen bij een variatie van de thermische parameters weergegeven. Het percentueel verschil in warmteflux van de volumetrische warmtecapaciteit voor zowel de klei en veenlagen is laag. Dit is te verklaren omdat de analyse is gedaan op basis van de piekvermogens. De verwachting is dat wanneer de thermische analyse voor langere

	Variatie piekwarmteflux bij variatie van volumetrische warmtecapaciteit [%]	Variatie piekwarmteflux bij variatie van de thermische geleidbaarheid [%]
Veen	1	4
Klei	3	30

Resultaten variatie in volumetrische warmtecapaciteit en thermische geleidbaarheid op de piek warmtefluxen.

duur wordt uitgevoerd de invloed van de volumetrische warmtecapaciteit op het vermogen wel zichtbaar is. De invloed van de thermische geleidbaarheid in de veenlaag is significant minder dan de kleilaag. Dit is een gevolg van de dominante dikte van de kleilaag, waardoor de geleidbaarheid van de veenlaag niet goed inzichtelijk is.

### Contactmedium naast de wand

Behalve de thermische eigenschappen van de grond is ook de invloed van het contactmedium naast de wand op het thermisch rendement bepaald. Het basismodel is aangepast, en aan één zijde is het grondcontactvlak vervangen door oppervlaktewater. De watertemperatuur is aangehouden op 5°C. Dit betreft een realistische inschatting van de openwatertemperatuur in het midden van de winter in Nederland.

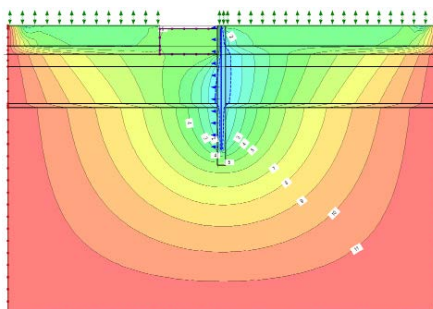
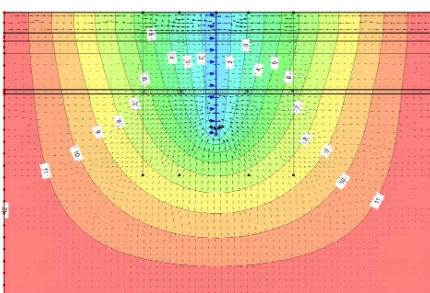
Ten opzichte van het basismodel vallen de volgende punten op:

- Het oppervlaktewater zorgt voor circa 10 keer hogere warmtefluxen vergeleken met de piek warmtefluxen van de klei- en veenlagen.
- Het oppervlaktewater zorgt voor circa 2 à 3 keer hogere piekwarmtefluxen in vergelijking met de warmtefluxen van de zandlaag.

### Conclusie

De CSM-energiewand is een thermisch geactiveerde geotechnische constructie waar met aangebracht PE-lussen een thermische bron voor warmtepompen wordt gecreëerd. De parameters die van invloed zijn op de thermische potentie van deze wand zijn in het kader van een afstudeeronderzoek van Senne Koevoets inzichtelijk gemaakt middels verkennende Temp/W modellen. De conclusies van deze studie zijn gebruikt als vertrekpunt voor de opzet van een pilotproject in Amstelveen dat medio november 2023 is gestart. De uitkomsten van deze pilot worden verder gebruikt voor het opstellen en valideren van aanvullende modellen.

*Senne Koevoets is junior adviseur Geotechniek; Vincent Leclercq is adviseur Geotechniek; Korneel de Jong is sr. Adviseur en partner (allen bij CRUX Engineering), Oskar de Kok is bedrijfsleider bij BodemBouw.*



Ondergrondse temperatuur piekvermogen met CSM-Energiewand in basismodel (links) en naast oppervlaktewater (rechts).