

## Rendementsverbetering WKO

Datum:	6 juli 2011
Projectnummer:	11117
Status:	Definitief
Opdrachtgever:	Ministerie van VROM Postbus 20951 2500 EZ DEN HAAG Telefoon 070-3393317 E-mailadres
Uitgevoerd door:	DWA installatie- en energieadvies Duitslandweg 4 Postbus 274 2410 AG BODEGRAVEN Telefoon (088) 163 53 00 E-mailadres <a href="mailto:dwa@dwa.nl">dwa@dwa.nl</a>



## Inhoudsopgave

1	Samenvatting .....	5
2	Conclusies en aanbevelingen .....	8
2.1	Conclusies.....	8
2.2	Aanbevelingen .....	9
3	Inleiding .....	11
4	Invloedsfactoren op rendement bodemenergiesystemen .....	13
4.1	Onderzoeksopzet.....	13
4.2	Procesmatige mogelijkheden voor rendementsverhoging.....	14
4.2.1	Analyse en evaluatie van de resultaten.....	19
4.2.2	Prioriteitenvolgorde voor acties .....	20
4.3	Berekeningswijze rendement wko-systemen.....	22
4.3.1	Ontwerp COP berekening .....	22
4.3.2	Dynamisch versus statisch rekenen .....	22
4.3.2.1	Ontwerpcondities en deellastsituaties.....	23
4.3.2.2	Inslingeren.....	23
4.3.2.3	Functioneren van de installaties.....	23
4.3.2.4	Dynamische simulaties noodzakelijk.....	23
4.4	mogelijkheden voor rendementsverhoging en marktvergroting.....	24
4.5	vervangingsaspecten van bodemenergiesystemen.....	26

Begrippenlijst

Literatuurlijst

## Bijlagen

I	Uitwerking van de interviews.....	32
---	-----------------------------------	----



## 1 Samenvatting

Installaties met warmte-/koudeopslag (wko) kunnen een forse reductie opleveren op het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-reductie voor verwarming en koeling van gebouwen, woningen, tuinbouwkassen enzovoort. In de praktijk blijken de prestaties van gerealiseerde installaties met wko nogal eens achter te blijven bij de berekende waarden. Deze deskstudie is bedoeld om de oorzaken rond het niet behalen van de berekende rendementen nader te inventariseren en omschrijven. De centrale vraag in deze studie is:

*Welke factoren zijn van betekenis voor rendementen van bodemenergiesystemen en hoe kunnen die worden beïnvloed?*

Met rendement wordt in deze studie zowel het energetisch rendement als het economisch rendement van de installatie bedoeld. Het technische haalbare energetisch rendement kan worden verhoogd door technische innovaties en aanpassingen. Tegelijkertijd kan het voorkomen van storingen en dergelijke ervoor zorgen dat het berekende energetisch en economisch rendement ook daadwerkelijk gehaald wordt.

Met behulp van een literatuurstudie en interviews met verschillende betrokken partijen is een beeld verkregen van de huidige situatie rond warmte- en koudeopslag. De oorzaken die leiden tot slechte rendementen van wko-systemen zijn in een van de interviews als volgt samengevat:

*“Gebrek aan kennis, afstemming en continuïteit leidt tot problemen met kwaliteit en prijs”.*

De oorzaken die in bovenstaande zin genoemd worden staan niet op zichzelf. Ze komen duidelijk naar voren in al de interviews. De verschillende gevonden knelpunten zijn opgesplitst in knelpunten bij ontwerp, realisatie en exploitatie van wko-systemen (zie Tabel 4.1, Tabel 4.2 en Tabel 4.3). Voor elk knelpunt zijn de betrokken actoren en mogelijke maatregelen aangegeven. De belangrijkste knelpunten zijn hieronder weergegeven.

*Knelpunten bij het ontwerp:*

- Ontwerputgangspunten komen niet overeen met de werkelijke situatie.
- Bij het ontwerp wordt onvoldoende rekening gehouden met het opvangen van fluctuaties in gebouwgebruik, klimaat, etc. Er vindt geen (goede) gevoeligheidsanalyse plaats.
- Het ontwerp en de omschrijving van de regeling wordt niet voldoende uitgewerkt.

*Knelpunten bij de realisatie:*

- Er is een kennisgat bij een deel van de installateurs en bronboorders, waardoor men zich niet realiseert wat er gedaan moet worden om een goede installatie te krijgen.
- Testen, inregelen en opleveren van de regeltechniek wordt niet (goed) uitgevoerd.
- Er is geen of slechte regievoering voor de noodzakelijke afstemming van alle partijen.

*Knelpunten bij de exploitatie:*

- Kennis en inzicht bij de beheerder ontbreekt om basisproblemen goed op te lossen en consequenties van wijzigingen te overzien.
- Er is geen/slechte monitoring van de energiestromen, waardoor problemen pas na een tijd naar boven komen.
- Er zijn geen harde eisen aan het optimaal functioneren van de wko. Tevens is er nauwelijks handhavend optreden met betrekking tot bestaande regels en keurmerken voor installaties

*Maatregelen:*

Uit de interviews en de literatuurstudie blijkt dat kennisborging al door verschillende partijen is opgepakt (ISSO, NVOE). Echter, hier wordt maar door een beperkt deel van de markt gebruik van gemaakt. Om het gebruik van de bestaande kennis te stimuleren en het rendement van wko-systemen te verhogen adviseren wij volgende maatregelen (in volgorde van prioriteit).

- Treed handhavend op met betrekking tot bestaande regels en keurmerken voor installaties.
- Realiseer een integrale benadering van het totale proces van ontwerp – realisatie – exploitatie. Dit kan door prestatie-eisen te stellen aan het overall-rendement van de installatie in combinatie met

een financiële regeling. Via deze weg wordt de noodzakelijke afstemming en continuïteit bevorderd.

- Bevorder standaardisatie van wko-systemen en specialisatie van aanbieders, installateurs, bronboorders en onderhoudspartijen voor wko (en andere duurzame energiesystemen).
- Zorg dat er hulpmiddelen komen voor ontwerpers om dynamische simulatieberekeningen voor energiecentrales met wko uit te voeren. Alleen met inzet van dergelijke berekeningen ontstaat voldoende inzicht om alle effecten en gevoeligheden in het systeem te leren kennen.

#### *Innovaties en marktvergroting:*

Met behulp van de interviews en de literatuurstudie is tevens een beeld verkregen van de innovaties en potentiële marktvergrotingen. Uit de gevonden innovaties en marktvergrotingen blijkt duidelijk de brede toepasbaarheid van warmte/koudeopslag. Er zijn geen losstaande ideeën gevonden die nog door niemand zijn opgepakt. Ze worden alleen nog niet op grote schaal toegepast en zijn nog niet algemeen gangbaar. In Tabel 4.4 zijn de randvoorwaarden en gevolgen voor de verschillende innovaties genoemd. De belangrijkste innovaties van dit moment zijn:

- Bodemsanering met behulp van wko.
- Combinatie van de wko bron met de brandblusvoorziening.
- Verlagen van de elektriciteitsvraag door buffering van warmte en koude in de bodem (warmtepomp mag tijdelijk uit bij gebouwen met veel massa).
- Toepassen van middel hoge (25-50 °C) temperatuur op slag. Hierdoor kan de warmtepomp overbodig worden.
- Koppelen van verschillende gebouwen op een wko-systeem, zodat energie-uitwisseling mogelijk wordt.

#### *Vervanging van bodemenergiesystemen*

Er is momenteel geen beleid met betrekking tot vervanging van niet meer in gebruik zijnde bodemenergiesystemen. Uit de praktijk blijkt dat vervanging van de wko-bronnen als calamiteit gezien wordt. Vervanging door slijtage is nog niet voorgekomen. Als de wko-bronnen niet meer gebruikt worden kunnen ze omgebouwd worden tot bijvoorbeeld waterwinputten. Alleen in het uiterste geval worden ze afgevuld.

In het Besluit (AMvB) Bodemenergiesystemen wordt genoemd dat het ondergrondse deel van een bodemenergiesysteem na beëindiging van het gebruik niet mag worden verwijderd om beschadiging van waterscheidende bodemlagen te voorkomen. De buizen moeten zodanig met een waterondoorlatend materiaal worden gevuld dat de werking van de afsluitende lagen zoveel mogelijk wordt hersteld. Tevens is in dit besluit opgenomen dat het niet nodig is eisen te stellen met betrekking tot warmte- of koudebellen die na de buitengebruikstelling in de bodem achterblijven.



## 2 Conclusies en aanbevelingen

### 2.1 Conclusies

De knelpunten rond warmte- en koudeopslag kunnen als volgt worden samengevat:

*“Gebrek aan kennis, afstemming en continuïteit leidt tot problemen met kwaliteit en prijs”.*

Gebrek aan kennis betekent in de meeste gevallen een gebrek aan budget om opleidingen te volgen. De regeling van de installatie zorgt voor veel problemen. Uit de interviews blijkt dat het ontwerp door gebrek aan budget te globaal plaatsvindt en naar achteren geschoven wordt of helemaal niet gebeurt. Het is wenselijk dat de installatieadviseur de regeling ontwerpt en een exacte beschrijving opneemt in het bestek, zodat de installateurs geen hinder ondervinden van hun gebrek aan kennis op dit terrein. Een andere mogelijkheid is dat leveranciers complete installaties inclusief regeling aanbieden. Dit kan tevens standaardisatievoordelen geven.

Met betrekking tot afstemming en continuïteit komt uit dit onderzoek duidelijk naar voren dat voor duurzame energiesystemen (met name daar waar buffering -zoals ondergrondse energieopslag-toegepast wordt) op *stysteemniveau* gedacht moet worden. Dit is nodig, omdat bij systemen zoals klimaatinstallaties de prestaties van de afzonderlijke componenten (zoals de warmte- en koudeopslag) sterk afhankelijk zijn van de prestaties van de andere componenten in het systeem (zoals warmtepomp en regeling). Bij (conventionele) systemen zonder buffering is deze afhankelijkheid veel minder sterk en werkt de traditionele componentgerichte benadering dan ook redelijk goed.

Deze *integrale of systeemgerichte benadering* is noodzakelijk, zowel voor het geheel van gebouw(schil) – gebruiksfunctie – klimaatinstallatie als voor de verschillende onderdelen van de klimaatinstallatie (zoals de warmtepomp, warmtewisselaar, regelkleppen, pompen en de warmte- en koudeopslag). Een systeemgerichte benadering is niet alleen noodzakelijk bij het ontwerp, maar ook bij de realisatie en exploitatie. Het is daarom wenselijk dat in alle fasen die een duurzaam energiesysteem doormaakt -ontwerp, realisatie, exploitatie- er afstemming plaatsvindt tussen de verschillende betrokken partijen. Dit betekent dat er onder andere gezorgd moet worden voor continuïteit in de betrokken partijen en personen. Zogenaamde ‘system integrators’ kunnen hier een belangrijke rol in spelen.

In de praktijk wordt een integrale benadering echter nog maar nauwelijks toegepast. Voor veel betrokken partijen (installateur, onderhoudspartij) werkt de huidige componentgerichte benadering voldoende. Voor eindgebruikers van de klimaatinstallaties (gebouwgebruikers) geldt gemiddeld dat er pas na twee jaar opdracht voor onderhoud gegeven wordt.

Voor alle gevonden innovaties en marktvergrotingen zijn al initiatiefnemers. Er is geen sprake van losstaande ideeën die nog door niemand zijn opgepakt. Ze worden alleen nog niet op grote schaal toegepast of zijn algemeen gangbaar. De brede toepasbaarheid van warmte- en koudeopslag komt duidelijk naar voren in al de verschillende mogelijkheden.

Momenteel is er geen beleid op vervanging van niet meer in gebruik zijnde bodemenergiesystemen. Uit de praktijk blijkt dat vervanging van de wko-bronnen als calamiteit gezien wordt. Vervanging door slijtage is nog niet voorgekomen, voor het ontwerp wordt een levensduur van 30 jaar aangenomen. Als de wko-bronnen niet meer gebruikt worden kunnen ze omgebouwd worden, bijvoorbeeld tot brandweerput of drinkwatervoorziening. Alleen in het uiterste geval worden ze dichtgegooid. Dit gebeurt volgens de gegevens over de grondlagen. Het binnenwerk van de bron (pompen e.d.) heeft een levensduur van gemiddeld 7 jaar.



## 2.2 Aanbevelingen

Wij adviseren om de volgende maatregelen te nemen (in volgorde van prioriteit) om het rendement van wko-systemen te verhogen:

- Treed handhavend op met betrekking tot bestaande regels en keurmerken voor installaties.
- Realiseer een integrale benadering van het totale proces van ontwerp – realisatie – exploitatie. Dit kan door prestatie-eisen te stellen aan het overall-rendement van de installatie in combinatie met een financiële regeling. Op deze manier vind er een financiële terugkoppeling van het presteren van de installatie plaats en wordt de noodzakelijke afstemming en continuïteit bevorderd.. Dit kan in de vorm van (1) prestatiecontracten in het kader van Duurzaam Beheer en Onderhoud (ISSO-publicaties 100 t/m 107) of (2) door middel van boetes bij het niet behalen van een door het bevoegd gezag opgelegde prestatie-eis. Dit zorgt er automatisch voor dat er een systeemgerichte benadering ontstaat, vanwege de noodzakelijkheid voor het behalen van de prestaties om de negatieve terugkoppeling te elimineren. In hoofdstuk 7 van het Besluit Bodemenergiesystemen zoals gepubliceerd op 5 april 2011 wordt gesproken over invoering van landelijk uniforme kwaliteitsborging van bodemenergiesystemen. Tevens wordt de mogelijkheid genoemd om in het kader van de Waterwet een minimaal vereist energierendement en voorschriften voor monitoring en registratie op te nemen in de watervergunning.
- Bevorder standaardisatie van wko-systemen en specialisatie van aanbieders, installateurs, bronboorders en onderhoudspartijen voor wko (en andere duurzame energiesystemen). Op deze manier worden beginnersfouten gereduceerd, gaan de kosten omlaag en de kwaliteit omhoog.
- Zorg dat er hulpmiddelen komen voor ontwerpers om dynamische simulatieberekeningen voor energiecentrales met wko uit te voeren. Alleen met inzet van dergelijke berekeningen ontstaat voldoende inzicht om alle effecten en gevoeligheden in het systeem te leren kennen. Om dynamisch rekenen te stimuleren kan inzicht in het dynamisch verloop van de energiebalans gedurende een aantal jaar geëist worden.



### 3 Inleiding

Installaties met warmte-/koudeopslag (wko) kunnen een forse reductie opleveren op het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-reductie voor verwarming en koeling van gebouwen, woningen, tuinbouwkassen enzovoort. In de praktijk blijken de prestaties van gerealiseerde installaties met wko nogal eens achter te blijven bij de berekende waarden. De oorzaken zijn divers van aard; componenten voldoen niet aan de specificaties, het ontwerp kan niet optimaal zijn, tijdens de realisatie worden fouten gemaakt en het onderhoud en beheer krijgen niet de vereiste aandacht. Deze deskstudie is bedoeld om de oorzaken rond het niet behalen van de berekende rendementen nader te inventariseren en omschrijven. De centrale vraag in deze studie is:

*Welke factoren zijn van betekenis voor rendementen van bodemenergiesystemen en hoe kunnen die worden beïnvloed?*

Om deze vraag te beantwoorden is er onderscheid gemaakt in factoren die ervoor zorgen dat het berekende rendement niet gehaald wordt en factoren die het theoretisch rendement kunnen vergroten. Met rendement wordt in deze studie zowel het energetisch rendement als het economisch rendement van de installatie bedoeld. Het technische haalbare energetisch rendement kan worden verhoogd door technische innovaties en aanpassingen. Tegelijkertijd kan het voorkomen van storingen en dergelijke ervoor zorgen dat het energetisch en economisch rendement ook daadwerkelijk gehaald wordt.

In paragraaf 4.1 is de onderzoeksopzet verder uitgewerkt. In paragraaf 4.2 worden de oorzaken voor het niet behalen van de berekende rendementen beschreven. Hierbij is tevens uitgezocht welke remedies toegepast dienen te worden om tot betere rendementen te komen en de werkelijkheid meer in overeenstemming te brengen met de berekeningen (of vice versa). In paragraaf 4.3 is de berekeningswijze voor het rendement van warmte- en koudeopslag beschreven. In paragraaf 4.4 wordt beschreven welke opvattingen er in de markt bestaan voor verhoging van de rendementen van wko-systemen door innovaties en/of beleidsmatige wijzigingen. In paragraaf 4.5 krijgen de vervangingsaspecten van wko-systemen aandacht.



## 4 Invloedsfactoren op rendement bodemenergiesystemen

### 4.1 Onderzoekopzet

In de inleiding is de achtergrond van deze deskstudie omschreven. De centrale vraag in deze studie is: Welke factoren zijn van betekenis voor rendementen van bodemenergiesystemen en hoe kunnen die worden beïnvloed? Om de veelheid aan factoren die van invloed zijn op het rendement van bodemenergiesystemen overzichtelijk te maken is er onderscheid gemaakt in drie groepen (zie Figuur 4.1):

- Proces;
- Techniek;
- Markt.

#### Proces

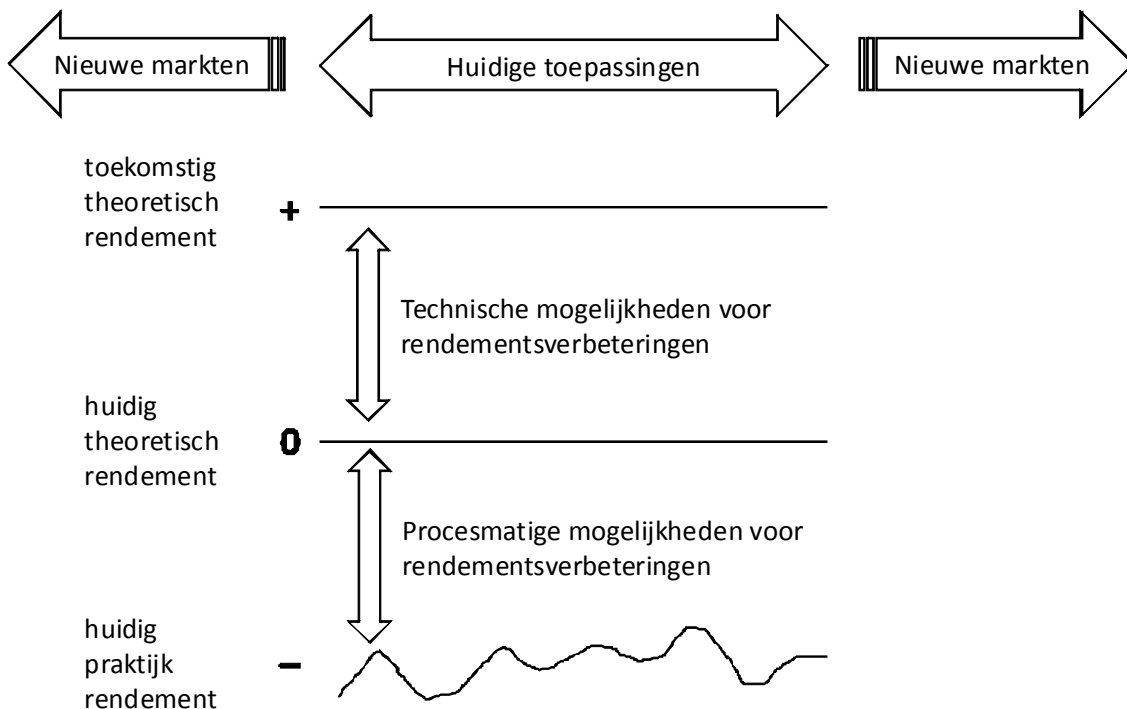
Onder proces wordt het ontwerp, realisatie en exploitatie van bodemenergiesystemen verstaan. Deze groep omvat de factoren die ervoor zorgen dat het berekende energetisch en/of economisch rendement wel of niet gehaald wordt.

#### Techniek

Onder techniek worden de mogelijkheden voor verhoging van de theoretische rendementen van bodemenergiesystemen door innovaties en/of beleidsmatige wijzigingen verstaan. Deze groep omvat de factoren die ervoor zorgen dat er een hoger theoretisch rendement mogelijk is.

#### Markt

Onder markt wordt de afzetmarkt van bodemenergiesystemen verstaan. Deze groep omvat de factoren die ervoor zorgen dat er een grotere afzetmarkt beschikbaar is.



Figuur 4.1 schematische weergave van de onderzoeksvraag

## 4.2 Procesmatige mogelijkheden voor rendementsverhoging

Om inzicht te krijgen in de oorzaken die ervoor zorgen dat het berekende energetisch en/of economisch rendement niet gehaald wordt is een literatuurstudie uitgevoerd en zijn er interviews gehouden met betrokken marktpartijen. De resultaten van de literatuurstudie zijn in de Literatuurlijst te vinden. Deze omvat alle actuele en relevante publicaties met betrekking tot de onderzoeksvraag van deze studie. Bij elke publicatie is een korte omschrijving van de inhoud gegeven. De uitwerkingen van de interviews zijn in bijlage I te vinden.

Met behulp van de literatuurstudie en de interviews is een totaalbeeld ontstaan van de knelpunten en vereiste acties met betrekking tot rendementsverbetering. In Tabel 4.1, Tabel 4.2 en Tabel 4.3 is dit overzichtelijk weergegeven. Voor elke fase in een wko-project (ontwerp, realisatie en exploitatie) is een aparte tabel gemaakt. In deze tabellen zijn voor elk knelpunt de volgende punten opgenomen:

- Gereedschappen, certificering, regelgeving, normering en andere mogelijke maatregelen waarmee deze oorzaak kan worden ondervangen;
- Bijbehorende actoren met een korte omschrijving van hun rol en de invloed die zij kunnen uitoefenen op het betreffende punt.

De knelpunten die in de tabellen genoemd worden zijn *oorzaken* van allerlei problemen die uit de literatuurstudie en interviews naar boven kwamen. Bijvoorbeeld; een van de moeilijkheden bij de exploitatie is dat de eisen aan de energiebalans niet gehaald worden. Echter, veel van de problemen met onbalans tussen de warme en koude bron kunnen worden opgelost door regeltechnische aanpassingen. Dit probleem resulteert dus in een knelpunt bij ontwerp en bij realisatie (ontwerpen en afstellen/inregelen van de regeling van de installatie).

Tabel 4.1 Beschrijving knelpunten rendement WKO systemen in ontwerpfase

Ontwerp						
Omschrijving knelpunt →	Ontwerputgangspunten komen niet overeen met de werkelijke situatie. bijv. het temperatuurverschil tussen cq. temperaturniveaus van de warme en koude bron. Of het werkelijk gedrag van de huidige installatie is niet goed bekend. Tevens wordt de interactie tussen de bronnen en de bodem wordt niet altijd goed begrepen.	De visie van de projectontwikkelaar komt niet overeen met de wens van de gebruiker. Daardoor kan er bij de exploitatie niet vastgehouden worden aan het oorspronkelijk concept. Dit zorgt voor allerlei problemen bij de exploitatie	Bij het ontwerp wordt onvoldoende rekening gehouden met het opvangen van fluctuaties in gebruik en klimaat (deellast situaties). Er wordt geen (juiste) gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waardoor er niet gecorrigeerd kan worden (bijv. de mogelijkheid om zowel extra koude als extra warmte te laden ontbreekt)	Er zijn veel concepten mogelijk met wko. Het te kiezen concept moet bij het project passen (afstemming tussen gebouwschil, afgifte-installatie in gebouw en energieopwekking). Tevens dienen bijbehorende projectspecifieke berekeningen gemaakt te worden. Als dit niet goed wordt uitgevoerd, dan ontstaan er allerlei problemen bij de exploitatie (extra kosten, minder duurzaamheid, slechte energiebalans)	Er wordt onvoldoende naar beheer en onderhoud gekeken waardoor er extra kosten zijn bij de exploitatie. Er is bijvoorbeeld geen volledige omschrijving van de meetpunten, waardoor niet alles wat nodig is geplaatst wordt.	Het ontwerp en een gedetailleerde omschrijving van de regeling is cruciaal. Dit is een bron van allerlei mogelijke problemen en heeft grote invloed op het rendement van een wko-systeem.
Maatregelen voor verbetering en borging (gereedschappen, certificering, regelgeving, normering, enz.)	<p>ISSO publicatie waarin aangegeven wordt wat de veiligheidsmarges mogen zijn. Dit kan gecombineerd worden met certificering.</p> <p>Opleiding met specifieke aandacht voor het ontwerp van wko (en duurzame energie systemen in het algemeen). Er moet ontworpen worden op mogelijk voorkomende energiestromen in plaats van ontwerputgangspunten.</p> <p>Gebruik van dynamische simulaties, om inzicht te krijgen in werkelijk voorkomende temperaturen en debieten</p>	<p>Integrale benadering van het totale proces van ontwerp – realisatie – exploitatie.</p> <p>Terugkoppeling naar ontwerper bij realisatie en exploitatie, zodat knelpunten tussen ontwerp en gebruik snel duidelijk kunnen worden.</p>	<p>ISSO publicatie waarin aangegeven wordt wat de bandbreedte van het ontwerp dient te zijn.</p> <p>Dynamisch in plaats van statisch rekenen, zodat inzicht verkregen wordt in het gedrag van de installatie bij alle voorkomende buitentemperaturen.</p>	<p>ISSO publicatie waarin een integrale of systeem benadering voor het ontwerp van de hele keten (opslag/bron van energie – opwerkingsinstallatie – afgifte-installatie – afnemer van de energie) beschreven wordt. Dit kan gecombineerd worden met certificering.</p> <p>Gestandaardiseerde systemen aanbieden.</p> <p>Opleiding met specifieke aandacht voor het ontwerp van wko (en duurzame energie systemen in het algemeen).</p>	<p>ISSO publicatie waarin aangegeven wordt wat de eisen aan beheer en onderhoud zijn. Dit is vooral van belang voor kennisoverdracht.</p> <p>Gedetailleerde (exacte) omschrijving in het bestek van de te monitoren onderdelen en de manier waarop.</p>	<p>ISSO publicatie waarin aangegeven wordt wat een goede regeling is en wat de eisen aan de omschrijving van de regeling zijn. Dit kan gecombineerd worden met certificering.</p> <p>De regeltechnische omschrijving dient door een deskundige partij gemaakt te worden.</p> <p>Voor elke bedrijfssituatie is een hydraulisch schema met bijbehorende stromingsrichtingen en regelparameters nodig.</p>
Actoren ↓						
NVOE	<p><b>Rol:</b> brancheorganisatie wko <b>Invloed:</b> Richtlijnen en cursussen voor het ontwerp van bodemenergiesystemen</p>					
ISSO	<p><b>Rol:</b> kennisinstituut installatietechniek <b>Invloed:</b> ISSO-publicatie 39 (nieuwe versie verwacht in 2011) over het ontwerp van installaties met warmte- en koudeopslag in combinatie met certificering. ISSO-Publicatie 94 Regeltechniek voor klimaatinstallaties en warm tapwaterbereiding</p>					
Opleidingen zoals HIT, MIT	<p><b>Rol:</b> opleidingen installatietechniek <b>Invloed:</b> Verzorgen van opleidingen waarmee inzicht gecreëerd wordt in het denken in energiestromen en het specifiek ontwerpproces van wko</p>					
Platform duurzame technologie (PDT)	<p><b>Rol:</b> Platform tot scholing van de technische installatiebranche <b>Invloed:</b> Kennisborging door het verzorgen van cursussen gebaseerd op de ISSO-praktijkrichtlijnen op het gebied van duurzame technieken (met betrekking op energie-verduurzaming).</p>					

Tabel 4.2 Beschrijving knelpunten rendement WKO systemen in realisatiefase

Realisatie							
Omschrijving knelpunt →	Er is nauwelijks fabrieksmatige serieproductie van wko-systemen, wat leidt tot een slechte kwaliteit	Er is een kennisgat bij een deel van de installateurs en bronboorders, waardoor men zich niet realiseert wat er gedaan moet worden om een goede installatie te krijgen.	Monitoringsmogelijkheden worden niet goed gerealiseerd door een slechte/geen communicatie tussen werktuigbouw-kundig ontwerper en de programmeur v/d regelstrategie.	Testen, inregelen en opleveren van de regeltechniek wordt niet (goed) uitgevoerd. Dit is een bron van allerlei problemen die vaak pas na een tijd naar boven komen (hardware/ vergunningstechnisch/ energierekening). Hierdoor is een slechte opstart v/d wko mogelijk, die lastig weer is recht te trekken (en kostbaar)	Door bezuinigingsrondes worden onderdelen wegbezuinigd of minder efficiënte gekozen dan gespecificeerd. Of er vinden uitbreidingen/aanpassingen plaats zonder met het ontwerp rekening te houden. Hierdoor gaan de energiestromen afwijken van het ontwerp. Dit geeft problemen bij de exploitatie, omdat de werkelijkheid sterk af kan gaan wijken van de uitgangspunten bij het ontwerp.	Oprachtgevers en management maken de keuze om alle partijen los van elkaar te laten opereren. (Er is geen of slechte regievoering voor de afstemming van alle partijen)	Geen terugkoppeling van het uiteindelijke resultaat aan het eind van de realisatie naar de ontwerper.
Maatregelen voor verbetering en borging (gereedschappen, certificering, regelgeving, normering, enz.)	Standaardisatie van wko-systemen en specialisatie van aanbieders.	Opleiding in combinatie met certificering.  Complete systemen aanbieden, zodat de installateurs zich niet met de regeling bezig hoeven te houden.  Gedetailleerde regelschrijvingen aanbieden, zodat de installateur gewoon zijn werk kan doen en de regeling niet zelf hoeft uit te vinden.  Specialisatie van installateurs/bronboorders voor wko (en andere duurzame energiesystemen)  De installateur moet om een hydraulisch schema voor elke bedrijfssituatie met bijbehorende stromingsrichtingen en regelparameters vragen.	Bewustwording  Start-up meetings waarbij afstemming plaatsvindt tussen ontwerpende en uitvoerende partijen.  Duidelijke afspraken maken over wat de verschillende betrokken partijen van elkaar verwachten. Tevens vastgeleggen hoe het proces moet gaan lopen met betrekking tot terugkoppeling en dergelijke.  Richtlijnen voor testen, inregelen en opleveren van de installatie, zodat problemen tijdig kunnen worden opgevangen.	Richtlijnen voor testen, inregelen en opleveren van de installatie, zodat problemen tijdig kunnen worden opgevangen.  Prestatie-eisen stellen aan het overall-rendement van de installatie in combinatie met een financiële regeling. Op deze manier vind er een financiële terugkoppeling van het presteren van de installatie plaats. Dit kan gerealiseerd worden met behulp van prestatiecontracten (eventueel in het grotere kader van Duurzaam Beheer en Onderhoud) of door prestatie-eisen door bevoegd gezag, in combinatie met boetes.	Exploitatiekosten dienen zwaarder te wegen dan investeringskosten. Prestatiecontracten kunnen hierbij een rol spelen.  Handhaving van het bestek door de adviseur.  Terugkoppeling naar ontwerper bij realisatie en exploitatie, zodat knelpunten tussen ontwerp en gebruik snel duidelijk kunnen worden.  Continuering van de betrokken partijen, zodat kennis over de installatie behouden blijft.	Bewustwording dat (Duurzame) energiesystemen een integrale of systeem-benadering nodig hebben.	Integrale benadering van het totale proces van ontwerp – realisatie – exploitatie.
Actoren ↓							
Bodem+	<b>Rol:</b> Ondersteunt de bodemwereld bij de uitvoering van financiële regelingen en bij het implementeren van nieuw beleid <b>Invloed:</b> Regelt erkenningen voor bedrijven die mechanische boringen willen uitvoeren						
Besluit (AMvB) bodemenergiesystemen	<b>Rol:</b> regelgeving voor bodemenergiesystemen <b>Invloed:</b> Paragraaf over kwaliteitsborging en energierendement (invoering landelijk uniforme kwaliteitsborging van bodemenergiesystemen   minimaal vereist energierendement en voorschriften voor monitoring en registratie opnemen in de watervergunning)						
SIKB	<b>Rol:</b> Netwerkorganisatie die alle spelers (bedrijfsleven en overheid) bij elkaar brengt om samen de kwaliteit van de uitvoering van archeologie en het (water-) bodembeheer te verbeteren <b>Invloed:</b> Regelt certificeringen voor bedrijven die mechanische boringen willen uitvoeren. En stelt de bijbehorende protocollen op (BRL SIKB protocol 2100 en 2101 Mechanisch Boren).						
NVOE	<b>Rol:</b> brancheorganisatie wko <b>Invloed:</b> Richtlijnen en cursussen voor het realiseren van bodemenergiesystemen						
ISSO	<b>Rol:</b> kennisinstituut installatietechniek <b>Invloed:</b> ISSO-Publicatie 107: Opleveringsprocedure om aan te tonen dat gebouw en installaties voldoen aan de prestaties die met de opdrachtgever zijn overeen gekomen. ISSO-Publicatie 94: Regeltechniek voor klimaatinstallaties en warm tapwaterbereiding.						
Opleidingen zoals HIT, MIT	<b>Rol:</b> opleidingen installatietechniek <b>Invloed:</b> Verzorgen van opleidingen waarmee inzicht gecreëerd wordt in het denken in energiestromen en het specifiek ontwerpproces van wko (en duurzame energiesystemen in het algemeen)						
Platform duurzame technologie (PDT)	<b>Rol:</b> Platform tot scholing van de technische installatiebranche <b>Invloed:</b> Kennisborging door het verzorgen van cursussen gebaseerd op de ISSO-praktijkrichtlijnen op het gebied van duurzame technieken (met betrekking op energie-verduurzaming).						



Tabel 4.3 Beschrijving knelpunten rendement WKO systemen in exploitatiefase

Exploitatie/beheer/onderhoud						
Omschrijving knelpunt →	Geen/ slechte monitoring van de energiestromen zorgt ervoor dat allerlei problemen pas na een tijd naar boven komen (hardware/ vergunningstechnisch/ energierekening)	Kennis en inzicht in wko (en klimaatinstallaties in het algemeen) ontbreekt bij de beheerder. Hierdoor worden basiszaken niet goed opgelost en consequenties van wijzigingen niet overzien. Het komt voor dat het onduidelijk is wie er om hulp geroepen kan worden bij problemen.	Er zijn geen harde eisen aan het optimaal functioneren van de wko. Daardoor is het belangrijk wie de beheerder (huurder/ eigenaar) is en wat zijn de intenties zijn (geld/ duurzaamheid). Als geld alleen een rol speelt geeft dit vaker een afgetrapte installatie.  (Een duurzame installatie kan ook conventioneel draaien. Als er maar geen (comfort)klachten zijn of geld verdient wordt is alles prima.)	Monitoring en correct afstellen (op juiste werking en rendement) is niet verplicht. Tevens is er nauwelijks handhaving van regels en keurmerken voor installaties.	Slechte overdracht van de installaties aan de beheerder, zodat de werking niet duidelijk is. Er is bijvoorbeeld geen communicatie over ontwerpuitgangspunten of wat wel en niet met de installatie mogelijk is.	Interferentie van wko-systemen
Maatregelen voor verbetering en borging (gereedschappen, certificering, regelgeving, normering, enz.)	Monitoring (door adviseur) verplicht stellen.  Er dienen goede afspraken gemaakt te worden over controle en testen v/d installatie bij verschillende seizoenen, zodat fouten snel ondervangen kunnen worden.  Energiebeheer (presteren van de complete installatie) net zo belangrijk maken als technisch beheer (presteren van de componenten). Dit kan door prestatie-eisen te stellen aan het overall-rendement van de installatie in combinatie met een financiële regeling. Op deze manier vind er een financiële terugkoppeling van het presteren van de installatie plaats. Dit kan gerealiseerd worden met behulp van prestatiecontracten (eventueel in het grotere kader van Duurzaam Beheer en Onderhoud) of door prestatie-eisen door bevoegd gezag, in combinatie met boetes.	Voor het beheer van installaties zijn eigen technici nodig die de basiszaken goed op kunnen lossen en weten wat er gedaan moet worden om de installatie goed werkend te houden  Zorg voor continuïteit in partijen. Begeleiding van onderhoud en beheer en fysiek onderhoud en wijzigingen bij deskundige partijen neerleggen (installatieadviseur/ installateur).  Voorzie de beheerder van een dashboard met indicatoren over de werking van de installatie en informatie over de contactpersoon bij problemen.  Professionaliseren en specialiseren van onderhoudspartijen. Een onderhoudspartij kan pas efficiënt (prestatie versus kosten) onderhoud plegen wanneer ze onafhankelijk is met betrekking tot kennis en mogelijkheden om in te grijpen. Tevens is het aan te bevelen dat ze zich organiseren (bijvoorbeeld bij de NVOE).	De eigenaar moet zich realiseren dat het beheer/onderhoud door de juiste persoon dient te gebeuren, wil de installatie goed werkend blijven  Zorg voor een financiële prikkel om de installatie goed te krijgen. Eventueel gestimuleerd door een overheidsmaatregel (bijvoorbeeld prestatie-eisen aan gebouwkwaliteit, klimaatinstallaties en totaal energiegebruik).	Instellen van een soort apk voor gebouwinstallaties.  Bewustmaking van de markt dat periodieke afstelling nodig is om de installatie goed te laten inlopen.  Inzichtelijk maken van de exploitatiekosten met behulp van referentie installaties  Goede handhaving van bestaande regelgeving geeft naar alle waarschijnlijkheid al veel betere resultaten voor het rendement	Toepassen van het BOA-principe (Om in de exploitatiefase de juiste beslissingen te kunnen nemen in het beheer van energieopslag is kennis van de gehele installatie en de bedoeling ervan onontbeerlijk. Inzicht in de gewenste werking behelst de volgende drie fasen: - het bronsysteem (B); - het opwekkings/omzettingssysteem (O); - het afgiftesysteem (A).)	Masterplannen voor de ruimtelijke ordening van de bodem voor wko-systemen.  Grootte van de bronnen laten afhangen van de perceelgrootte van een gebouw. Vervolgens kan het energiegebruik van het gebouw hierop aangepast worden.
Actoren ↓						
IBA	<b>Rol:</b> advies- en ingenieursbureau van de Gemeente Amsterdam <b>Invloed:</b> Studie naar oorzaken en oplossingsrichtingen van interferentie					
Besluit (AMvB) bodemenergiesystemen	<b>Rol:</b> regelgeving voor bodemenergiesystemen <b>Invloed:</b> Bepalingen ten aanzien van interferentie en energierendement (landelijk uniforme kwaliteitsborging van bodemenergiesystemen)					
NVOE	<b>Rol:</b> brancheorganisatie wko <b>Invloed:</b> cursussen voor het onderhoud en beheer van bodemenergiesystemen					
ISSO	<b>Rol:</b> kennisinstituut installatietechniek <b>Invloed:</b> ISSO-Publicaties 100 t/m 107: Duurzaam Beheer en Onderhoud					
Provincies	<b>Rol:</b> regelgeving en beleid rondt wko <b>Invloed:</b> Eisen stellen aan het (optimaal) functioneren van de wko					
Landelijke overheid	<b>Rol:</b> overkoepelende regelgeving en beleid rond wko <b>Invloed:</b> Breder kader opstellen van wko als onderdeel van het totaal van bouwen in Nederland					
DMB, gemeente Amsterdam	<b>Rol:</b> Dienst Milieu en bouwtoezicht A'dam <b>Invloed:</b> Project 'WKO, waarvoor je geld!'. Controle totale functioneren van de WKO in het kader van de Wet Milieubeheer (doelmatig energiegebruik van bedrijven en instellingen met een opgesteld elektrisch vermogen van meer dan 1,5 kW)					



## 4.2.1 Analyse en evaluatie van de resultaten

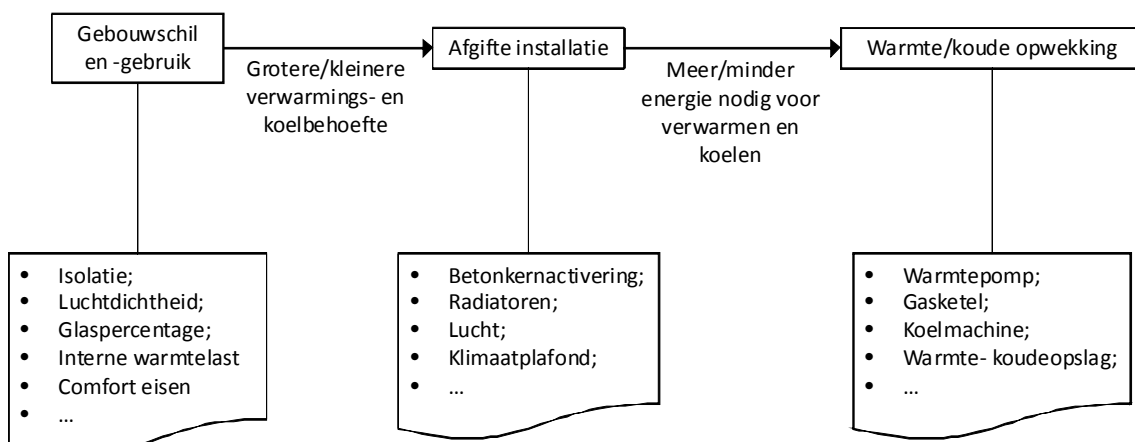
In een van de interviews werden de oorzaken die leiden tot slechte rendementen als volgt samengevat:

*“Gebrek aan kennis, afstemming en continuïteit leidt tot problemen met kwaliteit en prijs”.*

Gebrek aan kennis betekent in de meeste gevallen niet dat de kennis niet in de markt aanwezig is. Uit bovenstaande tabellen blijkt dat kennisborging al door verschillende partijen is opgepakt (NVOE, ISSO). De oorzaak voor gebrek aan kennis binnen partijen die bij wko betrokken zijn moet meer gezocht worden in gebrek aan budget om opleidingen te volgen of kennis bij te houden. Wat opvalt uit de interviews is dat de regeling voor veel problemen zorgt. Een van de tendensen in de markt is dat installatieadviseurs alleen nog opdracht krijgen voor het globaal ontwerp van de installatie. Het ontwerp van de regeling wordt dan aan de installateur overgelaten. De goedkoopste installatiepartij heeft echter geen budget voor scholing en kan daarom geen goede regeling ontwerpen als de kennis daarvoor niet in huis is. Het gevolg is dat het uitwerken van het ontwerp (met name van de regeling) naar achteren wordt geschoven of helemaal niet gebeurt. Van Installatieadviseurs mag verwacht worden dat ze de kennis in huis hebben om een goede regeling te ontwerpen. Het is daarom wenselijk dat de installatieadviseur de regeling ontwerpt en een exacte beschrijving opneemt in het bestek, zodat de installateurs geen hinder ondervinden van hun gebrek aan kennis op dit terrein. Een andere mogelijkheid is dat leveranciers complete installaties inclusief regeling aanbieden. Dit kan tevens standaardisatievoordelen geven.

Met betrekking tot afstemming en continuïteit komt uit dit onderzoek duidelijk naar voren dat voor duurzame energiesystemen (met name daar waar buffering -zoals ondergrondse energieopslag- toegepast wordt) op *systeemniveau* gedacht moet worden. Dit is nodig, omdat bij systemen zoals klimaatinstallaties de prestaties van de afzonderlijke componenten sterk afhankelijk zijn van de prestaties van de andere componenten in het systeem (zie Figuur 4.2). Dit betekent dat als één onderdeel niet goed werkt, dat dit effect heeft op het rendement van de complete installatie. Bij (conventionele) systemen zonder buffering is deze afhankelijkheid minder sterk en werkt de traditionele componentgerichte benadering dan ook redelijk goed<sup>1</sup>. Echter, in het algemeen geldt voor klimaatinstallaties dat door de juiste afstemming van de verschillende onderdelen er gemiddeld 30% energie bespaard kan worden [ISSO-Publicatie 100]. Het is voor het rendement dus van belang dat het *systeem* goed werkt. Alle onderdelen kunnen naar behoren werken, maar als de afstemming tussen de onderdelen niet goed zit kan het systeem niet optimaal werken.

Dit verklaart de noodzaak voor een *integrale of systeemgerichte benadering*.



**Figuur 4.2** Noodzaak van systeembenadering voor klimaatinstallaties vanwege de onderlinge afhankelijkheid van de verschillende(gebouw) componenten. Als de gebouwschil minder luchtdicht is als gespecificeerd in het ontwerp, dan is de vraag naar koeling en verwarming groter dan wat volgt uit het ontwerp. Daardoor kunnen de energiestromen te veel gaan afwijken van het ontwerp, zodat de warmte- en koudeopslag niet optimaal kan functioneren.

<sup>1</sup> Conventionele systemen werken niet anders als duurzame systemen. Conventionele systemen zijn erop gemaakt dat ze hun werk goed doen, ze zorgen voor koeling en verwarming op een relatief eenvoudige manier. Duurzame energiesystemen hebben de potentie ditzelfde te doen, maar dan voor minder energie. Echter, wanneer het rendement belangrijk wordt, moet er naar het hele systeem gekeken worden; de samenwerking tussen alle verschillende componenten. Als dit niet goed gebeurt, kan het energiegebruik van een duurzaam systeem hoger uitvallen dan een conventioneel systeem.

Deze onderlinge afhankelijkheid geldt zowel voor het geheel van gebouw(schil) – gebruiksfunctie – klimaatinstallatie als voor de verschillende componenten van de gebouw(schil) en de klimaatinstallatie (zoals de warmtepomp, warmtewisselaar, regelkleppen, pompen en de warmte- en koudeopslag) (Zie Figuur 4.2).

Vanwege de onderlinge afhankelijkheid van de componenten zijn klimaatinstallaties gevoelig voor afwijkingen van het ontwerp die buiten de toegestane bandbreedte vallen. Dit betekent dat wanneer er bij de realisatie of gedurende exploitatie wordt afgeweken van het ontwerp, dit direct effect heeft op het functioneren van het hele systeem. Globaal gezien kan gezegd worden dat als het ontwerp voldoende rekening houdt met de bandbreedte van klimaat en gebruikersgedrag en de realisatie en beheer en onderhoud volgens het ontwerp wordt uitgevoerd dat de klimaatinstallatie naar behoren en met het verwachte rendement zal functioneren.

Deze systeemgerichte benadering is daarom niet alleen noodzakelijk tijdens het ontwerp, maar ook bij de realisatie en exploitatie. Het is wenselijk dat in alle fasen die een (duurzaam) energiesysteem cq. klimaatinstallatie doormaakt -ontwerp, realisatie, exploitatie- er afstemming plaatsvindt tussen alle betrokken partijen. Dit betekent dat er onder andere gezorgd moet worden voor continuïteit van de betrokken partijen. Het is wenselijk als hiervoor zogenaamde 'system integrators', mensen die gespecialiseerd zijn in integrale processen, in de arm genomen worden.

Concreet houdt een systeemgerichte benadering bijvoorbeeld in dat bij de realisatie niet voor *elk component* de prijstechnisch gunstigste aanbieder gekozen wordt, maar dat het prijstechnisch gunstigste *systeem* (verzameling *bij elkaar passende* componenten) gekozen wordt. Dit impliceert een reductie in het aantal partijen dat bij de installatie betrokken is, waardoor onderlinge afstemming eenvoudiger is.

Wanneer de installatie vervolgens aangelegd is, is het voor de continuïteit (en het presteren van de installatie) bevorderlijk als dezelfde partij ook het onderhoud van de installatie verzorgt. Dit kan betekenen dat er niet voor de goedkoopste onderhoudspartij gekozen wordt. Dit prijsverschil wordt vaak gemakkelijk terugverdient door lagere energiekosten en minder onvoorziene onderhoudskosten. Dit is nog afgezien van het feit dat een beter binnenklimaat (het resultaat van een goed werkende klimaatinstallatie) tot hogere productiviteit van werknemers leidt.

In de praktijk wordt een integrale benadering echter nog maar nauwelijks toegepast. Voor veel betrokken partijen (installateur, onderhoudspartij) werkt de huidige componentgerichte benadering voldoende, omdat zij zelf geen hinder ondervinden van het niet optimaal functioneren van de door hen gerealiseerde of onderhouden installatie (er is geen negatieve terugkoppeling). De verschillende onderdelen zijn dan wel voldoende onderhouden, echter, de installatie als geheel draait daarmee nog niet optimaal. De kennis voor het regelen van de installatie als geheel is in veel gevallen ook niet aanwezig bij deze partijen.

Voor eindgebruikers van de klimaatinstallaties (gebouwgebruikers) geldt in veel gevallen dat er pas budget voor structureel onderhoud wordt vrijgemaakt wanneer het aantal (comfort)klachten de spuigaten uitloopt. In de praktijk betekent dit dat er gemiddeld pas na twee jaar opdracht voor onderhoud gegeven wordt.

Dit kan wellicht worden verbeterd door een negatieve terugkoppeling te creëren, zodat er voor de *eindgebruiker* een financiële prikkel ontstaat om betere prestaties te eisen. Dit kan in de vorm van (1) prestatiecontracten in het kader van Duurzaam Beheer en Onderhoud (ISSO-publicaties 100 t/m 107) of (2) door middel van boetes bij het niet behalen van een door het bevoegd gezag opgelegde prestatie-eis. Dit zorgt er automatisch voor dat er een systeemgerichte benadering ontstaat, vanwege de noodzakelijkheid voor het behalen van de prestaties om de negatieve terugkoppeling te elimineren. In een van de interviews is aangegeven dat de eerste methode voornamelijk bij (grote) professionele opdrachtgevers goed zal werken, terwijl voor andere partijen de tweede methode nodig is.

#### 4.2.2 Prioriteitenvolgorde voor acties

In Tabel 4.1, Tabel 4.2 en Tabel 4.3 zijn voor de gesignaleerde knelpunten een aantal maatregelen genoemd die dienen te worden genomen om het rendement van wko-systemen te verhogen. Hieronder zijn de belangrijkste in volgorde van prioriteit weergegeven:

- Treed handhavend op met betrekking tot bestaande regels en keurmerken voor installaties.

- Realiseer een integrale benadering van het totale proces van ontwerp – realisatie – exploitatie. Dit kan door prestatie-eisen te stellen aan het overall-rendement van de installatie in combinatie met een financiële regeling. Op deze manier vind er een financiële terugkoppeling van het presteren van de installatie plaats en wordt de noodzakelijke afstemming en continuïteit bevorderd. Dit kan in de vorm van (1) prestatiecontracten in het kader van Duurzaam Beheer en Onderhoud (ISSO-publicaties 100 t/m 107) of (2) door middel van boetes bij het niet behalen van een door het bevoegd gezag opgelegde prestatie-eis. Dit zorgt er automatisch voor dat er een systeemgerichte benadering ontstaat, vanwege de noodzakelijkheid voor het behalen van de prestaties om de negatieve terugkoppeling te elimineren. In hoofdstuk 7 van het Besluit Bodemenergiesystemen zoals gepubliceerd op 5 april 2011 wordt gesproken over invoering van landelijk uniforme kwaliteitsborging van bodemenergiesystemen. Tevens wordt de mogelijkheid genoemd om in het kader van de Waterwet een minimaal vereist energierendement en voorschriften voor monitoring en registratie op te nemen in de watervergunning.
- Bevorder standaardisatie van wko-systemen en specialisatie van aanbieders, installateurs, bronboorders en onderhoudspartijen voor wko (en andere duurzame energiesystemen). Op deze manier worden beginnersfouten gereduceerd, gaan de kosten omlaag en de kwaliteit omhoog.
- Zorg dat er hulpmiddelen komen voor ontwerpers om dynamische simulatieberekeningen voor energiecentrales met wko uit te voeren. Alleen met inzet van dergelijke berekeningen ontstaat voldoende inzicht om alle effecten en gevoeligheden in het systeem te leren kennen. Om dynamisch rekenen te stimuleren kan inzicht in het dynamisch verloop van de energiebalans gedurende een aantal jaar geëist worden.

### 4.3 Berekeningswijze rendement wko-systemen

In deze paragraaf wordt ingegaan op de gebruikelijke berekeningswijze van het energetisch rendement van warmte- en koudeopslag. Eerst wordt de globale methode uitgelegd die gebruikt wordt bij het ontwerp van wko-systemen, vervolgens wordt ingegaan op het verschil tussen statisch en dynamisch rekenen.

#### 4.3.1 Ontwerp COP berekening

Het energetisch rendement is de nuttig geleverde warmte en/of koude gedeeld door de benodigde elektrische energie voor pompen. Het elektrische opgenomen vermogen van de bronpompen is:

$$P_{el} = \frac{\Phi \cdot \Delta p}{\eta_p}$$

$P_{el}$  : *elektrisch opgenomen vermogen* [W]

$\Delta p$  : *opvoerhoogte bronpomp* [Pa]

$\eta$  : *rendement bronpomp* [-]

Het energetisch rendement van het bronnensysteem kan als Coëfficiënt of Performance (COP) worden geschreven:

$$COP = \frac{P_k}{P_{el}} = \frac{\rho \cdot C \cdot \eta \cdot (T_w - T_k)}{\Delta p}$$

De eigenschappen van water zijn bekend. Voor de benodigde opvoerhoogte en het rendement van de bronpomp kunnen de volgende vuistregels worden aangehouden.

$$\Delta p \approx 400 \text{ à } 450 \text{ kPa}$$

$$\eta_p \approx 0,6$$

Ingevuld levert dit de volgende vuistregel voor de COP voor het ontladen van koude (= leveren van koeling):

$$COP_{ontladen} \approx 6 \cdot (T_w - T_k)$$

De pompenergie voor het laden van de koude is ongeveer gelijk is aan die voor het ontladen. Dus dan wordt de overall rendement:

$$COP_{ontladen+laden} \approx 3 \cdot (T_w - T_k)$$

Bij de berekening van het elektriciteitsverbruik van de bronpompen op jaarbasis moet ermee rekening gehouden worden dat het temperatuurverschil ( $T_w - T_k$ ) gemiddeld op jaarbasis kleiner is dan het verschil tussen de ontwerptemperaturen. Als bijvoorbeeld de koude brontemperatuur 8 °C is (temperatuur waarmee koude wordt geladen) en de ontwerp-warme brontemperatuur (onder ontwerpomstandigheden bij koeling) bedraagt 18 °C, dan is het verschil 10 K en is de COP gelijk aan 30. Gemiddeld over het jaar is het temperatuurverschil echter zo'n 35 à 45% kleiner en zal de gemiddelde COP op zo'n 18 uitkomen. Deze gemiddelde COP wordt ook wel de Seasonal Performance Factor genoemd (SPF).

#### 4.3.2 Dynamisch versus statisch rekenen

Voor het ontwerpen van klimaatinstallaties kunnen twee soorten berekeningen worden gebruikt; statische en dynamische. Statisch rekenen wordt zo genoemd, omdat er uitgegaan wordt van gemiddelde temperaturen en volumestromen. Er wordt bijvoorbeeld van uitgegaan dat de gemiddelde

temperatuur van een koude bron 10 °C is gedurende de zomer. In werkelijkheid varieert de brontemperatuur echter tussen 8 en 12 °C. Berekeningen die hier wel rekening mee houden worden dynamisch genoemd. Onderstaande tekst illustreert het verschil aan inzicht dat beide rekenmethodes geven.

#### 4.3.2.1 Ontwerpcondities en deellastsituaties

Voor ontwerpcondities wordt vaak uitgegaan van één set van temperaturen voor de warme bron en de koude bron. Het is echter van belang te realiseren dat door de optredende energiestromen de temperaturen van de warme en de koude bron variëren gedurende het jaar. Aan het begin van de zomer is de koude bron, als het goed is, voorzien van een nieuwe voorraad koude, die tijdens de winter en tussenseizoen geladen is. Door de onttrekking van koude aan de koudebron tijdens koudelevering door het WKO-systeem zal de temperatuur van de koude bron langzaam oplopen. Gedurende warmtelevering zal de temperatuur van de warme bron dalen. Het gevolg is dat het temperatuurverschil tussen de warme en de koude bron veel kleiner kan worden dan in eerste instantie gedacht. In een rapportage uit 2007 is dit op basis van metingen bij 67 WKO-systemen geconstateerd [SenterNovem, IF Technology, 2007]. In de praktijk wordt gemiddeld maar de helft van het temperatuurverschil gehaald: 3,8 °C in werkelijkheid tijdens koudelevering, tegenover 7,3 °C tijdens het ontwerp. Het temperatuurverschil tijdens de warmtelevering verschilt ook ten opzichte van het ontwerp: 4,3 °C in werkelijkheid, tegenover 7,4 °C tijdens het ontwerp. Als in het ondergrondse deel kleine temperatuurverschillen optreden zullen er hoge volumestromen optreden bij een gelijkblijvend vermogen. Dit heeft tot gevolg dat er veel water verplaatst wordt in het grondwatercircuit, met onder andere veel pompenergie en een lagere COP als gevolg. Een ander effect kan zijn dat de hoeveelheid verplaatst water op jaarbasis groter wordt dan de in de vergunning toegestane hoeveelheid. Overschrijding van de ontwerpwaterhoeveelheden komt in de praktijk veel voor. De belangrijkste reden hiervan is het geringe temperatuurverschil tussen de bronnen. Dit heeft ook alles te maken met het functioneren van de bovengrondse en de gebouwinstallaties (zie paragraaf 4.3.2.3).

Een ander nadeel van het gebruik van de gemiddelde temperatuur van de koude bron is als volgt. Als een koude bron maximaal 10 °C mag leveren, en er met een gemiddelde brontemperatuur van 10 °C wordt gerekend, zou de conclusie zijn dat de koudevraag volledig gedekt kan worden. In werkelijkheid wordt de koude bron warmer en kan de koudevraag niet geleverd worden.

Deellastsituaties zijn ook van belang, in relatie tot temperatuurverschillen. Stel dat er sprake is van een groot temperatuurverschil tussen de warme en de koude bron en er wordt slechts een beperkt vermogen gevraagd door de bovengrondse installatie, dan betekent dit een kleine volumestroom. De vraag is dan of de volumestroom zover gereduceerd kan worden. Goede regeltechnische concepten zijn hierbij van groot belang.

#### 4.3.2.2 Inslingeren

Behalve temperatuurvariaties over het jaar heen is er bij WKO sprake van zogenaamd inslingeren. Bij opstart van het project is er immers nog geen sprake van een warme en een koude bron. De temperatuur van beide bronnen is gelijk aan de natuurlijke grondwater temperatuur (rond de 12°C in Nederland). Als men dan in de zomer begint dan is er voor het koelproces geen 7°C beschikbaar, maar 12 °C. Pas nadat er koude geladen is in de koude bron kan er een lagere temperatuur optreden.

#### 4.3.2.3 Functioneren van de installaties

Het functioneren van de totale keten gebouwinstallatie - bovengrondse installatie – ondergrondse installatie is van belang voor het functioneren van de verschillende deelinstallaties. Als er in de gebouwinstallatie componenten falen waardoor bijvoorbeeld de retourtemperatuur uit het gkw-circuit laag blijft, en het bronnensysteem blijft wel in de bedrijfstoestand ‘koude leveren’, dan leidt dit tot een te lage infiltratietemperatuur voor de warme bron. Het water van de koude bron wordt dan niet opgewarmd door de bovengrondse installatie. Omgekeerd kan de koude bron thermisch vervuild raken door een disfunctionerende warmtelevering aan het gebouw. Een regelstrategie zal hierop dienen te anticiperen.

#### 4.3.2.4 Dynamische simulaties noodzakelijk

Dit alles laat zien dat rekenen met gemiddelde temperaturen het inzicht in het werkelijke gedrag van de energiecentrale met WKO vertroebelt en tot aanzienlijke fouten kan leiden. Dynamische

simulatieberekeningen zijn daarom noodzakelijk om zowel energiestromen als de bijbehorende temperatuurniveaus te kennen en een ontwerp voor een energiecentrale te kunnen beoordelen zowel functioneel als in het licht van vergunningvoorwaarden voor de opslag. Ook om daadwerkelijk tot een integraal ontwerp te komen zijn dynamische simulatieberekeningen noodzakelijk. Alleen met inzet van dergelijke berekeningen ontstaat voldoende inzicht om alle effecten en gevoeligheden in het systeem te leren kennen.

#### 4.4 mogelijkheden voor rendementsverhoging en marktvergroting

Met behulp van de in paragraaf 4.2 genoemde interviews en het literatuuronderzoek is tevens duidelijk geworden welke opvattingen er in de markt bestaan voor verhoging van de rendementen van wko-systemen door innovaties en/of beleidsmatige wijzigingen. Omdat dit vaak raakvlakken heeft met marktvergroting zijn deze twee groepen samengenomen. In Tabel 4.4 zijn de resultaten weergegeven. Voor elke innovatie is aangegeven

- Wat de uitgangspunten zijn;
- Wat eventuele problemen en gevolgen bij de introductie zijn;

Tabel 4.4 mogelijkheden voor innovaties en marktvergroting en bijbehorende uitgangspunten en knelpunten en gevolgen

Innovatie/ marktvergroting	Uitgangspunten	Knelpunten / gevolgen
Standaardisatie van wko-systemen en specialisatie van de marktpartijen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabrieksmatige productie leidt tot lagere kosten en hogere kwaliteit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wko-systemen met een betere kwaliteit en hoger rendement tegen lagere kosten.</li> </ul>
Toepassen van middel hoge (25-50 °C) en hoge (50-100 °C) temperatuur opslag. Hierdoor kan de warmtepomp overbodig worden. Dit kan bijv. in combinatie met industriële restwarmte, wkk, geothermie of zonne-asfaltcollectoren (energiedaken).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benodigde warmte is in voldoende mate en goedkoop beschikbaar.</li> <li>• (middel) hoge temperatuur opslag is efficiënter dan lage temperatuur opslag in combinatie met een warmtepomp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wetgeving staat nu maximaal 25-30 °C injectietemperatuur toe.</li> <li>• Technische problemen met apparatuur vanwege de hoge temperatuur.</li> <li>• Legionella wetgeving eist voor leidingnet warm tapwater min 65 °C, waardoor er een extra hoge brontemperatuur nodig is</li> <li>• Grotere thermische footprint</li> <li>• Lagere belasting van het elektriciteitsnet (in vergelijking tot systeem met warmtepomp)</li> <li>• Verandering van chemische evenwichten, verschuiving in de samenstelling van de micro-biologische populatie en toename van chemische en micro-biologische processen</li> </ul>
Grootschalige toepassing van bodemwarmtewisselaars. Bijvoorbeeld in de utiliteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voordeel t.o.v. wko is dat er een kleiner bodemvolume nodig is en de thermische verliezen kleiner zijn.</li> <li>• Bij specifieke bodemsituaties meer geschikt dan open wko.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische, organisatorische en bestuurlijke uitdagingen.</li> <li>• Thermische effecten van grootschalige toepassing moeten in kaart worden gebracht.</li> <li>• Specifieke eisen aan de wijze van installeren onder gebouwen moeten worden uitgewerkt en gecommuniceerd</li> <li>• Benodigd oppervlak groter dan bij open wko.</li> <li>• Meer (ongecontroleerde) perforatie van de bodem.</li> <li>• Architecten, bouwers en installatiebranche hebben onvoldoende inzicht in de specifieke eisen van duurzame (bodem) energiesystemen.</li> </ul>
Combineren van open en gesloten systemen in interferentiegebieden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesloten systemen gebruiken minder bodemvolume als open systemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Focus bevoegd gezag ligt op open systemen bij het opzetten van masterplannen</li> <li>• Er zijn per oppervlakte-eenheid meer bodemenergiesystemen mogelijk</li> </ul>



Innovatie/ marktvergroting	Uitgangspunten	Knelpunten / gevolgen
Verlagen van de elektriciteitsvraag door buffering van warmte en koude in de bodem (warmtepomp mag tijdelijk uit bij gebouwen met veel massa).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebouwen met warmtepompen hebben voldoende massa om de warmtebehoefte tijdelijk op te vangen.</li> <li>Warmtepompen kunnen individueel aangestuurd worden door netbeheerder.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektriciteitsvraag kan uitgevlakt worden.</li> </ul>
Koppelen van gebouwen met verschillende functies op een wko-systeem, zodat energie-uitwisseling mogelijk wordt. (bijvoorbeeld datacenters -veel warmte over- in combinatie met woningen -veel warmte nodig-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiestromen zijn qua temperatuurniveaus en vraagpatronen goed uitwisselbaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Er zijn goede onderlinge contracten nodig over temperaturen en debieten.</li> <li>Toenemende complexiteit van de installatie</li> </ul>
Combineren van wko met beschikbare energiebronnen uit de omgeving om aan de eisen van de energiebalans te voldoen. Bijvoorbeeld asphalt- en zonnecollectoren, oppervlaktewater, drinkwaterinfrastructuur (kan warmte aan onttrokken worden).	<ul style="list-style-type: none"> <li>De energie uit deze bronnen is beschikbaar voor het halen van de energiebalans</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overall rendement kan toenemen door hogere temperatuurniveaus.</li> <li>Energiebalans is vaak eenvoudiger recht te trekken door aanpassingen in de klimaatinstallaties.</li> </ul>
Methaanwinning uit grondwater	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opgepompt grondwater bevat voldoende methaan. (in ondiepere watervoerende lagen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methaangehalte in het grondwater neemt af, zodat methaanwinning slechts tijdelijk toepasbaar is</li> </ul>
Bestrijden van te hoog of te laag grondwaterpeil met behulp van wko	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bronnen kunnen slim gepositioneerd worden, zodat op de juiste plaats grondwaterverhoging (bij infiltratie) of -verlaging (bij onttrekking) plaatsvindt.</li> <li>Bij een bestaand gemaal kan warmte uit het water onttrokken worden. Waarbij het onttrokken water geloosd wordt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extra mogelijkheden voor bestrijding wateroverlast.</li> <li>Er is zowel onttrekking als infiltratie bij wko-systemen. En kan bij wko dus nooit voor lange perioden.</li> <li>Als de bronnen ver uit elkaar gepositioneerd worden geeft dit extra leiding- en energie kosten en hogere verliezen.</li> </ul>
Bodemsanering met behulp van wko	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biologisch afbraakproces kan versnelt worden</li> <li>Onttrokken grondwater kan na sanering schoner geïnfiltreerd worden</li> <li>Vervuiling kan op de plek gehouden worden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebruik van de wko voor warmte en koude komt vaak slecht overeen met het gebruik voor bodemsanering.</li> </ul>
Combineer wko met grondwatergebruik, door (een deel van) het onttrokken grondwater voor een proces in de omgeving te gebruiken waar water bij nodig is. (bijv. gietwater, koelwater, drinkwatervoorziening met behulp van omgekeerde osmose)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grondwater is geschikt te maken voor deze toepassingen.</li> <li>De verschillende processen matchen goed met elkaar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wko in glastuinbouwgebieden is nu alleen toegestaan in tweede en derde watervoerende laag. Dit is een stuk duurder dan in eerste watervoerende laag (is gereserveerd voor gietwater)</li> <li>Debiet van wko-systemen 10-100 keer groter dan benodigd voor gietwater.</li> </ul>
Combineer de wko bron met de brandblusvoorziening	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bron kan met aanvullende maatregelen ook als brandweerput gebruikt worden.</li> <li>Het is certificeerbaar.</li> <li>Combinatievoordelen zijn groot.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extra brandweerputten worden voorkomen.</li> <li>Grotere bronnen.</li> <li>Regelmatiger controle van de brandweerputten.</li> <li>Bij een doublet moet alles dubbel uitgevoerd worden.</li> </ul>
Verruimen criteria energiebalans	<ul style="list-style-type: none"> <li>Onbalans heeft geen of verwaarloosbare negatieve gevolgen op de bodem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verminderde druk op het halen van de energiebalans.</li> <li>Meer mogelijkheden om wko toe te passen.</li> </ul>
Warmte uit wko en lucht halen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technisch mogelijk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>meer mogelijkheden om energiebalans goed te houden</li> <li>hogere energie-efficiëntie</li> </ul>

Het is opvallend dat al voor de bovengenoemde innovaties en marktvergrotingen er al initiatiefnemers zijn. Er is geen sprake van losstaande ideeën die nog door niemand zijn opgepakt. Wat de bovenstaande mogelijkheden tot innovaties en/of marktvergroting maakt is dat ze nog niet op grote

schaal worden toegepast of algemeen gangbaar zijn. Verder toont deze lijst duidelijk de brede toepasbaarheid van warmte- en koudeopslag. Overigens geldt voor veel combinaties van wko-systemen met systemen uit de omgeving dat het energetisch aspect niet het belangrijkste is. Bijvoorbeeld; de combinatie van wko met asfaltcollectoren heeft vaak als primaire functie het ijsvrij houden van parkeerplaatsen of wandelpaden, daarna pas energieopwekking.

## 4.5 vervangingsaspecten van bodemenergiesystemen

In deze paragraaf krijgen de vervangingsaspecten van wko-systemen aandacht. Momenteel is er geen beleid op vervanging van niet meer in gebruik zijnde bodemenergiesystemen. Uit de praktijk komen de volgende zaken naar voren:

- Bij goed onderhoud heeft de bron een levensduur van 20-30 jaar. Daarna is regeneratie mogelijk door schoonspoelen van het zandfilter.
- Bij stilstand is periodiek draaien van de pompen nodig, anders gaan ze vastzitten.
- De warmtepomp en regeling hebben een levensduur van 15-20 jaar. Daarna worden ze vervangen. Voor de bronpompen geldt een levensduur van gemiddeld 7 jaar.
- Onderhoud en instandhouding kost per jaar 4-6% van de investeringskosten. Hierbij is alles inbegrepen (ook rapportages naar de provincie). Dit is vergelijkbaar met de kosten bij ketels en koelmachines (6-7% van de investeringskosten).
- Dichtgooien van bronnen is vaak niet nodig. Er is bijna altijd wel weer een bestemming voor te vinden. Ook ombouwen van bronnen is goed mogelijk (bijvoorbeeld voor brandweerput of drinkwaterwinning met behulp van omgekeerde osmose).
- Vervanging van de bronnen gebeurt alleen als er iets echt goed mis is. Er wordt dan een nieuwe bron geboord. De kosten hiervan zijn ongeveer 1% v/d de investeringskosten van het wko.
  - De bronbuis kan niet worden verwijderd. Als er geen andere bestemming voor te vinden is, wordt ze afgevuld volgens de gegevens over de grondlagen, of als die niet bekend zijn met betoniet.
  - Er is geen negatief effect op de bodem bij het in de grond blijven zitten van de bronbuis.
  - Het materiaal van de bronnen is tegenwoordig meestal PVC. In enkele speciale gevallen wordt WDP of RVS gebruikt.
- Wijzigingen in het gebruik van wko-systemen moeten worden doorgegeven aan de basisregistratie ondergrond (BSA) <http://www.dinoloket.nl/nl/download/broFAQ.html>.

In de ontwerp AMvB Bodemenergiesystemen zoals gepubliceerd op 5 april 2011 is de volgende paragraaf opgenomen met betrekking tot het buitengebruik stellen van bodemenergiesystemen:

*“Om beschadiging van waterscheidende bodemlagen te voorkomen mag het ondergrondse deel van een bodemenergiesysteem na beëindiging van het gebruik niet worden verwijderd. De buizen moeten zodanig met een waterondoorlatend materiaal worden gevuld dat de werking van de afsluitende lagen zoveel mogelijk wordt hersteld.*

*Het is niet nodig eisen te stellen met betrekking tot warmte- of koudebellen die na de buitengebruikstelling in de bodem achterblijven. Doordat geen warmte of koude meer wordt toegevoegd doven deze bellen geleidelijk uit. In combinatie met de regels die betrekking hebben op de energiebalans, wordt de hierdoor optredende verwarming of afkoeling van de bodem niet onaanvaardbaar geacht.”*

## Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Aquifer	Watervoerende zandlaag, die gebruikt kan worden voor energieopslag.
Koelmachine	Brengt met behulp van mechanische energie de omgevingswarmte (bijvoorbeeld buitenlucht) naar een lager temperatuurniveau (bijvoorbeeld 30°C naar 5°C).
COP	coëfficiënt of performance. Factor die de energieprestatie van warmtepompen aangeeft door de warmte-output te delen door de aandrijfenergie (kracht of warmte).
Energieopslag	seizoensmatige opslag van warmte en koude in een watervoerende zandlaag in de bodem. Hiermee kan op een efficiënte, duurzame manier worden voorzien in de energievraag.
Luchtdichtheid	de eigenschap van een constructie om lucht door te laten als er een luchtdrukverschil bestaat (dit gebeurt meestal onbedoeld via kieren en naden tussen constructiedelen)
Volumestroom	Een hoeveelheid in volume-eenheden per tijdseenheid
TSA	installatie waarmee warmte van het ene medium naar een ander medium wordt overgedragen.
Warmtepomp	Brengt met behulp van mechanische energie de omgevingswarmte (bijvoorbeeld in grondwater) naar een bruikbaar temperatuurniveau (bijvoorbeeld 12°C naar maximaal 55°C).
Warmtewisselaar	zie TSA.
Zonneboiler	Warmteopweksysteem door zonnewarmte, bestaand uit een zonnecollector en voorraadvat (voor tapwater en/of woningverwarming).
Zonnecollector	systeem voor het omzetten van zonne-energie in warmte, bestaande uit donkergekleurde buizen of slangenstelsel, vaak afgedekt met een glazen plaat met daarin vloeistof die door de zoninstraling wordt opgewarmd.

## Literatuurlijst

Verwijzing	Omschrijving inhoud
Agentschap NL, IF Technology, DWA energie- en installatieadvies, bodemenergie woningbouw, evaluatiemonitoring bodemenergie in de woningbouw	Analyse van de techniek en de markt, waarbij gekeken is naar de gebruikerstevredenheid, leveringszekerheid en kwaliteit van energieopslagsystemen.
BetonSon, DWA energie- en installatieadvies, meting piekvermogens van concentrische energiepalen, december 2001	Empirisch onderzoek naar de piekvermogens van concentrische energiepalen.
Convenant bodemontwikkelingsbeleid en aanpak speedlocaties, juli 2009	Overeenkomst over de uitgangspunten en de nog te ondernemen stappen tussen partijen met betrekking tot het nieuwe bodembeleid.
Caljé, R.J., Future use of Aquifer Thermal Energy Storage below the historic center of Amsterdam, January 2010	Studie naar het zo efficiënt en duurzaam mogelijk gebruik van de ondergrond voor energieopslag
De Bruggen Grone Hart Zuid, DWA Installatie- en energieadvies, Novem, Monitoring en evaluatie energiecentrale van De bruggen te Zwammerdam, oktober 2002, 6288rr302	Monitoring en evaluatie van een energiecentrale met WKK en hoog-temperatuur WKO.
Dutch soil platform, De bodem als partner in duurzame ontwikkeling: Een onderzoeksagenda voor de toekomst, december 2008	Onderzoeksagenda waarmee handen en voeten gegeven wordt aan de strategische kennis die nodig is om maatschappelijke vraagstukken rond duurzaam bodemgebruik te helpen oplossen.
Ecofys, Haalbaarheidsonderzoek centrale blusvoorziening en warmte/koude-opslag te Ede, april 2006	Haalbaarheidsonderzoek naar de mogelijkheid om een centrale blusvoorziening met een wko te combineren.
IBA, Warmte- en KoudeOpslag, 'Wie het eerst komt, het eerst pompt?', maart 2007	Bundeling van een aantal onderzoeken naar oorzaken en oplossingen van interferentie bij wko.
Installect, verhogen prime energy rate bij energieopslag, maart 2003	Studie om de kosten van systemen met energieopslag te verlagen en de betrouwbaarheid van deze systemen te vergroten.
IPO en VEWIN, Grondmij, generieke regeling voor boringen ter voorkoming van nadelige effecten van het niet goed afdichten bij het doorboren van slecht doorlatende lagen, oktober 1999	Onderzoek naar het effect van onzorgvuldig verrichte boringen door slecht doorlatende lagen op het grondwater en mogelijke oplossingen om de negatieve effecten te beperken of op te heffen.
ISSO Publicatie 73 Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars	Beschrijving van ontwerp-technische kwaliteitseisen en uitvoeringsrichtlijnen voor systemen met verticale bodemwarmtewisselaars
ISSO Publicatie 80 Handboek integraal ontwerpen van collectieve installaties met warmtepompen in de woningbouw	Beschrijving van het ontwerp(proces) van warmtepompinstallaties voor collectieve installaties in de woningbouw. Hierbij komt WKO als warmtebron aan bod.
ISSO Publicatie 81 Handboek integraal ontwerpen van warmtepompinstallaties voor utiliteitsgebouwen	Beschrijving van het ontwerp(proces) van warmtepompinstallaties voor de utiliteitsbouw. Hierbij komt WKO als warmtebron aan bod.
Milieudienst Amsterdam, DWR, IF Technology, energie-opslag in de bodem en afvoer van brak grondwater – milieurendementsafweging van lozingsopties, januari 2002	Milieurendementsafweging voor het afvoeren of lozen van vrijkomend grondwater bij het ontwikkelen en schoonmaken van bronnen.
Ministerie v. economische zaken, Ecofys, duurzame warmte en koude 2008 – 2010: potentiëlen, barrières en beleid, juli 2007	Formulering van een aanpak om een doorbraak te forceren op het gebied van het gebruik van duurzame warmte en koude, zodat de doelstellingen voor 2020 gehaald kunnen worden.
Ministerie van verkeer en waterstaat, Bodemenergie; kans of bedreiging voor provincie? Onderzoek naar de mogelijkheden om de grondwaterbelangen te waarborgen bij de vergunningverlening van Koude Warmte Opslag systemen, februari 2010	Onderzoek naar mogelijke negatieve effecten door de toename van Koude Warmte Opslag (KWO) systemen op het grondwaterbeheer en hoe eventuele effecten beperkt kunnen worden. Waardoor de noodzakelijke randvoorwaarden voor grondwaterbeheer in beeld gebracht worden.
Ministerie van VROM, Brochure Rijksvisie op het duurzaam gebruik van de ondergrond, juli 2010	Rijksvisie op het duurzaam gebruik van de ondergrond, zodat goede afwegingen gemaakt kunnen worden rondom benutten en beschermen van de ondergrond en bepaald kan worden "welk ondergronds gebruik het beste waar past".

Ministerie v. economische zaken, Rebelgroup, DHV, Analyse impact Warmtewet op projecten en inventarisatie belanghebbenden, augustus 2010	Onderzoek naar het effect van de Warmtewet op investeringsbeslissingen voor nieuwe warmteprojecten en op belanghebbenden.
Novem, IF Technology, Wet- en regelgeving bij duurzame energiesystemen in de bodem (opslag, zon, warmtepomp en asfalt) en analyse knelpunten en vergunningverlening kleine warmtepomp projecten, juni 2000	Onderzoek naar het landelijk en provinciaal beleid en regelgeving voor warmtepompsystemen in combinatie met bodemenergie.
Novem, NovioConsult, Evaluatie BAB '95 en vooruitblik NBI 2000, beleidsinstrumenten voor bodembescherming en energieopslag, december 2000	Evaluatie van de "beleidsaanbevelingen voor bodembescherming bij koude-opslag 1995" (BAB '95) en aanbevelingen voor aanpassingen van het beleid
Novem, DWA energie- en installatieadvies, Energie-opslag in aquifers, 2001	Informatie over alle mogelijke uitvoeringsvormen en toepassingsmogelijkheden van thermische energieopslag (met name koude-opslag).
Novem, NVOE, NVOE-richtlijnen ondergrondse energieopslag, juni 2001	Richtlijnen voor het ontwerpen en realiseren van ondergrondse energieopslagsystemen.
Novem, GroenHolland BV, Kwaliteitsrichtlijn verticale bodemwarmtewisselaars, mei 2003	Kwaliteitsrichtlijn voor het ontwerp van verticale bodemwarmtewisselaars in combinatie met warmtepompsystemen.
Novem, IF Technology, IWACO, Definitiestudie milieueffecten en -afweging energieopslag en warmtepompsystemen, november 2003	Definitie van uitgangspunten, aanpak, methoden en instrumenten om inzicht te krijgen in zowel de negatieve als positieve milieueffecten van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars en de beschikbare correctieve en preventieve maatregelen tegen negatieve effecten
Novem, IF Technology, Royal Haskoning Nederland, Milieueffecten en -afweging Fase 1, 2 en 3, bepaling van de milieueffecten van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars, november 2003	Rapportage van onderzoek in het kader van het project Bodem als Energiebron en -Buffer (BEB) - formulering van beleidsaanbevelingen voor bodembescherming bij de toepassing van warmtepomp- en energieopslagsystemen. Deelproject milieueffecten en -afweging
Novem, IF Technology, Royal Haskoning Nederland, Afwegingsmodel preventieve maatregelen, project bodem als energiebron en -buffer, oktober 2003	Deelrapportage BEB - Afwegingsmodel om te komen tot preventieve maatregelen ter voorkoming of beperking van negatieve milieueffecten.
Novem, Economisch aspecten en afweging, bij toepassing van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars, november 2003	Economische aspecten bij de introductie van preventieve maatregelen ter voorkoming of beperking van negatieve milieueffecten.
Novem, Oicon, Juridisch kader bodemenergie (JuKa), project bodem als energiebron en buffer, november 2003	Rapportage deelproject BEB - Juridisch kader en toezicht en handhaving.
Novem, Ministerie van economische zaken en VROM, op weg naar ruime toepassing van bodemenergie, november 2003	Eindrapportage project Bodem als Energiebron en -Buffer (BEB) – formulering van beleidsaanbevelingen voor bodembescherming bij de toepassing van warmtepomp- en energieopslagsystemen.
Novem, NVOE, IF Technology, Temperatuureffecten op grondwaterkwaliteit, samenvatting bestaande kennis, augustus 2004	Samenvatting van onderzoek dat in het verleden is gedaan naar het effect van temperatuurveranderingen op de kwaliteit van het grondwater.
Novem, DWA energie- en installatietechniek, IF Technology, Harmonisatie vergunning grondwaterwet, augustus 2004	Ontwikkeling van algemeen toepasbare eisen en vergunningsvoorschriften voor de grondwaterwet, gebaseerd op technische argumenten
NVOE, Mr. H.H.A. Teeuwen, Naar een adequaat wettelijk kader voor de toepassing van systemen voor koude- en warmteopslag in de bodem, februari 2008	Advies over eventuele aanpassingen aan de Waterwet om de in de bestuurspraktijk bestaande discussiepunten over de toepassing van wko systemen adequaat op te lossen.
NVOE, IF Technology, algemene regels koude-/warmteopslag, visiedocument van de NVOE, juli 2008	Wensen van de NVOE voor inpassing van algemene regels met betrekking tot de vergunningverlening voor open systemen in het Waterbesluit.
NVOE, Ministerie van VROM, Agentschap NL, Arcadis, Deltares, Handleiding Boeg, bodemenergie en grondwaterverontreiniging, het ijs gebroken, april 2010	Dit document wil helderheidscheppen in de te bewandelen wegen om WKO te realiseren in en nabij verontreinigd grondwater vanuit zowel juridisch, technisch en organisatorisch oogpunt. Zodat toepassingsmogelijkheden voor bodemenergie op verontreinigde locaties vergroot kan worden.
Rijksgedebouwendienst, DWA energie- en installatieadvies, IF Technology, Haalbaarheidsonderzoek duurzame energieopwekking op basis van warmte- en koudeopslag in de bodem, juli 2003	Haalbaarheidsonderzoek voor de toepassing van warmte- en koude opslag bij een bestaand gebouw.

SenterNovem, IF Technology, koude/warmteopslag in de praktijk, meetgegevens van 67 projecten, mei 2007	Evaluatie van 67 koude-/warmteopslagprojecten in het kader van de actualisatie van het Protocol Monitoring Duurzame Energie door SenterNovem. Het rapport bevat besparingskentallen en praktijkinformatie.
SenterNovem, SIKB, Ministerie van Economische zaken, VROM, V&W en LNV, Energie uit de bodem – naar een samenhangende regeling voor bodemenergiesystemen fase 1: Hoofdlijnen, december 2007	Uitwerking gesignaleerde knelpunten in beleid en regelgeving en mogelijke oplossingsrichtingen voor bodemenergiesystemen.
SIKB, IF Technology, Juridisch kader energieopslag, Knelpuntenanalyse en discussienotitie op basis van praktijkcases, september 2006	Rapport met een aantal voorbeelden die illustratief zijn voor de problemen die er zijn of kunnen ontstaan met betrekking tot het juridisch kader bij ondergrondse energieopslag.
SIKB, Mechanisch boren, VKB-PROTOCOL 2006, september 2007	Actualisering van de certificatie van het veldwerk bij mechanisch bodemonderzoek.
SIKB, IF Technology, variantenstudie vergunningsprocedures, oktober 2007	Notitie waarin de verschillende bodemenergiesystemen worden beschreven. Met als doel om op basis van een technische onderbouwing juridische procedures te bepalen.
SIKB, Protocol 2101 "Mechanisch boren", juni 2010	Een protocol met als doel het bevorderen van de milieutechnische kwaliteit van mechanische boringen.
SKB, bodem onder energie, toestand en trends in bodem energie augustus 2007	Rapport over de betekenis van warmte/koude-opslag in het grondwater en de bijdrage hiervan aan energiebesparing en reductie van de CO2-uitstoot.
SKB, TNO, baten van de ondergrond, mei 2009	In dit rapport wordt de vraag beantwoord op welke manier de baten van bodemgebruik voor (grond)watergebruik en -beheer, energie, ondergronds ruimtegebruik en ecosysteemdiensten geformuleerd en onderbouwd kunnen worden.
SKB, Bioclear, IF Technology, Combinatie van bodemenergie en saneren in Apeldoorn, inventarisatie en onderzoek naar risico's en oplossingen voor combinatiesystemen van bodemenergie en bodemsanering – kanaalzone Apeldoorn, SKB project PT 8441, december 2009	Inventarisatie van technische knelpunten en risico's voor de combinatie van bodemenergie en sanering van grondwater. Tevens is dit uitgewerkt voor de Kanaalzone in Apeldoorn.
TNO-MEP, KODI, ECN, Handboek energiepalen, november 2003	Handboek om potentiële toepassers van energiepalen van de benodigde kennis en informatie te voorzien om de juiste afwegingen te kunnen maken
VROM, Pels Rijcken & Droogleever Fortuijn, Juridische instrumenten om te komen tot een meer optimale benutting en verdeling van bodemenergie. Koude-warmte-opslag (KWO), december 2008	Advies over juridische aspecten van de plaatsing en het in gebruik houden van koude- en warmteopslag in Nederland.
VROM, de kansen van de ondergrond, mogelijkheden, voordelen en instrumenten, juni 2006	Brochure over de voordelen en mogelijkheden voor het afstemmen van de verschillende functies van de ondergrond.
VROM, Bouwend Nederland, NEPROM, NVB, lente-akkoord energiebesparing in de nieuwbouw, april 2008	Convenant over energiebesparing in de nieuwbouw, waarbij ook wko genoemd wordt.
VROM, groen licht voor bodemenergie, maart 2009	Advies om de kansen voor bodemenergie (open en gesloten warmte- en koude opslag) zoveel mogelijk te verwezenlijken en benutten. Zeven kansen zijn uitgewerkt in concrete maatregelen.
Provincie Noord-Holland, Webapplicatie WKO, <a href="http://gis.noord-holland.nl/wko/">http://gis.noord-holland.nl/wko/</a> , bezocht op 11-02-2011	Webapplicatie om op quick-scan niveau een indruk te krijgen van de kansen voor de toepassing van open wko systemen op een bepaalde locatie.
<a href="http://www.senternovem.nl/Bodemplus/bodembeheer/ondergrond/wko">www.senternovem.nl/Bodemplus/bodembeheer/ondergrond/wko</a> , bezocht op 28-01-2011	Website van SenterNovem met informatie over wko
<a href="http://www.meermetbodemenergie.nl">www.meermetbodemenergie.nl</a> , bezocht op 28-01-2011	Twee-jarig onderzoeksprogramma voor toepassing van bodemenergie onder de vlag van SKB

<a href="http://www.soilpedia.nl">www.soilpedia.nl</a>	SKB - Soilpedia is de wiki waar kennis over de ondergrond wordt verbonden aan de ontwikkeling van de ondergrond in diverse thema's
<a href="http://www.skbodernl.nl">www.skbodernl.nl</a>	Stichting Kennisontwikkeling en Kennistransfer Bodem (SKB)
<a href="http://www.sikb.nl">www.sikb.nl</a>	SIKB is een netwerkorganisatie die alle spelers (bedrijfsleven en overheid) bij elkaar brengt om samen de kwaliteit van de uitvoering van archeologie en het (water-) bodembeheer te verbeteren.
<a href="http://www.nvoe.nl">www.nvoe.nl</a>	De NVOE verenigt marktpartijen die energieopslagsystemen ontwerpen, realiseren en exploiteren. De NVOE behartigt het belang van 'energiebesparing met bodemenergie' en treedt op als gesprekspartner voor landelijke en provinciale overheden.
<a href="http://www.bodemrichtlijn.nl">www.bodemrichtlijn.nl</a>	Digitaal kennisdocument met relevante informatie op het gebied van bodem- en waterbodembeheer.
<a href="http://www.allesoverwko.nl">www.allesoverwko.nl</a>	Website van Agentschap NL met informatie over: de verschillende energieopslagsystemen, de technische specificaties, de juridische aspecten en de beleidsontwikkeling rondom WKO.

## I Uitwerking van de interviews

Bedrijf:	DWA – afdeling beheer, onderhoud en monitoring
Datum:	24-01-2011, 28-01-2011, 14-02-2011
Plaats:	Bodegraven
Interviewer:	Kundert de Wit
Geïnterviewde:	Reinout Krijger, Mees Qualm, Siem Opschoor
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag
Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview	
<p><b>Ontwerp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij het ontwerp wordt vaak 'voor de veiligheid' overgedimensioneerd. Het gevolg is dat pompen te groot geselecteerd worden en warmtewisselaars te klein. Overdimensionering zorgt ervoor dat er veel op deellast wordt gedraaid. In deellast is het rendement vaak lager.</li> <li>• Overdimensionering zorgt ervoor dat de kleinst mogelijke volumestroom te groot is voor de kleinste vermogens, waardoor het temperatuurverschil tussen de bronnen omlaag gaat, omdat er teveel water verpompt wordt. Oplossingen hiervoor, zoals buffervaten worden nogal eens wegbezuinigd. Een te grote warmtepomp zorgt voor veel schakelingen in de installatie.</li> <li>• Een kleine temperatuursprong over de tsa (grote tsa) zorgt voor meer bedrijfsuren van de wko. Een te kleine tsa zorgt ervoor dat de wp meer in koelmachinebedrijf draait, waardoor de bedrijfskosten hoger zijn.</li> <li>• Het is belangrijk de juiste keuzes in het ontwerp te maken. Welk deel van de installatie wel/niet op de wko gezet wordt. Tevens moet het juiste totaalconcept van de installatie gekozen worden (juiste componenten en hydraulische schakelingen).</li> <li>• Het ontwerp van de regeling voor de flow van de bronnen moet goed gedaan worden.</li> <li>• De bandbreedte van het ontwerp moet worden vergroot. Dit kan door in een ISSO-publicatie of NEN-norm vast te leggen wat de veiligheidsmarges mogen zijn. Tevens is het nodig dat temperatuur-overschrijdingsuren worden geaccepteerd.</li> <li>• Het is belangrijk om te realiseren dat het klimaat een van de leidende factoren is in het functioneren van wko.</li> <li>• De invloed van de bronnen op de bodem wordt niet altijd goed begrepen (vooral bij gesloten systemen).</li> <li>• Er moet voldoende ruimte worden gehouden voor afwijkingen naar twee kanten (bijv. zowel koude als warmte laden). Als dit wegbezuinigd wordt kun je niet meer corrigeren. Echter, vaak wegen investeringen zwaarder dan exploitatiekosten.</li> <li>• Tegenwoordig ontwerpt de adviseur veelal op hoofdlijnen en niet meer op detail. Er is echter een deskundige partij nodig die de regelomschrijving maakt.</li> </ul> <p><b>Realisatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij de realisatie wordt de afstelling van de injectiekleppen nogal eens niet goed afgesteld.</li> <li>• Energiemeters worden vergeten of wegbezuinigd. Het is dan niet duidelijk wat erin of eruit gaat, waardoor monitoring (en rapportage aan de provincie) veel kostbaarder of onuitvoerbaar wordt. De energieregistratie moet dan ook goed toegankelijk zijn.</li> <li>• De juiste meters moeten gebruikt worden (storingsongevoelig voor vuil en zout water).</li> <li>• Testen en opleveren van de regeltechniek wordt niet goed gedaan. Het duurt lang om dit weer goed te krijgen (alle partijen moeten weer op de bouw komen). Als de opstart van de wko slecht is, dan is dit lastig recht te trekken (en heel kostbaar). Als testen niet goed gebeurt, dan zijn er allerlei problemen mogelijk, die vaak pas na een tijd naar boven komen (hardware, vergunningstechnisch, energierekening). Een oplossing is om alle partijen samen te laten opleveren en te controleren. Tevens moeten alle partijen het met elkaar eens zijn.</li> <li>• Bij de oplevering moeten de revisiebescheiden worden beschikbaar hebben bij de bron, anders kun je er later nog achteraan omdat dit nodig is voor de vergunning.</li> <li>• De NVOE heeft richtlijnen opgesteld voor het opleveren van wko-systemen.</li> <li>• Bronnen worden verkeerd geplaatst, zodat je er met onderhoud niet bij kunt.</li> <li>• Kostenbesparing bij installateurs leidt tot afwijkingen in het ontwerp. Dit zorgt voor een slechtere installatie en bijbehorende problemen.</li> </ul>	



- Er is een kennisgat bij een deel van de installateurs, waardoor ze zich niet realiseren wat er gedaan moet worden om een goede installatie te krijgen.
- Het is nodig om de installateur prestatie-gericht te maken.
- Het boren van bronnen gebeurt door steeds meer partijen. Een heel aantal nieuwe partijen weet amper wat ze doen, waardoor er slechte bronnen gemaakt worden.

### Exploitatie

- Er is bij de exploitatie veelal geen of slechte monitoring van de energiestromen, dit zorgt voor de zelfde problemen als bij slecht testen en opleveren.
- Stel monitoring en het juist afstellen van de regeling verplicht (afstemmen op zuinigheid en juiste werking). Dit probleem kan ook worden opgevangen door het stellen rendementseisen aan de bronnen (of beter; aan het hele systeem). In ieder geval zijn er rendementseisen nodig voor de exploitatie, omdat de huidige situatie tot ongecontroleerde situaties leidt (er is geen wetgeving).
- Handhaving van keurmerken voor installaties moet gaan gebeuren.
- Als er geen spuivoorziening is, dan is er een tankwagen nodig, het spuiwater wordt gezien als chemisch afval, wat zorgt voor hoge kosten. In het ontwerp moet dus voldoende naar beheer en onderhoud gekeken worden.
- Het is belangrijk wie de beheerder is (huurder/ eigenaar) en wat zijn intenties zijn (geld/duurzaamheid). Met een duurzame installatie kun je ook conventioneel draaien. Als er geld verdient wordt of de verwarming en koeling maar geleverd wordt is alle okee. Er wordt dan niet naar het rendement van de installatie gekeken.
- Het is nodig dat exploitatiekosten inzichtelijk worden gemaakt voor de exploitant. Die heeft namelijk geen idee van de kosten. Deze moeten dan vergeleken worden met een benchmark.
- Het hele systeem bovengronds moet goed zijn, anders werkt de wko ook niet.
- Het is aan te bevelen om eigen technici te hebben die inzicht hebben in de installatie en basiszaken goed op kunnen lossen. Dat geeft betere bedrijfszekerheid en lagere kosten.
- Het onderhoud zelf moet niet bij de beheerder worden neergelegd. Hij moet wel tools hebben bij te kunnen sturen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een dashboard met gegevens en contactgegevens bij verschillende problemen.
- Bij 70% van de wko-installaties is er geen balans. Het probleem is meestal regeltechnisch van aard en goed op te lossen. Het is aan te bevelen dat de balans in de regeling wordt opgenomen, zodat de beheerder er geen last van heeft.
- Er is in de regeling een optie nodig om te stoppen met koude laden bij 120% van het streefverbruik.

### Innovaties

- Hoge temperatuur wko is technisch lastig, omdat componenten niet goed bestand zijn tegen de hoge temperaturen. Tevens is er de regelgeving voor legionella, waardoor het warm-tapwater net minimaal op 65 °C moet blijven. Daardoor moet de minimale brontemperatuur hoog zijn. Tevens moet er een goede warmtebron beschikbaar zijn. Bij middelhoe temperatuur spelen deze knelpunten niet.
- Voor de uitwisseling van warmte- en koude tussen verschillende gebouwen zijn vooral goede contacten en contracten nodig. Er dienen eisen gesteld te worden aan temperatuurniveaus.

### Vervangingsaspecten

- Het dichtgooien van bronputten is niet nodig, er is altijd wel weer een bestemming voor te vinden. Tevens is ombouwen goed mogelijk.
- De levensduur van een wko is bij goed onderhoud 30 jaar. Daarna is regeneratie mogelijk (van het zandfilter).
- Bij stilstand gaan de pompen vastzitten, zorg daarom voor periodiek draaien.

Bedrijf:	DWA – afdeling energieadvies
Datum:	24-01-2011
Plaats:	Bodegraven
Interviewer:	Kundert de Wit
Geïnterviewde:	Lambert den Dekker
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag
Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview	
<b>Ontwerp</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Er zijn veel concepten mogelijk bij wko. Het is belangrijk dat concept te kiezen dat bij het project past. Tevens moeten bijbehorende berekeningen gedaan worden.</li><li>• Het is aan te bevelen dat het ontwerp en programmeren van de regelstrategie door een partij gebeurt. Een programmeur heeft geen idee van de installatie en weet niet waar hij mee bezig is. Er is dus communicatie nodig met de werktuigbouwkundig ontwerper.</li><li>• De energiebalans gaat vaak fout, omdat het ontwerp niet overeen komt met de werkelijkheid. Dit komt door verkeerde ontwerputgangspunten, of het ontwerp is niet robuust genoeg om een goede energiebalans te krijgen bij afwijkingen van het ontwerp. Er wordt geen (goede) gevoeligheidsanalyse gedaan.</li><li>• Wanneer in de woningbouw wko toegepast wordt is de warmtepomp een aandachtspunt. Verwarmen van tapwater lukt niet met een normale warmtepomp. Er is een hoog-temperatuur warmtepomp nodig, anders wordt alles met de gasketel verwarmd en is de besparing weg.</li><li>• Bij woningbouw is er een relatief kleine koudevraag. Warmte laden kan dus niet alleen met de koeling. Denk daarom goed na waar je de warmte vandaan haalt (het kan duur zijn).</li><li>• De basis is belangrijk, anders ontstaan er problemen bij de exploitatie (extra kosten, minder duurzaamheid).</li></ul>	
<b>Realisatie</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Het is belangrijk om heel duidelijk af te spreken wat de verschillende betrokken partijen van elkaar verwachten. Anders doet de een iets anders dan wat de ander wil. In het bestek kan worden vastgelegd hoe het proces moet gaan lopen met betrekking tot terugkoppeling en dergelijke.</li><li>• Voor de realisatie is het belangrijk dat er goed afspraken worden gemaakt over het testen van de installatie (Bij verschillende seizoenen). Hiermee ondervang je ook regeltechnische fouten.</li></ul>	
<b>Innovaties</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Een innovatie is bijvoorbeeld het gebruik van warmtepompen in combinatie met wko én warmtekrachtkoppeling in plaats van alleen warmtepompen en wko. Op deze manier kan goed in het tapwater worden voorzien.</li><li>• Bij distributie is er warmteverlies. Daarom laag-temperatuur warmte aanvoeren (30-40 °C) en vervolgens opwerken met een hoog-temperatuur warmtepomp (is nog in ontwikkeling).</li></ul>	

Bedrijf:	Installect
Datum:	25-02-2011
Plaats:	Nijkerk
Interviewers:	Hans Buitenhuis, Kundert de Wit
Geïnterviewden:	Henk Broekhuizen, Ivo Everts, Joost Kieft
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag
<b>Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview</b>	
<p><b>Ontwerp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Het komt voor dat de visie van de projectontwikkelaar niet overeenkomt met de wens van de gebruiker. Daardoor wordt er in de gebruiksfase niet vastgehouden aan het oorspronkelijk concept. Bij wko zijn de gevolgen hiervan groter dan bij conventionele installaties.</li> <li>Er is afstemming nodig tussen de verschillende partijen en installatieonderdelen.</li> <li>ISSO publicatie worden maar weinig gebruikt. Het kan een idee zijn om certificering van ontwerpen te eisen.</li> </ul> <p><b>Realisatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bij de realisatie worden besparingen gedaan die ten koste gaan aan de kwaliteit van installatiecomponenten en gebouw.</li> <li>De regie tijdens de realisatie moet goed bij één partij worden ondergebracht.</li> <li>Het aanbieden van gestandaardiseerde systemen kan een groot deel van de knelpunten bij ontwerp en realisatie oplossen.</li> </ul> <p><b>Exploitatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Er is te weinig kennis aanwezig bij degene die problemen met de klimaatinstallatie/comfort op moet lossen.</li> <li>De beheerder doet verstellingen aan de installatie op basis van comfort in plaats van energieprestatie. De gevolgen die verstellingen hebben op de energieprestatie worden niet overzien.</li> <li>Er zijn standaard regels nodig voor het energiegebruik van alle gebouwen. Hierbij kunnen normen een hulpmiddel zijn.</li> <li>Eisen stellen aan COP of SPF zorgt voor extra bemetering en bijbehorende kosten. Om dit goed te doen is er normering nodig van de meetmethoden (o.a. regels voor middeling van deellast en tijdstap van de meting).</li> <li>Tijdens de realisatie en exploitatie moet er terugkoppeling plaatsvinden naar de ontwerper. Bij grote afwijkingen van het ontwerp kan de ontwerper dan aangeven dat er op deze manier problemen gaan ontstaan.</li> <li>Voor beheer en onderhoud zijn de volgende zaken belangrijk; (1) juiste eisen stellen, (2) afstemming tussen partijen, (3) aanspreekbaarheid van partijen, (4) beheer bij een centraal punt vastleggen, met één verantwoordelijke.</li> <li>Er dienen eisen gesteld te worden aan de prestaties van klimaatinstallaties. Het is wenselijk dat hier een financieel aspect aan gekoppeld wordt (hoge boetes), zodat er voor de eindgebruiker een prikkel ontstaat om zaken op te lossen.</li> <li>Bij een deel van de partijen ontbreekt de kennis en/of wil om met kennis samen te werken. Er is angst voor concurrentie in plaats van motivatie voor verbetering.</li> <li>Voor onbalansproblemen is het een goede aanpak om een 'energiebalans op locatie' te eisen. Er kan dan uitwisseling van balansverschillen tussen verschillende gebouwen plaatsvinden.</li> </ul> <p><b>Innovaties</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Innovaties zijn; (1) warmte voor de warmtepomp uit lucht en wko halen, (2) combineer wko en warmtekrachtkoppeling, (3) combineer wko en geothermie (4) combineer wko bij datacenters met woningbouw, (5) benut bestaande reststromen.</li> </ul> <p><b>Vervangingsaspecten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WKO-systemen worden alleen vervangen als er iets grondig mis is.</li> <li>De bronbuis kan er niet uitgehaald worden. Het brongat wordt gevuld met bentoniet.</li> </ul> <p>De warmtepomp en regeling gaat ongeveer 15 jaar mee. Pompen gaan ongeveer 7 jaar mee.</p>	

Bedrijf:	Energie Totaal Projecten (ETP)
Datum:	17-03-2011
Plaats:	Dordrecht
Interviewer:	Kundert de Wit
Geïnterviewde:	Marcel Klootwijk
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag
Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview	
<p><b>Ontwerp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Te lage retourtemperatuur uit een gebouw kan ook inherent aan het systeem zijn (bijvoorbeeld bij warmte laden met een luchtbehandelingskast).</li> <li>• De temperatuur van de warme bron wordt in het ontwerp meestal op 18 °C gesteld. In werkelijkheid is ze gemiddeld 15-16 °C.</li> <li>• Een reden waarom het rendement van veel wko-systemen niet goed is, is dat de regelstrategie van de kleppen rond de warmtewisselaar niet goed kan omgaan met afwijkingen van het ontwerp. Bijv. hogere temperatuur gemeten dan gewenst -&gt; maximaal debiet om temperatuur omlaag te halen -&gt; instabiel regelgedrag.</li> <li>• Een tweede reden waarom het rendement van veel wko-systemen niet goed is, is dat bij veel warmtepompen schroefcompressoren gebruikt worden, die hebben een slecht deellast rendement. Warmtepompen worden veelal overgedimensioneerd -&gt; veel deellast. Met wat slimmere regelingen (frequentie geregeld i.p.v. een schuifregelaar) is dit voor een groot deel te verhelpen.</li> <li>• Een derde reden waarom het rendement van veel wko-systemen niet goed is, is dat bij veel warmtepompen de condensor en verdampers een vast toerental hebben. Bij deellast zorgt dit voor een laag rendement (COP). Door frequentie geregelde pompen en bijbehorende regeling waarbij meer op systeemniveau gedacht wordt te gebruiken is dit op te lossen.</li> <li>• ISSO-publicaties worden niet of nauwelijks gebruikt. En kennisoverdracht hierdoor vindt nauwelijks plaats.</li> </ul> <p><b>Realisatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De regeling is bij veel klimaatinstallaties vooral gericht op het goed laten werken van de individuele componenten, terwijl het erom gaat dat het hele systeem goed werkt.</li> <li>• Bij veel installateurs ontbreekt gedegen kennis over regelen. Leveranciers doen er daarom goed aan complete systemen te leveren, waarbij ze zelf voor een goede regeling zorgen.</li> <li>• Het goed regelen van de componenten om de wko heen (wp, tsa en bijbehorende pompen en kleppen) is veel belangrijker dan het rendement van de wko zelf. Dit vraagt wat meer investeringen, maar de energiekosten zijn dan ook beduidend lager. In de praktijk is er echter wel geld om de energierekening te betalen, niet om meer te investeren.</li> </ul> <p><b>Exploitatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij veel projecten wordt er geen rekening gehouden met de exploitatie. Dit betekent dat bij de helft van de projecten er de eerste 1-2 jaar geen onderhoudsovereenkomst of onderhoudsplan en dus ook geen onderhoud is. Een andere reden is dat er de eerste tijd nog veel klusjes door de installateur gedaan worden. Er is pas budget voor onderhoud als er opdracht is. Als de verantwoordelijkheid niet duidelijk is, is er geen geld en gebeurt er niets.</li> <li>• Pas als er echt iets moet gebeuren ontstaat er druk (bijv. rapportage aan provincie of de klachten lopen de spuigaten uit) en komt er opdracht voor onderhoud (gemiddeld na twee jaar).</li> <li>• Een andere reden dat er weinig onderhoud gepleegd wordt is dat er geen handhaving is van bestaande regels voor inspecties.</li> <li>• Monitoring wordt vaak als gezien als 'duur'. Voor het verbeteren van systemen is het goed las dit standaard in het onderhoudscontract zit. Voor de meeste bedrijven verkoopt zoiets als "hogere productiviteit door beter comfort" niet. Alleen een duidelijke kostprijs zegt wat.</li> <li>• Onderhoudscontracten kunnen hier een rol in spelen, maar dat moet nog uitgekristalliseerd worden in de praktijk. Vooral voor grotere professionele partijen is dit geschikt.</li> <li>• Onderhoud ligt regelmatig bij verschillende partijen, bij problemen wordt er naar elkaar gewezen voor de oorzaak. Het is daarom zaak om onafhankelijk te zijn met betrekking tot kennis en mogelijkheden om in te grijpen.</li> <li>• Het goed laten draaien van complete systemen wordt zwaar onderschat. Tevens is er weinig continuïteit van de partijen eromheen.</li> </ul>	

**Vervangingsaspecten**

- Er is een keer een systeem vernieuwd, omdat het niet goed werkte.
- Verwijderen van bronnen betekent dichtgooien (kosten zijn 1% van de investeringskosten van het systeem). Vaak is er echter een andere toepassing mogelijk. Wanneer de bronbuis blijft zitten heeft dit geen effect op de bodem.
- Vervanging van de warmtepomp en bijbehorende regeling gebeurt na 15-20 jaar. De bronpompen hebben een levensduur van  $\pm 5$  jaar.
- Onderhoud en instandhouding kost per jaar 4-6% van de investeringskosten. Hierbij is alles inbegrepen (ook rapportages naar de provincie). Dit is vergelijkbaar met de kosten bij ketels en koelmachines (6-7% van de investeringskosten).

**Innovaties**

- Om interferentie te voorkomen kun je de grootte van de bronnen laten afhangen van de perceelgrootte van een gebouw. Vervolgens kan het energiegebruik van het gebouw hierop aangepast worden. Dit geeft extra energiebesparing en kan in de plaats komen van het opstellen van masterplannen voor de ruimtelijke ordening van de bodem voor wko-systemen.
- Asfalt- en zonnecollectoren geven weinig energie om energiebalans te verbeteren. Onbalans kun je beter aanpakken door aanpassingen aan de klimaatinstallaties.
- De combinatie van wko met een brandput zorgt alleen voor ruimtebesparing, niet voor geldbesparing.
- Methaanwinning uit grondwater levert heel weinig energie (minder dan het kost).
- Bij combinatie van wko met andere systemen uit de omgeving heeft energie nooit de primaire functie, maar zijn het andere functies zoals het vorstvrij houden van parkeerplaatsen met asfaltcollectoren.
- De belangrijkste innovatie is standaardisatie en specialisatie van de markt. Versnippering leidt tot slechte kwaliteit. Fabrieksmatige serieproductie leidt tot hogere kwaliteit en lagere kosten.
- Conclusie: gebrek aan kennis, afstemming en continuïteit leidt tot problemen met kwaliteit en prijs.

Bedrijf: Haitjema  
Datum: 21-03-2011  
Plaats: n.v.t. - Telefonisch  
Interviewer: Kundert de Wit  
Geïnterviewde: Kor Reinink  
Onderwerp: Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag

#### Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview

##### Realisatie

- De oorzaken van een laag rendement liggen voornamelijk bij de regeling. Een extreem voorbeeld is dat de ketel of koelmachine voor de basislast gebruikt wordt en de wko voor de piekbelasting. Een ander voorbeeld is de regeling voor het laden van warmte of koude. Als die niet goed is wordt er niet voldoende warmte of koude geladen.
- Vooral de installatie aan de gebouwkant moet goed zijn om een goed rendement te halen. Aan de kant van de bronnen valt weinig rendementsverbetering te halen. De regeling van de bronnen moet zo simpel mogelijk zijn, zodat ze niet tegen de regeling van het gebouw in gaat werken. De intelligentie voor het regelen van de bronnen moet dus uit het gebouw komen.
- Serieproductie van wko-systemen zal weinig effect hebben op het rendement. Wel is er een kostenverlaging mogelijk.
- Er is maar een beperkt aantal bedrijven die goede bronnen kunnen maken. Er komen de laatste tijd steeds meer bedrijven die erg goedkoop slechte kwaliteit leveren. Het komt regelmatig voor dat er nieuwe bronnen gemaakt moeten worden, omdat ze slecht werken. Goedkoop is bij wko-systemen dus vooral duurkoop.
- Een bestaande kwaliteitsnorm is de BRL SIKB 2100 en 2101. Binnenkort komt er een regeling specifiek voor wko.

##### Exploitatie

- Bronnen worden aangestuurd door het gebouw. Het gebouw bepaald de warmte- en koudevraag. De bronnen zijn volledig afhankelijk van deze aansturing.
- Het rendement van een wko-systeem is voor veel gebruikers niet belangrijk. Als er maar warmte en koude geleverd wordt is alles okee. Er wordt om die reden onvoldoende gestuurd op rendement. Als dat wel gedaan zou worden, dan zou het rendement bij veel installaties omhoog kunnen.
- Partijen die energie verkopen zoals Hydreco hebben baat bij een goed rendement, omdat zij de financiële gevolgen hiervan merken en belangrijk vinden. Er is bij dit type bedrijven een directe terugkoppeling tussen het rendement en het bedrijfsresultaat.

##### Innovaties

- Bij Hoge temperatuur opslag zal vooral de vergunning een knelpunt zijn.
- Gesloten wko-systemen beïnvloeden de grondlagen teveel. Er is nauwelijks controle, geen vergunning, geen regels voor verwijdering. Op deze manier bestaat er grote kans dat er glicol in het grondwater terecht komt. Toepassing hiervan is daarom geen goed idee en regelgeving is hard nodig.
- Bestrijding van hoog grondwaterpeil met wko kan bij bestaande gemalen, waarbij er warmte onttrokken wordt aan het water.

##### Vervangingsaspecten

- Periodiek onderhoud vindt twee keer per jaar plaats. Er wordt dan naar de hardware gekeken. Bij rapportages aan de provincie wordt ook de hoeveelheid energie en verplaatst water in de gaten gehouden.
- Bij opmerkingen over de warmte of koudebehoefte van een gebouw wordt dit door de installateur vooral als kritiek opgevat.
- Vervanging van wko-systemen gebeurt om andere redenen dan veroudering. Bijvoorbeeld vanwege de positionering van een nieuw gebouw boven een bestaande bron.
- Bij verwijdering blijft alleen de bronbuis in de grond zitten. Ze wordt afgevuld volgens de gegevens over de grondlagen. Het materiaal van de bronnen is tegenwoordig meestal PVC. In enkele speciale gevallen wordt HDP of RVS gebruikt.
- Bronnen zijn afhankelijk van de locatie en het gebruik na 30 jaar nog steeds goed te gebruiken.
- Pompen gaan ongeveer 10 jaar mee. Dit is afhankelijk van de kwaliteit van het water, het type schakeling en beheer.

Bedrijf:	Sweegers en de Bruijn
Datum:	21-03-2011, 22-03-2011
Plaats:	n.v.t. - Telefonisch
Interviewer:	Kundert de Wit
Geïnterviewde:	Paul Gerats
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag

#### Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview

##### Ontwerp

- Het bronontwerp moet al vroeg worden vastgelegd. Als de gebouwingangspunten vervolgens toch wijzigen kan het bronontwerp vaak niet meer worden aangepast. Er kan dan worden ingeteerd op reserves (veiligheidsmarge wordt kleiner). Of er kunnen gebouwzijdig installaties toegevoegd worden (extra koude en/of warmte opwekkers).
- Bij het ontwerp wordt wel rekening gehouden met het opvangen van fluctuaties in gebouwgebruik, klimaat etcetera. Dit zijn ontwerpbeslissingen, die in de praktijk anders kunnen uitpakken dan gedacht. Bij grote installaties lijdt een toenemende belasting meestal niet tot ongewenst regelgedrag. Bij klein installaties is dat wel het geval. Ongewenst regelgedrag kan overigens ook veroorzaakt worden door slechte instellingen.
- Een niet juist gekozen wko-concept heeft voornamelijk met beginnersfouten te maken. Hierbij is kennisoverdracht belangrijk.
- Wanneer er weinig voorzieningen voor beheer en onderhoud zijn hoeft niet te betekenen dat er in het ontwerp niet goed naar beheer en onderhoud is gekeken. Dit kunnen ook afgewogen ontwerpkeuzes zijn. Ook hier kan sprake zijn van beginnersfouten.
- Bij het ontwerp van de regeling worden in de praktijk geen grote missers gemaakt.
- Het is beter om mogelijkheden voor bijsturing in de regeling in te bouwen, dan een zelfsturende regeling te gebruiken. Vooral bij kleinere installatie is de afstemming op die manier gemakkelijker en beter beheersbaar.

##### Realisatie

- Met name bij installateurs is er sprake van een kennisgat. Vooral voor de middelgrote en kleinere installateurs zijn wko-systemen (en duurzame energiesystemen in het algemeen) een vreemde tak van sport die buiten de kernactiviteiten valt. Vooral de koppeling tussen gebouw en wko wordt niet goed gedaan. Tevens wordt er nog steeds ontworpen op ontwerpcondities in plaats van mogelijk voorkomende energiestromen.
- Vooral de middelgrote en kleinere installateurs zorgen voor problemen. Kennisoverdracht en certificering zouden kunnen helpen. De werkdruk bij deze bedrijven is echter hoog en medewerkers zijn duizendpoten, zodat de mogelijkheden voor kennisoverdracht beperkt zijn.
- Standaardisatie kan een oplossing zijn, vooral met betrekking tot de hydrauliek en regelingen. Tevens is het belangrijk alles zo eenvoudig mogelijk te houden.
- Communicatieproblemen tussen de werktuigbouwkundig ontwerper en de programmeur van de regelstrategie komen vooral voor bij installateurs zonder eigen regelafdeling. Hierdoor wordt bijvoorbeeld de monitoringsregistratie niet geactiveerd. Met behulp van een start-up meeting kan dit deels worden opgevangen doordat er vooraf afstemming kan plaatsvinden tussen de ontwerpende en uitvoerende partijen. Eventueel kan er door de adviserende partij ingespeeld worden op zichtbaar kennisgebrek. Hier staan dan wel extra kosten tegenover.
- Testen, inregelen en opleveren van de regeltechniek wordt vaak niet goed uitgevoerd. Ook hier kan een start-up meeting helpen, er kan namelijk beter aan de voorkant van het proces worden ingegrepen dan aan de achterkant. De houding van de mensen in het project is hierbij belangrijk.
- Het is de taak van adviesbureaus om te zorgen dat er geen onderdelen worden wegbezuinigd door installateurs. Overigens horen installateurs te leveren wat er in het bestek staat.

##### Exploitatie

- Monitoring van energiestromen is geen eerste prioriteit van de beheerder, daardoor is er weinig aandacht voor. Tevens is er vaak pas na 1-3 jaar opdracht voor onderhoud.
- Kennis en inzicht ontbreekt bij de beheerder om basisproblemen goed op te lossen en consequenties van wijzigingen te overzien. Het is nodig dat beheerders zich organiseren en kennis vergaren. Dit kan in het bestaande kader van de NVOE.

- Slechte overdracht aan de beheerder komt vooral voor bij de overdracht aan de realiserende partij, die vervolgens weer aan de beheerder moet overdragen. Daar gaat het vaak fout. Het is belangrijk dat de opdrachtgever dit goed regelt.
- Voor de adviserende partij is het zaak om inzicht te hebben in de uiteindelijke gebruikers, daar kunnen de mogelijkheden voor het beheer op afgestemd worden (optie voor automatisch laten genereren van monitoringsgegevens).
- Handhaving van bestaande regels is een probleem, alhoewel de handhaving van de eisen aan de wko vanuit de provincies wel toeneemt.
- Het is belangrijk dat er gestuurd wordt op de integrale uitkomst van de complete installatie. Het onderhoud van de verschillende onderdelen van de installatie is meestal goed.

### Innovaties

- Middelhoge temperatuuropslag is wenselijk, bijvoorbeeld in combinatie met energiedaken. Vergunningstechnisch is dit moeilijk, maar wel de moeite waard om uit te zoeken.
- Investeren in bodemwarmtewisselaars is gunstig tot 100-200 kW. Bij hoger vermogen zijn open wko-systemen gunstiger. Nadelen van bodemwarmtewisselaars zijn (1) er is geen regelgeving voor, waardoor ze oncontroleerbaar zijn. (2) er is veel meer bodemperforatie, dan bij open systemen.
- Alleen bij bepaalde situaties is grootschalige toepassing van bodemwarmtewisselaars met grote vermogens rendabel. Bijvoorbeeld als de bodem ongeschikt is voor een open systeem.
- Combineren van open en gesloten wko-systemen kan afhankelijk van de situatie. Een bodemwarmtewisselaar neemt veel meer oppervlakte in beslag als een open wko-systeem met hetzelfde vermogen.
- Combineren van verschillende gebouwen met verschillende functies geeft toenemende complexiteit van de installatie. De gewenste eenvoud gaat verloren. Tevens is de contractvorming lastig. Op vermogensgebied geeft het maar weinig besparing. Het is daarom beter wko-systemen op te knippen in behapbare stukken. Binnen een gebouw is uitwisselen van energiestromen wel gewenst.
- Verlagen van de elektriciteitsvraag door buffering van warmte en koude is vooral interessant in productie omgevingen (grootverbruikers). Bij utiliteit gaat het benodigde vermogen omlaag door het gebruik van wko en warmtepompen. Alleen bij woningbouw neemt het vermogen toe door het gebruik van warmtepompen.
- Combineren van wko met energiebronnen uit de omgeving gebeurt alleen bij redelijk grote onbalans. Er is dan bewuste aansturing door de beheerder nodig. Het gebruik van oppervlaktewater heeft als nadeel vervuiling van de installatie, omdat de filter fijner materiaal wel doorlaat. De warmtewisselaar moet meerdere keren per jaar worden schoongemaakt. Dit geldt ook het water niet stilstaat.
- Bestrijden van het grondwaterpeil met wko is van toepassing bij situaties waar alleen onttrekking plaatsvindt. Het onttrokken water moet dan geloosd kunnen worden.
- De combinatie bodemsanering en wko is vooral vanuit beleid gezien interessant. Gebruikstijden en gebruikers matchen niet goed, daarom moet het ondergebracht worden bij partijen als Hydreco.
- Bij gebruik van grondwater in combinatie met wko moeten de processen kunnen matchen.
- Certificering van wko met brandblusvoorziening is moeilijk, omdat bij doubletten alles dubbel uitgevoerd moet worden. De combinatievoordelen moeten dus wel heel groot zijn.
- Er is een afweging tussen het haalbare rendement en de gewenste bedrijfssituaties. De optimale bedrijfssituatie geeft een hoog rendement, echter het comfort is dan onvoldoende. Het gewenste comfort en rendement moeten dus matchen.

### Vervangingsaspecten

- Vervanging is tot nu toe niet gebeurt door slijtage. Alleen bij calamiteiten zoals een dichtgeslibde put of lekkage van de putwand.
- Vervangingstermijn van wko is  $\pm 30$  jaar. Een koelmachine heeft een vervangingstermijn van 15-20 jaar. Tevens zijn de herinvesteringskosten bij wko relatief laag in vergelijking tot koelmachines ( $\pm 30\%$  v/d investering bij wko tegenover 60-70% v/d investering bij koelmachines). De reden is dat de put bruikbaar blijft, en alleen de pomp en inwendig leidingwerk vervangen moet worden.



Bedrijf:	Ministerie van I&M
Datum:	23-03-2011
Plaats:	Den Haag
Interviewer:	Kundert de Wit
Geïnterviewde:	Jan Mimpfen
Onderwerp:	Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag
<b>Samenvatting van de belangrijkste punten uit dit interview</b>	
<p><b>Ontwerp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Als er geen proefboring plaats vindt is er onzekerheid over de bodemopbouw zorgt ervoor dat het bronontwerp niet op voorhand geoptimaliseerd kan worden. Tevens kan dit grote verschillen geven tussen de bronnen onderling.</li> <li>Het ontwerpuitgangspunt voor het temperatuurverschil tussen de warme en koude bron kan niet bij elke buitentemperatuur worden gehaald en is daarom niet gelijk aan het gemiddelde. Om dit op te vangen zouden er bij het ontwerp dynamische simulaties uitgevoerd moeten worden. Op deze manier krijg je inzicht in het debiet en temperatuurverschil bij alle buitentemperaturen.</li> <li>Er worden te weinig regeneratie mogelijkheden in het ontwerp opgenomen, waardoor er te weinig flexibiliteit is in het leveren van warmte en koude. Dit speelt voornamelijk bij gebouwen die afhankelijk van het gebruik een warmte- of koudeoverschot hebben.</li> <li>Er wordt in de regeling geen mogelijkheid opgenomen om de energiebalans automatisch te bewaken. Het ontwerpuitgangspunt is dat de onbalans na de realisatie handmatig gemeten en gecorrigeerd wordt. In de praktijk vindt deze balanscorrectie nauwelijks plaats.</li> <li>Bij het ontwerp van de regeling wordt onvoldoende het functioneren in deellast doordacht. Tevens is de beschrijving van de regeling onvoldoende duidelijk, zodat de installateur uit de regelschrijving niet kan opmaken hoe hij moet werken. Het gaat hierbij met name over de overgang tussen bedrijfssituaties.</li> <li>Dit tekort aan informatie heeft tot gevolg dat de installateur een regelfirma in de arm neemt, die denkt te weten hoe het moet. Omdat er geen sprake is van standaardisatie van het hydraulisch ontwerp wordt er dan ter plekke een regeling bedacht. De installatie werkt dan wel, maar verre van optimaal.</li> <li>Als de installateur niet genoeg informatie krijgt moet hij niet schromen om voor elke bedrijfssituatie een hydraulisch schema met bijbehorende stromingsrichtingen en regelparameters op te vragen bij de adviseur.</li> <li>Het komt voor dat er bij het ontwerp van de TSA te weinig rekening gehouden wordt met deellastsituaties, waardoor het transitiepunt tussen laminaire en turbulente stroming vrij dicht bij het maximale debiet ligt. In deellast is dan de warmteoverdracht ineens stukken lager.</li> </ul> <p><b>Realisatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De adviseur is te weinig richtinggevend (alleen ontwerp op hoofdlijnen). Vervolgens wordt van de installateur verwacht dat hij het oplost.</li> <li>Bij het gebruik van te goedkope boomethodes is de opbouw van de grondlagen niet duidelijk te krijgen. Dit heeft als gevolg dat de afdichting niet goed gebeurt.</li> <li>Problemen die ontstaan doordat de installateur te weinig informatie over de regeling krijgt zijn: (1) de samenwerking tussen de regeling van de warmtepomp en regeling van de hydraulische kleppen van de condensor en verdamper gaat niet goed. (2) Met instabiel regelgedrag als gevolg. (3) het buffervat wordt niet optimaal benut.</li> <li>De constructieve inpassing van de warmtepomp en het buffervat kunnen bij bestaande bouw nog wel eens voor moeilijkheden zorgen.</li> </ul> <p><b>Exploitatie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoring wordt niet goed geautomatiseerd in het gebouwbeheersysteem (slecht in te bellen, geen goede registratie van meetpunten). Daardoor is er geen goede monitoring mogelijk, omdat er geen gegevens uit het gebouwbeheersysteem zijn te halen.</li> <li>Er is een gebrek aan geplaatste elektriciteitsmeters voor warmtepompen en bronpompen, waardoor daadwerkelijke COP's niet zijn te meten.</li> </ul>	

- De oorzaak van beide bovengenoemde punten is dat de adviseur te weinig specifieke informatie in de ontwerpbeschrijving opneemt (bijvoorbeeld geen exacte beschrijving van de te registreren meetpunten). Als vervolgens voor de goedkoopste aanbieder gekozen wordt, wordt er alleen geleverd wat er gevraagd is, niet meer.
- Er is vooral sprake van technisch beheer. Energiebeheer is zeldzaam.

**Innovaties**

- Gebruik van een gaswarmtepomp bij renovatie, zodat investeringen in de afgifte-installatie uitgesteld kunnen worden.
- Gebruik van pompen in plaats van de kleppen om de waterhoeveelheden te regelen. Er kunnen dan een aantal kleppen weggelaten worden.
- Samenwerken van verschillende systemen door aan te sluiten op bestaande warmtenetten.
- Warmtepompen en andere pompen verder laten terugregelen.

Bedrijf:	Gebruikersgroep WKO	
Datum:	Verschillende bijeenkomsten	
Plaats:		
Interviewer:	Hans Buitenhuis	
Geïnterviewde:	Verschillende gebruikers (beheerders) van wko-systemen (onder andere LUMS,	
Onderwerp:	WUR, TUDelft) Knelpunten rond het rendement van warmte- en koude opslag	
Tijdens een aantal sessies met gebruikers / beheerders van gebouwen met WKO-installaties zijn door de betrokkenen presentaties verzorgd, waaruit een groot aantal leerpunten kwamen. Het betreft grootschalige gebouwen met dito installaties. Een samenvatting in de volgende hoofdpunten:		
	Constatering	Oorzaak
1	De regeling van de warmtepompen in de winter (koude laden) verloopt niet goed. De injectietemperatuur in de koude bron is niet goed te regelen	Onjuist ontwerp / gebrek aan kennis bij ontwerper.
2	Flowmeters vervuilen, omdat geen zelfreinigende uitvoering is gekozen. Moeten uitgebouwd en vervangen worden.	Gebrek aan productkennis bij ontwerpen en installateur
3	Een droge koeler voert 's winters zo'n 20% van het opgewekte vermogen van een warmtepomp en piekketel af, teneinde de warmtepomp aan het draaien te houden en voldoende koude te laden.	Onjuiste conceptkeuze en/of onjuiste temperatuurniveaus in het afgiftesysteem als gevolg van verkeerde ontwerpkeuzes en/of onjuiste componentselectie.
4	De onderhoudsbehoefte van bronnen wordt beoordeeld op basis van de maximale sturing van de bronpompen in relatie tot het debiet. De feitelijke injectie- en onttrekkingsdrukken in de bronnen blijven buiten beschouwing. Normaal gesproken worden die n de bronnen gemeten.	Onvoldoende inzicht bij de beheerder in het functioneren van het systeem. Kennelijk is dit ook niet in het ontwerp opgenomen.
5	Geponeerde stelling door een beheerder: "Als de warme-brontemperatuur niet de goede waarde heeft, kan de warmtepomp niet de goede temperatuur voor koudeopslag maken". Dit is een misverstand; het systeem moet bij elke temperatuur van de warme bron correct kunnen functioneren.	Gebrek aan inzicht bij de beheerder, voortvloeiend uit een verkeerd ontworpen installatie, die niet goed kan functioneren zonder aanpassingen in de installatie zelf.
6	Als de warmtepomp het CV-net niet op de goede temperatuur kan brengen, komt de piekketel bij. Die ketel draait echter opeen minimum vermogen van 25 à 30% van z'n maximum vermogen. Gevolg: er wordt teveel warmte geproduceerd. Toegepaste remedie: het overschot aan warmte naar de omgeving afvoeren met een droge koeler.	Onjuiste selectie van de ketel, eventueel in combinatie met een onjuist hydraulisch ontwerp.
7	Vraag van de ene beheerder aan de andere: "Zit er bij jullie verloop in de brontemperaturen?" Er zit altijd verloop in de brontemperaturen, soms meer, soms minder maar dat is inherent aan het systeem met WKO	Gebrek aan kennis en inzicht in de fysische basis principes van WKO.
8	Gemeten COP's van warmtepompen in een grote installatie: - verwarmen: 2,1 – 2,6 - koelen: 1,7 – 1,9 Er wordt geen energie bespaard, maar wel 8% op energiekosten. Dit wordt per saldo als positief en acceptabel ervaren.	Er ontbreekt bij beheerders of eigenaren van een installatie met WKO en warmtepompen een referentiekader voor prestaties die warmtepompen moeten leveren. Idem voor de energieprestatie van het totale systeem.

Uit de presentaties van de verschillende organisaties zijn de volgende punten naar voren gekomen:

**Ontwerp**

- De afstemming van het ontwerp van de grondwaterinstallatie met gebouwinstallaties is slecht.

**Realisatie**

- Uitvoering is op veel punten niet conform bestek.
- Er is sprake van onjuiste revisie tekeningen.
- Er is een slechte overdracht van de installaties.
- Installaties zijn hydraulisch- en luchtzijdig niet goed ingeregeld.
- Er zijn allerlei regeltechnische problemen.

**Exploitatie**

- De werking van de installaties onduidelijk.
- Er is geen evenwicht in de bronnen. Daarom moet de WKO twee maanden per jaar worden uitgeschakeld. Dan worden er gasketels gebruikt in plaats van de warmtepomp.
- Een leverancier, een leveringscontract en twee afnemers/gebruikers leidt tot complexe problemen.
- De mogelijkheden van warmte-/koudeopslag worden niet volledig benut.
- Benodigde koude is sturend voor het gebruik van de warmte (koudevraag is onvoldoende).
- Uitbreidingen van de installatie zijn te veel ad hoc oplossingen.
- Het laden van koude wordt geblokkeerd door de vorstbeveiliging.
- Het eerste jaar is er te weinig koude geladen.
- Er zijn diverse afnemers met een hoge flow en lage dT.
- Niet alle metingen zijn op orde.
- Er zijn allerlei regeltechnische problemen.
- Het temperatuurniveau in de warme en koude bronnen is niet zoals in het ontwerp.
- Er is een koude overschot.
- De efficiëntie van de WKO is niet goed.