Code van goede praktijk:

Het ontwerp, de uitvoering en het beheer van KWO-systemen in Vlaanderen .

WTCB i.s.m. A.G.T. n.v. en de Smart Geotherm werkgroep.

Datum: 24/10/2016

Versie 4

Deze studie werd uitgevoerd in het kader van het IWT-VIS traject Smart Geotherm (2011-2017)

Inhoudstafel

Voorwoord 5
1 Verklarende woordenlijst 7
2 Inleiding tot koude-warmte opslag (KWO) 9
3 Wetgeving 12
3.1 VLAREM II bijlage 1 - indelingslijst (milieuvergunning) 12
3.2 VLAREM II (bepalingen inzake milieuhygiëne) 12
4 Bodemeigenschappen 14
4.1 Geologische opbouw 15
4.2 Grondwaterstroming 15
4.3 Grondwaterkwaliteit 16
4.3.1 Verontreiniging 16
4.3.2 Redoxgrens 16
4.3.3 Zoet-zoutgrens 16
4.4 Grondwatertemperatuur 16
4.5 Naburige grondwaterwinningen 16
5 Haalbaarheidsonderzoek 18
5.1 Energiebehoefte gebouw 18
5.1.1 Koude-warmtevraag 18
5.1.2 Vereist vermogen 18
5.1.3 Energiebalans 19
5.1.4 Afgiftesysteem 20
5.2 Initiële screening locatie 20
5.3 Uitgebreid haalbaarheidsonderzoek op de site 21
5.3.1 Proefboring 22
5.3.2 Bepalen lokale grondwaterstroming 22
5.3.3 Pompproeven 22
5.3.4 Analyse redoxparameters 22
6 Ontwerp van de KWO-installatie 24
6.1 Berekeningsmethode 24
6.1.1 Numerieke modellering 24
6.1.2 Thermische straal 24
6.2 Bronnen 25
6.2.1 Opstelling bronnen 25

6.2.2 Aantal bronnen 26
6.2.3 Brondiameter en filterlengte 27
6.2.4 Hydrologische effecten, injectiedruk en zettingen 28
6.2.5 Temperatuursverloop 29
6.3 Componenten 29
6.3.1 Drukhandhaving 30
6.3.2 Bronpomp 30
6.3.3 Persleiding 30
6.3.4 Injectieleiding 31
6.3.5 Transportleiding 31
6.4 Technische ruimte 31
6.4.1 Warmtewisselaar 31
6.4.2 Expansievat 31
6.4.3 Omkeerkleppen 31
6.4.4 Onderhoudsvoorziening 31
6.4.5 Regeling 32
7 Bronuitvoering 34
7.1 Boring 34
7.1.1 Boortechniek 34
7.1.2 Boorspoeling 34
7.1.3 Bemonstering 35
7.2 Installatie bronnen 35
7.2.1 Bronopbouw 35
7.2.2 Omstorting 37
7.3 Bronontwikkeling 38
7.3.1 Schoonpompen 38
7.3.2 Airliften 38
7.3.3 Intermitterend pompen 38
7.3.4 Rondpompen 38
7.3.5 Cyclisch pompen/lozen gevolgd door pompen/injecteren 38
7.3.6 Capaciteitsproef 39
7.3.7 Staalname en analyse 39
7.3.8 Opmeten van de putten 39
7.4 Boren in vaste formaties 39

7.4.1 Boring en verbuizing 40
7.4.2 Verzuring 40
7.4.3 Flowtest 40
7.4.4 Camera-inspectie 41
8 Opvolging en periodiek onderhoud 42
8.1 Regeneratie bronnen 42
8.2 Algemeen onderhoud 42
8.3 Staalname 42
9 Buitendienststelling 44
10 Referenties 45
Bijlage: Schema's technische ruimte 46

Voorwoord

Deze Code van Goede Praktijk heeft als doel de beschikbare kennis en ervaring met betrekking tot koude-warmte opslag (KWO) in Vlaanderen ter beschikking te stellen. Het document beschrijft de eisen die worden gesteld aan het ontwerp, realisatie en beheer van KWO-systemen zodat dergelijke systemen duurzaam en betrouwbaar zijn, én een daadwerkelijke energiebesparing opleveren. Naast KWO heeft ook BEO (Boorgat Energie Opslag) in Vlaanderen veel toepassingsmogelijkheden. Deze techniek valt echter buiten het bereik van deze Code van Goede Praktijk voor KWO. Voor BEO wordt verwezen naar andere Smart Geotherm documenten.

De Code van Goede Praktijk is in de eerste plaats gericht aan de ontwerpers en uitvoerders van gebouwen en de verwarmings- en koelingssystemen (HVAC). KWO is uitermate geschikt wanneer er een groot vermogen aan verwarming en koeling wordt gevraagd. De aanleg dient steeds te gebeuren door ervaren bedrijven (boor en -installatiebedrijven), begeleid door een studiebureau gespecialiseerd in KWO.

Bij het ontwerp van een KWO-installatie gelden drie randvoorwaarden:

1. Er dient te worden voldaan aan de energievraag
2. Het systeem dient technisch en economisch haalbaar te zijn
3. De invloed naar de omgeving toe moet toelaatbaar zijn

De eerste en de tweede randvoorwaarde zijn rechtstreeks terug te leiden tot de geschiktheid van de ondergrond. Voor de eerste randvoorwaarde is het te behalen debiet de belangrijkste parameter. Om een gevraagde hoeveelheid warmte en koude te kunnen leveren dient immers een hoeveelheid water te worden rondgepompt. Wat de tweede randvoorwaarde betreft, zal in een minder geschikte ondergrond de kost om een bepaald debiet ter beschikking te hebben groter zijn (bijv. meerdere bronnen, diepere bronnen) en dus economisch minder interessant. Het voorkomen van nadelige effecten op het milieu en de belangen in de omgeving is het doel van de wetgeving ter zake (randvoorwaarde 3) (Drijver, 2010).

Deze code van goede praktijk voor KWO in Vlaanderen werd gebaseerd op:

- De ervaring in Vlaanderen sinds de introductie van de techniek omstreeks het jaar 2 000;
- Het vergunningenbeleid in Vlaanderen inzake grondwater, en meer specifiek energieopslag (VLAREM);
- De Code van Goede Praktijk inzake grondwaterwinningen in Vlaanderen (VLAREM);
- De uitwisseling van kennis ter zake op het platform Smart Geotherm;
- De Richtlijnen Ondergrondse Energieopslag (NVOE, 2006) en het Protocol – Ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen (SIKB, 2014), in zoverre relevant voor de Vlaamse situatie;
- (Internationale) wetenschappelijke en vakliteratuur.

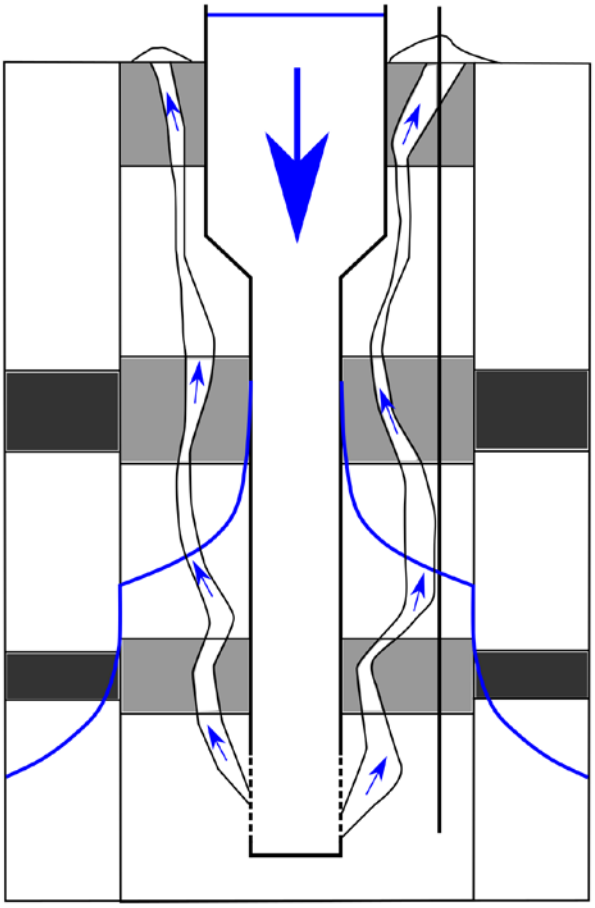
In deze code van goede praktijk wordt het ondergrondse deel in detail beschreven. Het ondergrondse deel betreft in dit geval alles wat in aanraking komt met het grondwater en daarnaast alles wat noodzakelijk is om deze component te bedienen, te beveiligen, te regelen en te huisvesten. Daarnaast wordt er kort ingegaan op het gebouwafgiftesysteem.

Verder wordt enkel opslag besproken in de range van 0 tot 25°C. Het injecteren van water boven de 25°C is in Vlaanderen niet toegestaan. Hogere temperaturen kunnen daarnaast leiden tot dichtheidsafhankelijke stroming en chemische veranderingen in de ondergrond.

Deze tekst is niet-limitatief en pretendeert niet volledig te zijn. Het is een handleiding bij het ontwerp, de aanleg en het beheer van een koude-warmte opslaginstallatie. De tekst moet ertoe bijdragen dat de verschillende onderdelen van het KWO-systeem consistent ontworpen, op elkaar afgestemd en beheerd worden, zodat aan de drie bovenvermelde randvoorwaarden wordt voldaan. De tekst is een compilatie van de beschikbare kennis en is geen statisch gegeven. Wanneer er verbeterde procedures/technieken beschikbaar komen, dient deze Code van Goede Praktijk te worden aangepast.

1 Verklarende woordenlijst

- **Afgesloten aquifer**: Watervoerende laag in de ondergrond die wordt afgesloten door een slecht doorlatende laag (aquitard).
- **Aquitard**: Slecht doorlatende laag in de ondergrond.
- **Beschermingszone drinkwater**: Rond elke winning van een openbare drinkwatermaatschappij zijn er drie beschermingszones afgebakend. Binnen *Zone 1 of de 24-uren zone* kan het water de drinkwaterputten binnen de 24 uur bereiken. Binnen *Zone 2 of de bacteriologische zone* kan het water de putten in minder dan 60 dagen bereiken. Deze zone strekt zich uit tot maximaal 300 meter rond het waterwingebied. *Zone 3 of de chemische zone* betreft het voedingsgebied van de grondwaterwinning; Deze zone strekt zich uit tot maximaal 2 kilometer rond het waterwingebied.
- **Bronontwikkeling**: Het ontwikkelen van een bron is erop gericht om ter hoogte van het filtertraject fijne deeltjes en restanten van de boorspoeling te verwijderen uit het filtergrind en de formatie rondom de boorgatwand, zodat de bron optimaal kan functioneren en de filtercapaciteit van het gesorteerde filtergrind geoptimaliseerd wordt.
- **EM-meting of elektromagnetische meting**: Een EM-sonde meet de elektrische geleidbaarheid van een bulk grondvolume, dus zowel het grondwater in de poriën als de gronddeeltjes zelf. Als het grondwater zoet is, dan is de elektrische geleidbaarheid van de gronddeeltjes dominant. Een voornamelijk zandige grond heeft bijvoorbeeld een elektrische geleidbaarheid van 5 tot 15 mS/m. Als het grondwater brak of zout is, dan is de geleidbaarheid van het poriënwater dominant. De geleidbaarheid kan dan makkelijk oplopen tot 1000 mS/m. Deze elektrische geleidbaarheidsmeting is dus uitermate geschikt voor de bepaling van de zoet-zoutwater verdeling. Bovendien kan met deze sonde, in tegenstelling tot bij een elektrische resistiviteitsmeting, in een peilbuis gemeten worden en wordt ook de bovenste 10 meter van het boorprofiel opgemeten.
- **Equivalente vollasturen**: Het aantal equivalente vollasturen wordt berekend door het maximale vermogen (kW) te delen door de gevraagde hoeveelheid energie (kWh).
- **Filterkoek**: De fijne deeltjes die tijdens het boorproces op de boorgatwand werden afgezet. Voor een goede werking van de bron dient de filterkoek tijdens de bronontwikkeling te worden verwijderd.
- **Freatische aquifer**: De bovenste watervoerende laag, die niet wordt afgesloten door een slecht doorlatende laag (aquitard). In de freatische aquifer bevindt zich de vrije watertafel. Boven de watertafel zijn de grondporiën onverzadigd, onder de watertafel zijn deze verzadigd.
- **Kwel**: Grondwater dat onder druk aan het maaiveld naar boven komt.
- **MFI of Membrane Filter Index**: Met een MFI-test wordt de kwaliteit van het opgepompte water geanalyseerd. Tijdens de test wordt een deelstroom van het opgepompte water over een membraan geleid. Afhankelijk van de hoeveelheid fijne gesuspendeerde deeltjes in het opgepompte water zal het MFI-membraan dichtslibben. De tijd waarover dit gebeurt is bepalend voor de MFI-waarde en dus het verstoppingspotentieel van het water bij herinjectie.
- **Onderloopsheid**: Water dat door een groot drukverschil met een grote snelheid langs een kunstwerk heen stroomt waardoor er uitspoeling van bodemdeeltjes optreedt. Bij een waterbron betekent dit dat de bodem rondom de bron zal opbarsten, waardoor het water via verticale scheuren (piping) in verticale richting langs de bron (omstorting) omhoogkomt.



Figuur 1: Onderloopsheid

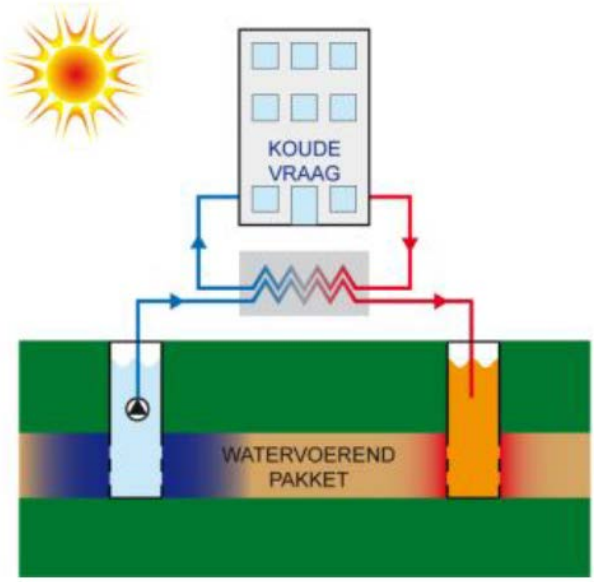
- **Peilput:** Geboorde put met een diameter die toelaat peilmetingen uit te voeren
- **Pompproef**: Pompproeven worden uitgevoerd ter bepaling van de hydrogeologische parameters van de ondergrond. Hierbij wordt er op een bron gepompt waarbij de grondwaterverlaging in de bron en nabije peilbuizen wordt opgevolgd en geanalyseerd. Wanneer de verlaging enkel in de bron zelf wordt opgevolgd, wordt gesproken van een putproef.
- **Proefboring**: Een prospectieboring met het doel verschillende proeven uit te voeren ter bepaling van de eigenschappen van de ondergrond.
- **Spuien**: Tijdens het spuien worden de bronnen en het leidingwerk schoongespoeld. Het grondwater wordt hierbij met een hoog debiet uit een bron onttrokken en geloosd.
- **Spuipomp**: Pomp die louter wordt gebruikt bij het spuien (recirculatiesysteem).
- **Thermische straal**: De thermische straal is de afstand in de aquifer vanaf de injectiebron tot waar de temperatuur beïnvloed wordt als er geen verliezen naar de omgeving zouden zijn.
- **Transmissiviteit (T)**: Hydraulische conductiviteit of doorlatendheid (K) x de verzadigde dikte van de aquifer (D) dus T = K x D.
- **Vernatting**: Verhoging van de watertafel tot boven het maaiveld.
- **Versmering**: zie filterkoek.

2 Inleiding tot koude-warmte opslag (KWO)

Deze code van goede praktijk beslaat volgende systemen:

- Opslagsystemen (warmte en koude)
  - Doublet
  - Monobron
- Recirculatiesystemen

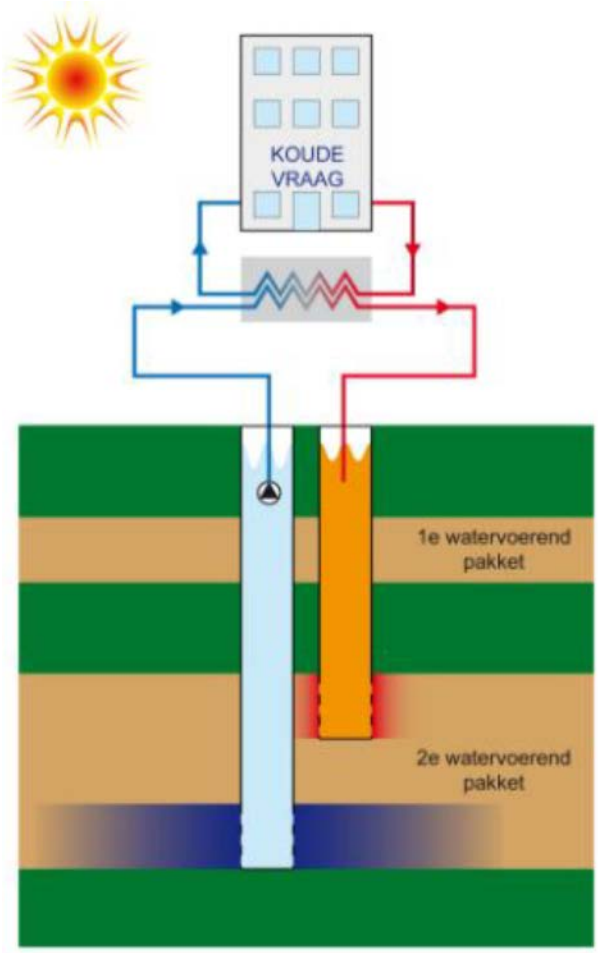
Bij doublet opslagsystemen (Figuur 2) wordt het water heen en weer gepompt van de koude naar de warme bron en omgekeerd. Tijdens de zomer is de koude bron de onttrekkingsbron en de warme bron de injectiebron. In de winter wordt de stromingsrichting omgekeerd. Beide bronnen worden dus zowel als onttrekkingsbron en als injectiebron uitgerust. Hierdoor ontstaat een warme en een koude zone in de ondergrond en wordt opslag van energie in de bodem gerealiseerd. Een KWO-systeem bestaat uit één of meerdere bronnenparen.



Figuur 2: Werking KWO-doublet, zomerscenario (IFTechnology)

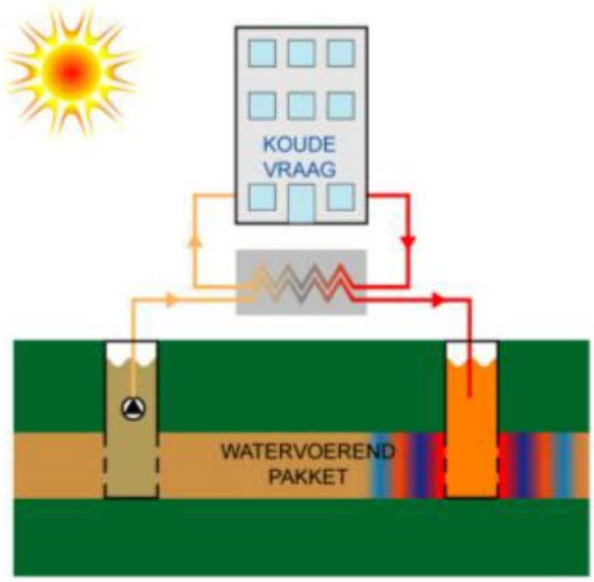
Een monobron opslagsysteem (Figuur 3) bestaat uit één boring waarin twee bronfilters werden geïnstalleerd. Deze bronfilters doen dienst als twee aparte bronnen zoals bij een doublet opslagsysteem, met dit verschil dat de bronfilters verticaal uit elkaar werden geplaatst in plaats van horizontaal. Voor dit type KWO-systeem is een dikke aquifer vereist om thermische interferentie te beperken. Het plaatsen van een monobronsysteem in twee verschillende aquifers houdt een technisch risico in. Reden hiervoor is de grote kans op menging van verschillende watertypen met mogelijk putverstopping door neerslagreacties tot gevolg. Daarnaast is dergelijk opzet ook milieukundig ongewenst aangezien hierbij netto grondwater aan een bepaalde aquifer wordt onttrokken terwijl een andere aquifer kunstmatig wordt aangevuld. In Vlaanderen is het plaatsen van een monobronsysteem in twee verschillende aquifers dan ook niet toegestaan (VLAREM). Binnen

éénzelfde aquifer kunnen monobron-systemen toegepast worden voor relatief kleinschalige projecten en op sites met een beperkte beschikbare oppervlakte.



Figuur 3: Werking KWO-monobron, zomerscenario (IFTechology)

Bij een recirculatiesysteem (Figuur 4) wordt het grondwater continu onttrokken uit een permanente onttrekkingsbron en wordt het grondwater continu geïnjecteerd in een permanente injectiebron. Bij recirculatie wordt het grondwater dus steeds in één richting rondgepompt. Bij een recirculatiesysteem wordt de in de bodem geïnjecteerde warmte of koude niet opnieuw benut. In vele gevallen betreft het continue koelsystemen (proceskoeling), waarbij de warmte die vanuit het koelproces in de aquifer wordt gedumpt, in de winter wordt gecompenseerd door koud water te injecteren. Op locaties met een hoge grondwaterstromingssnelheid, waar het moeilijk is een stabiele warme en koude zone te creëren, kan eveneens geopteerd worden voor een recirculatiesysteem. Aangezien bij recirculatie slechts in één richting wordt gepompt is het systeem eenvoudiger en is dus de kostprijs lager. Hierdoor komt een recirculatiesysteem ook in aanmerking voor gebouwen met een beperkte koel- en warmtevraag. Aangezien bij een recirculatiesysteem in slechts één richting wordt gepompt is het risico op bronverstopping groter. Daarom wordt aangeraden om ook in de injectiebron een spuipomp te voorzien voor periodiek onderhoud.



Figuur 4: Werking recirculatiesysteem, zomerscenario (IFTechnology)

3 Wetgeving

3.1 VLAREM II bijlage 1 - indelingslijst (milieuvergunning)

Inrichtingen van koude-warmte opslag vallen onder *Rubriek 53.6. Grondwaterwinningsputten voor koude-warmtepompen* van VLAREM II Bijlage 1 (Tabel 1). Wanneer de KWO-installatie minder dan 30 000 m³/jaar rondpompt volstaat een klasse 2 milieuvergunning. Wanneer het debiet groter of gelijk is aan 30 000 m³/jaar dient een klasse 1 milieuvergunning te worden bekomen.

Tabel 1: Uittreksel VLAREM II - Bijlage 1 - Rubriek 53.6. Grondwaterwinningsputten voor koude-warmtepompen

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken		Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag	Vlarebo
53.6.	Boren van grondwaterwinningsputten en grondwaterwinningen die gebruikt worden voor thermische energieopslag in watervoerende lagen, met inbegrip van terugpompingen, met een opgepompt debiet van:							
	1°	minder dan 30.000 m³/jaar	2	W	N			
	2°	ten minste 30.000 m³/jaar	1	W	N			

De pompproeven in het kader van de haalbaarheidsstudie (zie paragraaf 5.3) vallen onder *Rubriek 53.1. Grondwaterwinningsputten of proefpompingen* van VLAREM II Bijlage 1 (Tabel 2). Hierbij volstaat steeds een melding van de werken bij het betreffende gemeentebestuur (klasse 3). Het opgepompte water bij deze proeven is niet onderhevig aan heffingen op de winning van grondwater, het lozen van dit water is wel onderhevig aan heffingen op waterverontreiniging.

Tabel 2: Uittreksel VLAREM II - Bijlage 1 - Rubriek 53.1. Grondwaterwinningsputten of proefpompingen

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse	Bemer-kingen	Coördi-nator	Audit	jaar-verslag	Vlarebo
53.1.	Boren van grondwaterwinningsputten en/of grondwaterwinning voor het uitvoeren van proefpompingen gedurende minder dan drie maanden	3					

3.2 VLAREM II (bepalingen inzake milieuhygiëne)

Inrichtingen van koude-warmte opslag vallen onder *Hoofdstuk 5.53 Winning van grondwater* van VLAREM II. Enkele relevante bepalingen worden hieronder besproken.

Wanneer het debiet meer dan 30 000 m³/jaar bedraagt, is de aanleg van peilputten bij een KWO-installatie verplicht. Tenzij anders vermeld in de milieuvergunning gelden volgende voorschriften:

1. Voor grondwaterwinningen uitsluitend uit freatische watervoerende lagen:
   a) Voor de schijf van 30 001 m³ tot 1 miljoen m³ per jaar vergund debiet: één peilput per begonnen eenheid van 200 000 m³ per jaar vergund debiet;

   b) Voor de schijf van 1 miljoen of meer m³ per jaar vergund debiet: één peilput per begonnen eenheid van 500 000 m³ per jaar vergund debiet;
2. Voor grondwaterwinningen uitsluitend uit afgesloten watervoerende lagen:
   a) Voor de schijf van 30 001 m³ tot 500 000 m³ per jaar vergund debiet: één peilput;
   b) Voor de schijf van 500 000 of meer m³ per jaar vergund debiet: één peilput per begonnen eenheid van 500 000 m³ per jaar vergund debiet met een maximum van drie peilputten;
3. Voor grondwaterwinningen zowel uit freatische als uit afgesloten watervoerende lagen:
   a) Voor zowel de freatische watervoerende laag als de afgesloten watervoerende lagen wordt met toepassing van punt 1 en 2 het aantal peilputten vastgelegd;
   b) Onafhankelijk van het aantal peilputten dat met toepassing van punt a) verkregen wordt, moet er minimaal één peilput zijn met filters in de diepste watervoerende laag waaruit grondwater gewonnen wordt en alle bovenliggende watervoerende lagen;
4. Voor grondwaterwinningen uit verschillende afgesloten watervoerende lagen:
   a) Voor elk van de afgesloten watervoerende lagen afzonderlijk worden met toepassing van punt 2° het aantal peilputten vastgelegd;
   b) Onafhankelijk van het aantal peilputten dat met toepassing van punt a) verkregen wordt, moet er minimaal één peilput zijn met filters in de diepste watervoerende laag waaruit grondwater gewonnen wordt en alle bovenliggende watervoerende lagen.

Aangezien een koude-warmte opslag installatie steeds vergunningsplichtig is, dient telkens de project-MER-plicht (Milieu Effecten Rapportage) gecontroleerd te worden:

- Indien het jaarlijks onttrokken volume 10 miljoen m³ of meer bedraagt, dient steeds een project-MER opgesteld te worden.
- Wanneer het opgepompte debiet kleiner is dan 10 miljoen m³/jaar, maar als het netto debiet (verschil tussen onttrekking en injectie) gelijk aan of groter is dan 2 500 m³/dag, of alshet onttrekkingsdebiet gelijk aan of groter is dan 1 000 m³/dag in het geval van een mogelijke invloed op kustduinen of de natuurlijke kenmerken van een speciale beschermingszone dan kan een MER-ontheffingsaanvraag worden opgesteld. Dit verzoek tot ontheffing van de verplichting tot het opmaken van een project-MER wordt ingediend bij de dienst MER (Departement Omgeving) als kan aangetoond worden dat het project geen aanzienlijke milieueffecten kan veroorzaken. De dienst MER beslist geval per geval of dit wordt toegekend. De initiatiefnemer kan ook meteen tot de onmiddellijke opmaak van een project-MER overgaan.
- Wanneer bovenstaande drempels niet overschreden worden, dan moet minstens een project-MER-procedure worden opgestart. Een project-MER nota moet niet opgesteld worden door een erkende MER-deskundige, maar kan door de initiatiefnemer zelf opgesteld worden. Indien hieruit blijkt dat er aanzienlijke milieueffecten kunnen optreden, kan de bevoegde overheid naar aanleiding van de volledig verklaring van de vergunningsaanvraag beslissen dat er een project-MER dient opgemaakt te worden.

Koude-warmte opslagsystemen zijn vrijgesteld van heffingen voor grondwaterwinning en waterverontreiniging, op voorwaarde dat het grondwater na doorstroming van de warmtewisselaar integraal teruggebracht wordt in dezelfde watervoerende laag en op voorwaarde dat aan de vergunningsplicht is voldaan en een schriftelijke aanvraag voor deze vrijstelling is gebeurd. Om vrijstelling te verkrijgen van heffingen op de winning van grondwater is het noodzakelijk dat het correcte aantal debietmeters en peilbuizen aanwezig zijn. Zo dient het volume per pomprichting

alsook het spuivolume te worden opgemeten. Er is namelijk enkel vrijstelling op het gedeelte van het water dat terug wordt geïnjecteerd in dezelfde watervoerende laag waaruit het onttrokken wordt. Wanneer de spui van het systeem minder bedraagt dan 500 m³/jaar per put is de spui mee vergund onder de rubriek 53.6 (VLAREM II – Bijlage 1). Is de jaarlijkse spui groter dan 500 m³/jaar per put, dan is een bijkomende vergunning klasse 2 verplicht (of klasse 1 indien het opgepompt debiet meer dan 30 000 m³/jaar is). Vanaf het moment dat er in totaal (voor alle putten samen) meer spui of verbruik is dan 500 m³/jaar dient een heffing te worden betaald. Voor de lozing van het grondwater dient steeds een heffing voor waterverontreiniging te worden betaald.

Daarnaast dient de vigerende wetgeving zoals bepaald in VLAREM II *Onderafdeling 5.53.6.2 Grondwaterwinningen voor thermische energieopslag in watervoerende lagen met inbegrip van terugpompingen* te worden nageleefd. De werkwijze uitgedragen in dit reglement werd opgenomen in de overeenkomstige paragrafen van voorliggende Code van Goede Praktijk. Het betreft in hoofdzaak:

- Een KWO-installatie is verboden in beschermingszones type I en II van openbare drinkwaterwinningen
- De Code van Goede Praktijk voor boringen en voor exploiteren en afsluiten van boorputten voor grondwaterwinning (VLAREM II Bijlage 5.53.1);
- De wettelijke voorwaarden voor nazicht en onderhoud van de installatie;
- De herinjectie van het grondwater in dezelfde watervoerende laag als waaruit het onttrokken werd;
- Het gebruik van een leidingsysteem waarbij het grondwatercircuit en het gebouwcircuit fysiek afgesloten zijn;
- Het handhaven van een overdruk in het grondwatercircuit teneinde ontgassing en luchtintrede te voorkomen;
- Het monitoren van deze druk, met daaraan gekoppeld een systeembeveiliging;
- Het voorzien van de nodige meetinrichtingen ter controle van de opgepompte volumes;
- Halfjaarlijkse grondwateranalyse in een onttrekkings- en injectiebron (voor klasse 1-inrichtingen);
- Maandelijkse peilmetingen in de meest centrale injectie- en extractiebron, alsook in de peilbuizen (voor klasse 1-inrichtingen);
- Mechanische generatie of, indien noodzakelijk én na goedkeuring van de VMM, chemische reiniging van de bronnen;
- Het stopzetten van de onttrekking wanneer injectie (tijdelijk) niet mogelijk is;
- Een maximale injectietemperatuur van 25°C.

Het aanleggen, wijzigen, verbouwen en buiten dienst stellen van een grondwaterwinning mag alleen gebeuren door een boorbedrijf, erkend volgens het VLAREL, voor de desbetreffende discipline. De lijst met erkende boorbedrijven en bedrijven waarvoor de aanvraag in behandeling is, is vrij te raadplegen via de website van de Vlaamse Milieu Maatschappij.

4 Bodemeigenschappen

Bij koude-warmte opslag wordt grondwater gebruikt om koude en warmte in de bodem op te slaan. Het grondwater doet hierbij dienst als zowel transport- als opslagmedium van de thermische energie. Ook de bodemmatrix is een belangrijk opslagmedium. De temperatuur van de bodem is immers in

evenwicht met die van het water. De verdeling van de opgeslagen energie tussen bodem en water hangt af van de totale porositeit en de dichtheid en warmtecapaciteit van de bodem in kwestie. Een typische zandlaag heeft bijvoorbeeld een porositeit van 35%, een dichtheid van 1 600 kg/m³ en een warmtecapaciteit van 2,3 MJ/m³K. De lokale hydrogeologie op de projectlocatie is dan ook bepalend voor de haalbaarheid van een KWO-installatie.

Voor de bepaling van onderstaande bodemeigenschappen wordt verwezen naar paragrafen 5.2 en 5.3.

4.1 Geologische opbouw

De geologie in Vlaanderen bestaat uit een opeenvolging van klei en zandlagen. De kleilagen worden hierbij aquitards genoemd, de zandlagen vormen de aquifers of watervoerende lagen. De aanwezigheid van een geschikte aquifer in de ondergrond is een vereiste voor de succesvolle toepassing van KWO. De watervoerende lagen kunnen opgedeeld worden in twee categorieën, vrije watervoerende lagen (freatische aquifers) en afgesloten watervoerende lagen (gespannen aquifers). Een freatische aquifer begint aan het maaiveld, een gespannen aquifer wordt bovenaan afgesloten door een slecht doorlatende laag (aquitard). In tegenstelling tot gespannen aquifers moet bij een freatische aquifer rekening worden gehouden met:

1. De aanwezigheid van een redoxgrens: de overgang tussen zuurstof/nitraathoudend grondwater en ijzerhoudend grondwater (zie paragraaf 4.3.2);
2. Mogelijke wateroverlast aan het maaiveld tijdens injectie (zie paragraaf 6.2.4).

4.2 Grondwaterstroming

Naast de geologische opbouw is ook de grondwaterstroming van belang. De regionale grondwaterstroming wordt veroorzaakt door natuurlijk voorkomende drukverschillen door infiltratie- en hoogtevariaties. Deze grondwaterstroming kan echter ook beïnvloed worden door antropogene factoren zoals grondwateronttrekking of landschapswijzigingen. Zowel de richting als de snelheid van grondwaterstroming dient in rekening te worden gebracht bij de dimensionering van de KWO-installatie. De grondwaterstromingsrichting is bepalend voor de optimale positionering van warme en koude bron(nen), waarbij deze indien mogelijk dwars op de grondwaterstromingsrichting dienen te worden geplaatst om thermische interferentie te voorkomen. Een grote grondwaterstromingssnelheid zal zorgen voor een lager thermisch rendement van de KWO door het snel afdrijven van de warme en koude zones rondom de bron(nen). De grondwaterstromingssnelheid kan worden bepaald door het grondwatergradiënt, de doorlatendheid van de aquifer en de effectieve porositeit:

$$\boldsymbol{v} = \frac{\boldsymbol{K} \times \boldsymbol{i}}{\boldsymbol{n}}$$

waarbij v: grondwaterstromingssnelheid (m/d)

K: horizontale doorlatendheid (m/d)
i: grondwatergradiënt (‰)
n: effectieve porositeit

4.3 Grondwaterkwaliteit

4.3.1 Verontreiniging

Om verplaatsing van bodem- en grondwaterverontreinigingen te vermijden, dient te worden nagegaan of in de omgeving van de projectlocatie gekende verontreinigingen aanwezig zijn. Door grondwateronttrekking en injectie kunnen verontreinigingen namelijk zowel horizontaal als verticaal worden verplaatst. Een horizontale verplaatsing is mogelijk doordat de verontreiniging tijdens onttrekking in de richting van de bronfilter wordt aangetrokken. Een verticale verplaatsing is mogelijk door het induceren van een stijghoogteverschil over een slecht doorlatende laag. Het verplaatsen van een verontreiniging is niet gewenst waardoor geen vergunning zal worden toegekend voor de KWO-installatie.

4.3.2 Redoxgrens

De redoxgrens is de overgang tussen zuurstof/nitraathoudend grondwater en ijzerhoudend grondwater. Wanneer beide types water met elkaar worden gemengd zal er ijzer(hydr)oxide neerslag worden gevormd. Deze neerslag kan ervoor zorgen dat de bronfilters verstoppen. Om dit te voorkomen, dient de bronfilter boven of onder de redoxgrens te worden aangebracht en dit op voldoende grote afstand (afhankelijk van bijvoorbeeld de te verwachten verlaging). Zo wordt vermeden dat bij onttrekking het andere grondwatertype wordt aangetrokken (zie paragraaf 6.2.3). Gezien de redoxgrens zich in de meeste gevallen slechts enkele meter diep in de verzadigde zone bevindt, betekent dit in de praktijk meestal dat de bronfilter best zo diep mogelijk in de aquifer wordt geplaatst. In freatische aquifers, wanneer er onzekerheid is met betrekking tot de positie van de redoxgrens, dienen grondwaterstalen te worden genomen op verschillende dieptes in de aquifer. Hiervoor dienen peilfilters op verschillende dieptes beschikbaar te zijn.

4.3.3 Zoet-zoutgrens

Problemen met de zoet-zout grens zijn in Vlaanderen enkel te verwachten in de kustregio. Aangezien de hoeveelheid zoet water niet mag worden verkleind door het aantrekken van zout water dient de positie van deze overgang in het risicogebied goed gekend te zijn. Gegevens over de locatie van deze overgang kunnen worden verkregen aan de hand van de verziltingskaart van het grondwater (bijv. via de Bodemverkenner van Databank Ondergrond Vlaanderen) of een EM-meting op de site. Met behulp van een grondwaterstroming- en densiteitsafhankelijk transportmodel kan de situatie vervolgens worden gesimuleerd.

4.4 Grondwatertemperatuur

Om te kunnen bepalen met welke debieten de gevraagde hoeveelheid energie kan worden geleverd, is het van belang de natuurlijke grondwatertemperatuur in het opslagpakket te kennen. Deze grondwatertemperatuur kan bepaald worden door middel van een in-situ meting van de temperatuur in een peilbuis op of in de buurt van de projectsite.

4.5 Naburige grondwaterwinningen

Bij het ontwerp van een KWO-installatie dient rekening te worden gehouden met bestaande grondwaterwinningen en KWO-installaties binnen een gebied met een straal van 1 km rond de projectlocatie. De nieuwe KWO-installatie mag de bestaande grondwaterwinningen en KWO-installaties immers niet negatief beïnvloeden. Verder is het ook voor het rendement van de nieuwe KWO-installatie noodzakelijk rekening te houden met bestaande inrichtingen. De mogelijke interactie

tussen de verschillende systemen dient dan ook te worden bepaald en indien nodig gesimuleerd door middel van een numeriek grondwaterstroming- en warmtetransportmodel.

Verder is een KWO-installatie in beschermingszones type I en II van openbare drinkwaterwinningen verboden (VLAREM II).

5 Haalbaarheidsonderzoek

5.1 Energiebehoefte gebouw

Alvorens het KWO-systeem te kunnen dimensioneren dienen eerst de hoeveelheid koude en/of warmte die wordt gevraagd door het gebouw, het piekvermogen en het temperatuurtraject van het afgiftesysteem (aanvoer/retourtemperatuur) gekend te zijn, aangezien dit de uitgangspunten zijn voor het ontwerp van het opslagsysteem. Idealiter wordt van bij het ontwerp van het ganse gebouw (incl. HVAC) reeds rekening gehouden met het gewenste systeem (KWO). Hierbij dient ook reeds te worden aangegeven welke werken door de verschillende partijen zullen worden uitgevoerd: grondwatersysteem/technische installatie als interface tussen grondwater en gebouw/gebouwafgiftesysteem.

5.1.1 Koude-warmtevraag

Vooreerst dient de koude- en warmtevraag in een gemiddeld jaar te worden vastgesteld, in combinatie met het thermische rendement van de installatie kan dan worden ingeschat hoeveel warmte en koude in een gemiddeld referentiejaar dient te worden geladen. Op basis hiervan wordt het benodigde laadvermogen berekend. Op dit niveau dient eveneens reeds een beslissing te worden genomen hoe zal worden omgegaan met niet gemiddelde winters en zomers en met piekvermogens. Mogelijkheden hier zijn om te voorzien in een back-up systeem voor bijkoeling en/of bijverwarming of overdimensionering van het KWO-systeem om de extremen (gedeeltelijk) te kunnen opvangen.

Een paar typische aandachtspunten worden hieronder aangegeven:

- In veel gevallen is het economischer niet te investeren in een installatie die het volledige piekvermogen dekt, aangezien veelal met bijvoorbeeld 50 % van het gevraagde piekvermogen 85 % of meer van de jaarlijkse energievraag kan gedekt worden. De overige 15% kan dan worden gedekt door een conventionele installatie (bijverwarming, bijkoeling).
- Aangezien met passieve koeling vanuit een KWO-installatie zeer hoge energetische rendementen kunnen gehaald worden, is het in veel gevallen aangewezen de installatie zodanig te dimensioneren dat een maximaal aandeel, zo niet 100 % van de koelvraag kan gedekt worden door passieve koeling. Zo kan bijvoorbeeld voor gebouwen waarbij de jaarlijkse warmtevraag groter is dan de koelvraag, best zoveel verwarmd worden met de warmtepomp als nodig is om voldoende koude te laden in functie van de passieve koeling. In dat geval kan het saldo aan warmte voorzien worden door een conventionele verwarming. Op die manier wordt tegelijk een energetisch en financieel zeer performante installatie voorzien, die tegelijk ook de facto zorgt voor een thermisch lange termijn evenwicht in de aquifer.

5.1.2 Vereist vermogen

Samen met het aantal equivalente vollasturen (N_{eq}) kan met het vermogen (P) de gevraagde energiehoeveelheid (E) worden berekend:

$$\boldsymbol{E_k = N_{eq,k} \times P_k}$$

$$\boldsymbol{E_w = N_{eq,w} \times P_w}$$

Om het koel- en verwarmingsvermogen te kunnen omrekenen naar de benodigde grondwaterdebieten is informatie nodig over de gevraagde en geleverde temperaturen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de verwachte onttrekkingstemperaturen. De onttrekkingstemperatuur uit een warme of koude bron zal immers afwijken van de injectietemperatuur in die bron. Door warmtegeleiding, dispersie en grondwaterstroming treden in de bodem immers thermische verliezen op. De verwachte onttrekkingstemperaturen kunnen worden gesimuleerd met een numeriek grondwaterstroming- en warmtetransportmodel (zie paragraaf 6.1.1). Voor de vermogensberekeningen wordt best uitgegaan van de verwachte onttrekkingstemperatuur op het einde van het seizoen, omdat dan de opslag aan respectievelijk warmte en koude het verst is ontladen. Bij KWO-systemen, waarbij geen hydraulische en/of thermische interacties te verwachten zijn, worden dikwijls geen dynamische simulaties uitgevoerd. Voor deze KWO-systemen dienen de grondwaterdebieten te worden berekend met de natuurlijke grondwatertemperatuur (worst-case situatie) als onttrekkingstemperatuur.

Het gewenste debiet wordt bepaald door het benodigde verwarmings- en koelvermogen en het temperatuurverschil tussen de bronnen:

$$\boldsymbol{Q = \frac{P}{C_v \times \Delta T \times \rho}}$$

waarbij Q: debiet (m^3/s)

P: vermogen (W)
C_v: soortelijke warmte van water: 4 186 J/kgK
ΔT: temperatuurverschil tussen de bronnen (K)
ρ: dichtheid van water: 1 000 kg/m^3

ofwel:

$$\boldsymbol{Q = \frac{P}{\Delta T \times 1.16}}$$

waarbij Q: debiet (m^3/u)

P: vermogen (kW)

Aangezien de haalbaarheid van een KWO-systeem in belangrijke mate afhangt van het te onttrekken debiet, is het van belang het temperatuurverschil ΔT zo groot mogelijk te maken door de retourtemperatuur bij koeling te maximaliseren en bij verwarming te minimaliseren. De maximale injectietemperatuur bij koeling is bij wet vastgelegd, namelijk 25 °C. Deze temperatuur kan alleen bereikt worden via actieve koeling door de warmtepomp bij comfortkoeling, of bij koeling van processen. Bij passieve koeling zal de maximale injectietemperatuur in de praktijk meestal beperkt blijven tot 17 à 18 °C (vloerkoeling, BKA, klimaatplafonds). Wanneer koelbatterijen worden gevoed, zullen de retourtemperaturen licht hoger liggen. De minimale injectietemperatuur bij verwarming wordt bepaald door de verdamper van de warmtepomp, en bedraagt 6°C.

5.1.3 Energiebalans

De koude-en de warmtevraag vanuit de aquifer dient in evenwicht te zijn over 2 tot 3 jaar. Een sterke onbalans kan immers leiden tot thermische kortsluiting met een negatief effect op het te behalen

rendement en een globale opwarming of afkoeling van de aquifer. De nodige meetapparatuur en energie-softwaremanagementsysteem dient hiervoor aangebracht te worden in de technische ruimte.

5.1.4 Afgiftesysteem

Een KWO-installatie heeft als grote voordeel dat ze thermische energie kan leveren aan een zeer hoog rendement. In combinatie met een warmtepomp is een COP (Coefficient of Performance) of winstfactor voor verwarming haalbaar van 4 à 6. Voor passieve koeling kan een winstfactor gehaald worden van 20 à 30 (enkel een circulatiepomp is dan nodig, en geen compressor). Deze hoge rendementen worden wel enkel gehaald bij relatief lage afgiftetemperaturen voor verwarming en relatief hoge afgiftetemperaturen voor koeling. Men spreekt van lage temperatuur verwarming (aanvoer van 35°C tot 45°C) en van hoge temperatuur koeling (aanvoer van 12°C tot 14°C). Bij het ontwerp en de installatie van de thermische afgiftesystemen in het gebouw, dient er met deze temperatuurregimes rekening gehouden te worden. Typische afgiftesystemen die te combineren zijn met KWO-installaties zijn:

- Betonkernactivering
- Vloerverwarming/-koeling
- Ventilo-convectoren
- Luchtgroepen met aangepaste batterijen
- Klimaatplafonds

Gezien de lage verwarmingstemperaturen en hoge koeltemperaturen wordt het gebruik van scheidingswisselaars ook best tot een minimum beperkt. Elke wisselaar zal de reeds lage/hoge aanvoertemperaturen nog verder beperken, zodat er uiteindelijk bij de afgiftesystemen niet meer voldoende thermisch vermogen beschikbaar zal zijn.

Het optimale energetische rendement van een KWO-installatie wordt behaald wanneer er een maximaal temperatuurverschil (ΔT) is tussen het onttrokken water en het geïnjecteerde water. Dit temperatuurverschil varieert voor goed draaiende KWO-installaties tussen de 4°C en 15°C in functie van het regime. Opdat dit maximaal temperatuurverschil in het grondwatersysteem ook effectief gehaald kan worden, dienen de retourtemperaturen vanuit het gebouw-afgiftesysteem ook zo laag mogelijk te zijn tijdens verwarming, en zo hoog mogelijk tijdens de koeling. Dit kan verwezenlijkt worden door een sturing op basis van de retourtemperaturen.

5.2 Initiële screening locatie

Om koude-warmte opslag (KWO) te kunnen toepassen dient de ondergrond op de projectlocatie over de geschikte hydrogeologische kenmerken en randvoorwaarden te beschikken (zie paragraaf 4). Een eerste screening naar het potentieel voor KWO op een bepaalde locatie kan worden uitgevoerd met behulp van de openbaar beschikbare gegevens in de Databank Ondergrond Vlaanderen (**dov.vlaanderen.be**):

- Quartair geologische kaart;
- Tertiair geologische kaart;
- Grondwatermeetnetten;
- Verziltingskaart;
- Grondwatervergunningen;

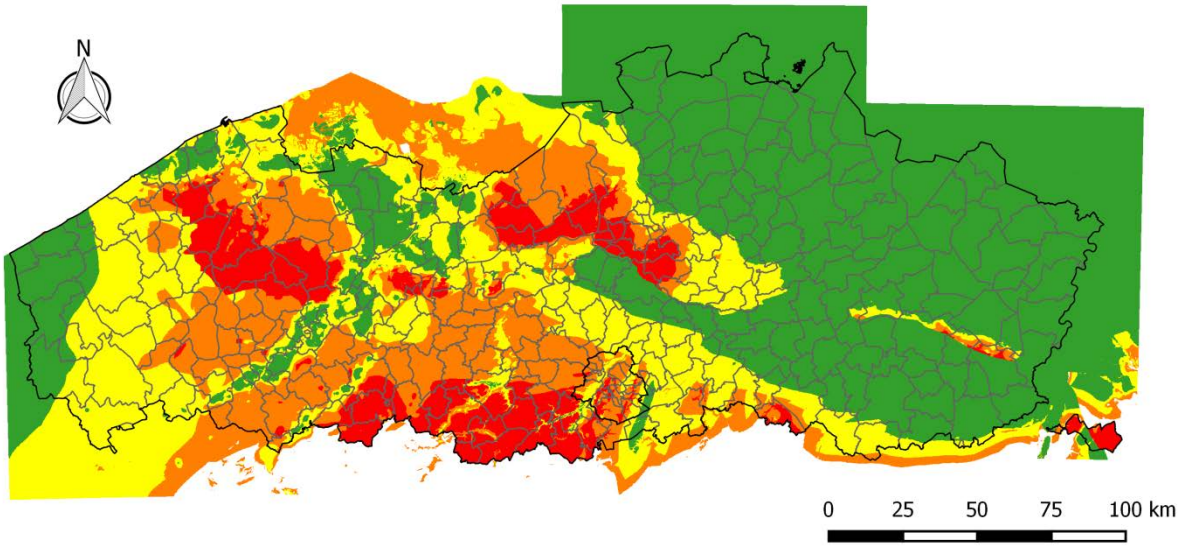
- Beschermingszones drinkwater.

De locatie van gekende bodemverontreinigingen kan worden nagegaan via het OVAM-geoloket (**services.ovam.be/geoloket**).

Naast deze gegevens zijn ook de volgende tools beschikbaar:

1. Smart Geotherm Geothermische Screeningstool (**tool.smartgeotherm.be**). Deze tool geeft voor een bepaalde locatie de bodemopbouw, de bekende hydraulische conductiviteit per watervoerende laag en het hydrodynamische karakter (freatisch, gespannen). Hiernaast geeft het ook nog de locatie van de drinkwaterbeschermingszones en de vergunningsvereisten weer.
2. Kaart met het KWO potentieel in Vlaanderen (Figuur 5). Met behulp van deze kaart kan een eerste ruwe inschatting gemaakt worden van de mogelijkheden voor KWO. De kaart werd opgesteld op basis van berekende transmissiviteiten voor de HCOV sub-eenheden. Volgende categorieën worden onderscheiden:
    - Rood: KD < 50 m²/d
    - Oranje: 50 m²/d ≤ KD < 125 m²/d
    - Geel: 125 m²/d ≤ KD < 250 m²/d
    - Groen: KD ≥ 250 m²/d

    Een ongeschikte locatie voor KWO komt eventueel wel in aanmerking voor BEO (**tool.smartgeotherm.be**).



Figuur 5: KWO potentieel in Vlaanderen; rood: KWO is niet mogelijk; oranje: KWO is misschien mogelijk, een site-specifieke studie is noodzakelijk; geel: KWO is waarschijnlijk mogelijk; groen: er is een groot potentieel voor KWO. Voor de twee laatste categorieën is er afhankelijk van de situatie een site-specifieke studie gewenst (AGT, 2015)

5.3 Uitgebreid haalbaarheidsonderzoek op de site

Een screening van de beschikbare gegevens in DOV en met behulp van beide complementaire tools zal in vele gevallen (Figuur 5, oranje zone en afhankelijk van de situatie de gele en groene zone) onvoldoende inzicht geven in het mogelijke potentieel van een bepaalde site voor KWO. In deze gevallen is een site-specifieke haalbaarheidsstudie vereist.

5.3.1 Proefboring

De eerste stap in deze haalbaarheidsstudie is het uitvoeren van een proefboring op de projectsite. De werkwijze voor het boren en uitrusten van KWO-bronnen wordt beschreven in paragraaf 7.

Wanneer er onzekerheid is met betrekking tot de positie van de redoxgrens, dient de proefboring naast een pompput met filterstelling in de te exploiteren formatie te worden uitgerust met peilfilters op verschillende niveaus. De diameter van deze peilbuizen moet hierbij staalname toelaten. Het niveau van de verschillende peilfilters wordt bepaald aan de hand van de verwachte grondwaterstand in rust en de openbaar beschikbare analysegegevens van het freatische meetnet van de VMM op de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV).

5.3.2 Bepalen lokale grondwaterstroming

Indien de richting en de snelheid van grondwaterstroming op de site onvoldoende gekend zijn na screening van de beschikbare gegevens, dienen minstens 3 peilbuizen met filterstelling in de te exploiteren aquifer te worden voorzien. Deze peilbuizen dienen op een zo groot mogelijke horizontale afstand (minimaal 10 meter) van elkaar te worden geplaatst. Met behulp van de opgemeten peilen in deze peilbuizen kan een interpolatie gemaakt worden van de grondwatergradiënt op de projectsite.

5.3.3 Pompproeven

Aansluitend op het ontwikkelen van de put (zie paragraaf 7.3) worden pompproeven uitgevoerd. Een typische pompproefcampagne bestaat uit een stappentest en een duurtest.

5.3.3.1 Stappentest

Een pompproef aan variabel debiet (step-drawdown test). Deze test loopt over 4 fasen van 1 uur pompen aan een steeds toenemend debiet. Tijdens de laatste fase dient het maximale brondebiet opgelegd te worden. Dit maximale brondebiet wordt bepaald na de bronontwikkeling door middel van de capaciteitsproef (zie paragraaf 7.3.6). Tijdens de andere fasen wordt gepompt aan ¼, ½ en ¾ van het maximale brondebiet. De bekomen verlagingen in de put dienen continu opgemeten te worden aan de hand van elektronische drukopnemers met een meetfrequentie van 1 meting per 30 seconden. De exacte pomptijden, opgepompte volumes en bijhorende debieten dienen hierbij te worden opgemeten.

5.3.3.2 Duurtest

Een pompproef aan het maximale brondebiet (constant debiet) gedurende minimaal 12 uur. De bekomen verlagingen in de bron dienen continu opgemeten te worden aan de hand van elektronische drukopnemers met een meetfrequentie van 1 meting per 30 seconden gedurende de pompfase (12 uur) en nadien tijdens de recovery-fase nogmaals gedurende minimaal 24 uur. De exacte pomptijden, opgepompte volumes en bijhorende debieten dienen hierbij te worden opgemeten.

Om de hydraulische parameters van de aquifer (hydraulische conductiviteit, berging) te bepalen worden de gegevens uit beide putproeven en de opgemeten recovery geanalyseerd door middel van analytische en/of numerieke technieken.

5.3.4 Analyse redoxparameters

Wanneer er onzekerheid is met betrekking tot de positie van de redoxgrens, dient de proefboring, zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.3.1, te worden uitgerust met peilfilters op verschillende niveaus. Na het volledig ontwikkelen van de peilfilters wordt er een staalname en analyse uitgevoerd van het grondwater uit elke peilfilter. Een wachttijd van minstens 4 weken dient te worden in acht

genomen tussen het beëindigen van de putontwikkeling en de staalname. Tijdens deze wachttijd mag er niet worden gepompt zodat de initiële grondwaterchemie maximaal kan herstellen.

Het grondwater dient door een gecertificeerd laboratorium te worden geanalyseerd op minstens volgende redoxparameters: ijzer (Fe^{III}, Fe^{II}), mangaan, nitraat en sulfaat.

6 Ontwerp van de KWO-installatie

6.1 Berekeningsmethode

Wanneer uit de plaatselijke hydrogeologische gegevens blijkt dat de projectsite geschikt is voor KWO, wordt er verder gegaan met het ontwerp van de KWO-installatie.

In volgende gevallen dient in de ontwerpfase een numerieke hydraulische en thermische modellering te worden uitgevoerd:

- Een mogelijke interactie met nabije grondwatergebruikers (KWO-systemen, grondwaterwinningen, …);
- Een KWO-systeem met meerdere bronnenparen, waarbij de warme bronnen enerzijds en/of de koude bronnen anderzijds niet in de richting van de grondwaterstroming kunnen worden geplaatst;
- Wanneer er een risico op vernatting bestaat.

Met behulp van deze simulaties kan het aantal, de opbouw, de optimale positie en tussenafstand van de KWO-bronnen alsook het benodigde debiet om aan een vooropgesteld vermogen te komen nauwkeurig worden berekend.

Voor KWO-systemen waarbij geen hydraulische en/of thermische interacties te verwachten zijn, is een numerieke simulatie niet noodzakelijk. De tussenafstand tussen de warme en de koude bron(nen) wordt hierbij bepaald door middel van de thermische straal.

In eerste instantie dient het ontwerp van het KWO-systeem rekening te houden met de hydraulische parameters (doorlatendheid, dikte, berging) van het opslagpakket. Naast deze hydraulische parameters zijn verder ook de grondwatergradiënt en de thermische parameters van de ondergrond van belang.

6.1.1 Numerieke modellering

Voor een correcte dimensionering van complexe KWO-systemen dient een grondwaterstromings- en warmtetransportmodel te worden opgesteld. De grondwaterstroming kan bijvoorbeeld worden gesimuleerd met het model MODFLOW. Het warmtetransport kan bijvoorbeeld worden gesimuleerd met het model MT3DMS. In de modellen dienen naast de hydraulische parameters eveneens de grondwatergradiënt en de thermische parameters van de ondergrond worden opgenomen. De grondwatergradiënt, de warmtecapaciteit van de bodem, warmtegeleiding en dispersie zijn immers bepalend voor het warmtetransport in de bodem en voor de optredende thermische verliezen.

6.1.2 Thermische straal

Bij eenvoudige KWO-systemen wordt de minimale afstand tussen de warme en de koude bron bepaald door middel van de thermische straal. Voor een KWO-systeem in evenwicht geldt dat een bronafstand van 3 keer de thermische straal dient te worden aangehouden. De thermische straal is de afstand in de aquifer vanaf de injectiebron tot waar de temperatuur beïnvloed wordt als er geen verliezen naar de omgeving zouden zijn.

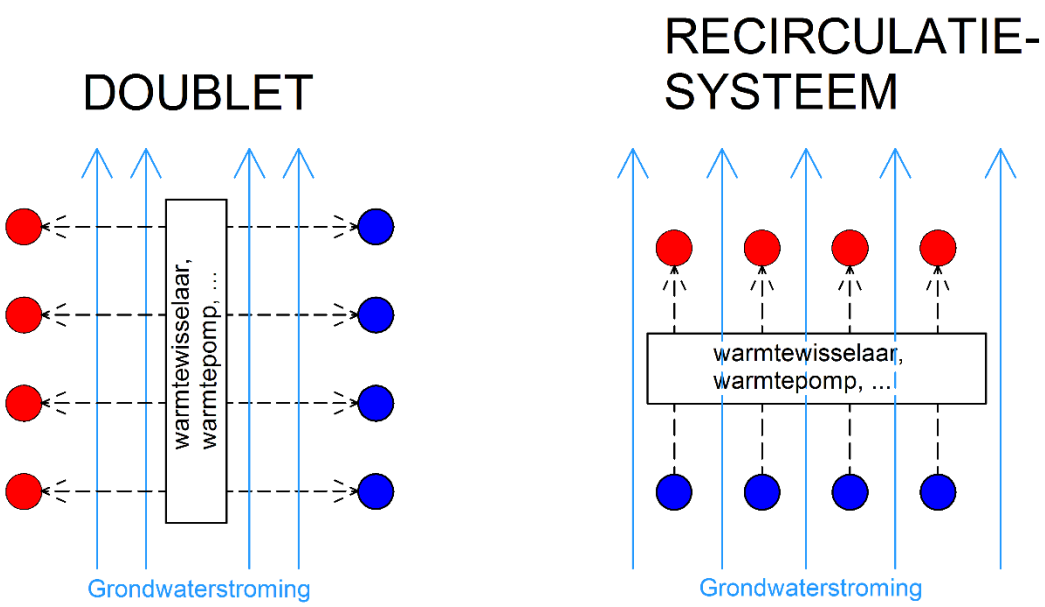
$$r_{th} = \sqrt{\frac{c_w \times V}{c_a \times H \times \pi}}$$

Waarbij r_{th}: thermische straal (m)
c_w: warmtecapaciteit water (J/m³K)
c_a: warmtecapaciteit aquifer (J/m³K) = n x c_w + (1 - n) x c_g
n: totale porositeit (-)
c_g: warmtecapaciteit gesteente (J/m³K)
V: geïnjecteerd volume water per seizoen (m³)
H: effectieve dikte van de warme of koude bel in de ondergrond (m). In de praktijk ligt deze waarde tussen de effectieve filterlengte en de dikte van de aquifer. Om conservatief te rekenen wordt in berekeningen gekozen voor de filterlengte.

6.2 Bronnen

6.2.1 Opstelling bronnen

Bij een koude-warmte opslagsysteem worden de koude en de warme bron(nen) ten opzichte van de grondwaterstromingsrichting naast elkaar geplaatst. De (denkbeeldige) lijn tussen de koude en warme bron(nen) staat hierbij loodrecht op de stromingsrichting. Deze opstelling garandeert een minimale thermische interferentie tussen de warme en koude bronnen. Bij een recirculatiesysteem is de natuurlijke grondwatertemperatuur gewenst. Daarom wordt de onttrekkingsbron bij voorkeur bovenstrooms van de infiltratiebron geplaatst.



Figuur 6. Schematische voorstelling van de optimale opstelling van de bronnen ten opzichte van de richting van de grondwaterstroming voor doublet- en recirculatiesystemen.

6.2.2 Aantal bronnen

6.2.2.1 Debiet

Het maximale onttrekkings- en injectiedebiet is afhankelijk van het maximaal te leveren koel- en/of verwarmingsvermogen (zie paragraaf 4.1). Het benodigde debiet kan indien nodig uiteraard worden verdeeld over meerdere koude en warme bronnen.

6.2.2.2 Bronontwerp

Het bronontwerp wordt gestuurd door de maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand. Deze maximale snelheid wordt bepaald door het maximale debiet, de doorlatendheid (K), de belasting-duurcurve, de verstoppingspotentie van het grondwater en de dikte van de aquifer.

De infiltratiebronnen worden gedimensioneerd met behulp van volgende ontwerpnorm (IFtechnology, 2001):

$$\boldsymbol{v_{ontw} = 1000 \times \frac{K}{150}^{0.6} \times \sqrt{\frac{v_v}{2 \times MFI \times u_{eq}}}}$$

waarbij v_{ontw}: ontwerpsnelheid op de boorgatwand (m/u)
K: doorlatendheid van de aquifer (m/d)
v_v: specifieke verstoppingssnelheid (m/j)
MFI: Membraan Filter Index
u_{eq}: aantal equivalente vollasturen (u) per jaar

Als standaard toegelaten verstoppingssnelheid wordt een waarde van 1 m/j aangenomen.

De onttrekkingsbronnen worden gedimensioneerd aan de hand van volgende norm (formule van Sichardt):

$$\boldsymbol{v_{ontw} = \frac{\sqrt{K}}{15}}$$

waarbij v_{ontw}: ontwerpsnelheid op de boorgatwand (m/s)
K: doorlatendheid van de aquifer (m/s)

Een andere belangrijke parameter in het bronontwerp is de injectiedruk. De injectiedruk is de druk die nodig is om water in een bron te injecteren. De stijghoogteverandering die hierdoor optreedt dient te worden beperkt om schade aan de bron te voorkomen. Het geïnjecteerde water dient daarom horizontaal in de aquifer te stromen.

Wanneer de bron verstopt, zal het waterniveau in de bron stijgen. Bij te grote druktoename zal de bodem uiteindelijk opbarsten. Hierbij wordt de grondmechanische toestand van de bodem zodanig verstoord dat het geïnfiltreerde water via scheuren in verticale richting langs de bron (omstorting) en in de buurt van de bron omhoogkomt. De bron is hiermee onderloops geworden. Deze onderloopsheid kan worden voorkomen door de injectiedruk te beperken. De druk van het korrelskelet dient hierbij steeds hoger te zijn dan de waterspanning.

De spanningen in de bodem zijn niet in alle richtingen gelijk. In ongeconsolideerde sedimenten (zand, klei) is de horizontale spanning de kleinste. Het verhogen van de waterspanning in de aquifer bij injectie kan de horizontale korrelspanning tot nul reduceren. De bodem wordt instabiel, wat zich uit in verticale richting (loodrecht op de laagste korrelspanning) en waarbij de bodem van de bron wordt weggedrukt. Om de maximaal toelaatbare stijghoogteverandering te bepalen dient de horizontale korrelspanning op het meest kritische punt, de bovenzijde van de filteromstorting of de onderzijde van de scheidende laag, gekend te zijn. Deze horizontale korrelspanning kan worden berekend met de wet van Mohr-Coulomb. Als vuistregel geldt dat de injectiedruk (m H_2O) maximaal gelijk mag zijn aan een vijfde van de diepte van de top van de bronfilter. De maximaal toelaatbare stijghoogteverandering is met andere woorden één vijfde van de diepte van de filter. Deze vuistregel is enkel van toepassing op formaties die tot aan het maaiveld zijn opgebouwd uit sediment met een dichtheid van ca. 2 000 kg/m³. In andere omstandigheden dient de korrelspanning te worden berekend.

Omdat bronverstopping meestal optreedt op de boorgatwand, zal de druk voornamelijk worden uitgeoefend op de omstorting boven de bronfilter. Het risico op onderloopsheid kan hierdoor worden verkleind door het gebruik van een verzwaarde omstorting, bijvoorbeeld door cementeren van de annulaire ruimte (zie paragraaf 7.2.2.4).

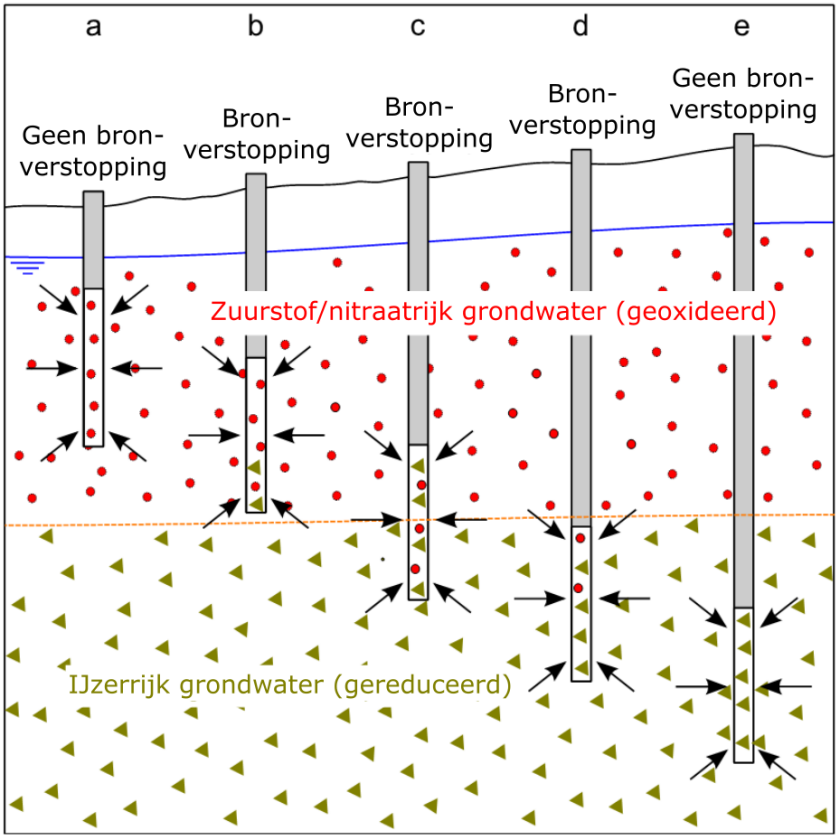
In volgende gevallen is er een groter risico op onderloopsheid van injectiebronnen: bronfilters op geringe diepte, grote injectiedebieten, een aquifer met lage doorlatendheid, grote afstand tussen de koude en de warme bron(nen).

De meest voorkomende oorzaken van bronverstopping zijn gesuspendeerde deeltjes in het grondwater, gasvorming en chemisch/biologische neerslagvorming door het mengen van verschillende watertypes.

In paragraaf 7 worden de verschillende stappen in de uitvoering van de bronnen toegelicht: boring, installatie en ontwikkeling.

6.2.3 Brondiameter en filterlengte

Op basis van de onttrekkings- en infiltratienorm (zie paragraaf 6.2.2.2) wordt de brondiameter en de filterlengte bepaald. Verder dient rekening te worden gehouden met de dikte van het watervoerende pakket en de gewenste vorm van de warme en koude bel(len). Bij dunne afgesloten aquifers zal dikwijls de volledige dikte van het watervoerende pakket worden benut, met een filterlengte gelijk aan de dikte van de aquifer. Bij dikke aquifers wordt niet altijd de volledige aquifer benut. Dit hangt namelijk af van het gewenste debiet en de gewenste vorm van de koude en warme bel(len). In aquifers met een grote grondwaterstroming dient immers geopteerd te worden voor lage, maar lateraal uitgestrekte bellen om de thermische verliezen door het afdrijven van warmte/koude te verkleinen. In freatische aquifers hangt de filterlengte en filterpositie af van het voorkomen van de redoxgrens (Figuur 7).



Figuur 7: Het risico tot putverstopping door ijzer(hydr)oxiden is afhankelijk van de positie van de bronfilters ten opzichte van de redoxgrens (naar Possemiers et al. 2016).

6.2.4 Hydrologische effecten, injectiedruk en zettingen

Door het KWO-systeem zal grondwater worden onttrokken en geïnfiltreerd. Hierdoor zullen stijghoogteveranderingen en stromingsveranderingen optreden. Deze veranderingen hebben een mogelijke invloed aan het maaiveld.

Rond de injectiebron zal de stijghoogte toenemen. De mate van toename zal afhankelijk zijn van het debiet en van de doorlatendheid van de aquifer. Bij een grote doorlatendheid zal de toename minder groot zijn dan bij lage doorlatendheid. Bij een freatische aquifer zal bij een te grote toename wateroverlast aan het maaiveld optreden (vernatting). De invloed aan het maaiveld kan echter sterk beperkt worden door de filterstelling zo diep mogelijk te voorzien. Door de verticale weerstand in de aquifer zal de stijghoogteverandering daardoor minder uitgesproken zijn aan het maaiveld. Bij afgesloten aquifers zal een te grote druktoename de bodem ter hoogte van de injectiebron(nen) doen opbarsten.

Rond de onttrekkingsbron zal de stijghoogte afnemen. Bij een freatische aquifer kan dit leiden tot verdroging en veranderingen in de omvang van de kwel in bijvoorbeeld naburige natuurgebieden. In een weinig draagkrachtige bodem (bijvoorbeeld bij aanwezigheid van veen) kan deze stijghoogteverlaging aanleiding geven tot ongewenste zettingen.

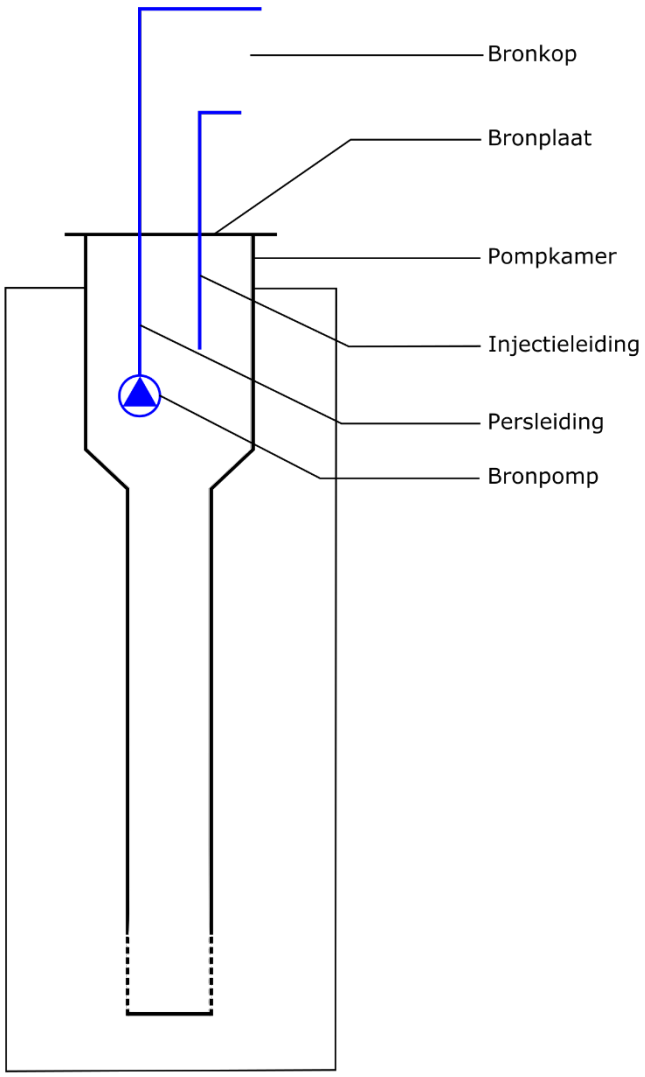
Het is dus belangrijk om met behulp van een grondwaterstromingsmodel de stijghoogteveranderingen te bepalen. Eventuele zettingen kunnen vervolgens aan de hand van sondeergegevens en met behulp van de formule van Terzaghi worden berekend.

6.2.5 Temperatuursverloop

Naast inzicht in het thermisch rendement kan met behulp van de thermische simulaties ook inzicht worden verkregen in het temperatuursverloop van de bronnen. Het is hierbij van belang dat de onttrekkingstemperatuur (in combinatie met het debiet) voldoet aan de wensen van de gebruiker. Zo dient in acht te worden genomen dat de onttrekkingstemperaturen steeds tussen de gemiddelde infiltratietemperatuur en de natuurlijke temperatuur zullen liggen, dit indien er geen thermische interferentie is tussen de koude en de warme bronnen. Het ontwerp van de KWO-installatie dient dan ook rekening te houden met deze temperatuursverandering.

6.3 Componenten

De verschillende componenten van een pompput/bron worden schematisch weergegeven in Figuur 8. Deze componenten worden verder besproken in volgende paragrafen.



Figuur 8: Aanduiding verschillende componenten van een pompput/bron.

6.3.1 Drukhandhaving

De ontgassingsdruk is de druk waarbij het grondwater bij een bepaalde grondwatertemperatuur zal ontgassen. Ontgassing van het grondwater kan leiden tot verstopping van de bronnen en corrosie van de broncomponenten en is daarom ongewenst. Ontgassing kan worden voorkomen door het systeem op een druk te houden die hoger is dan de ontgassingsdruk (minimum systeemdruk). Door het systeem onder druk te houden is daarnaast ook de toetreding van zuurstof in het systeem uitgesloten. Toetreding van zuurstof kan namelijk ijzer(hydr)oxideneerslag veroorzaken. Het systeem kan onder druk worden gehouden door het gebruik van regelafsluiters, zelfregelende injectieventielen en/of injectieleidingen.

Na het beëindigen van koude- of warmtelevering wordt het systeem op druk gebracht met de actieve bronpomp. Vanuit een rustsituatie worden de koude bron en de warme bron alternerend gebruikt om het systeem in geval van te lage druk, terug op druk te brengen. Het maximaal aantal drukhandhavingen dat mag worden uitgevoerd binnen een tijdspanne van 24 u wordt beperkt tot een vooraf ingesteld aantal. Indien dit aantal overschreden wordt, dan wordt de installatie uit bedrijf genomen (storing), ook wanneer de gewenste druk niet bereikt wordt binnen een tijdspanne van 5 minuten, wordt de installatie uit bedrijf genomen.

6.3.2 Bronpomp

De bronpomp staat in voor het verplaatsen van het grondwater van de onttrekkingsbron naar de injectiebron. Voor koude-warmteopslagsystemen wordt steeds een onderwaterpomp gebruikt.

Bij het selecteren van de bronpomp moet de opvoerhoogte bij het minimale en maximale gewenste debiet worden berekend. De opvoerhoogte van een bronpomp bestaat uit de statische opvoerhoogte en de weerstandshoogte. De statische opvoerhoogte is gelijk aan het stijghoogteverschil tussen de onttrekkingsbron en de injectiebron. Bij doorstroming van de verschillende systeemonderdelen treedt er telkens een karakteristiek, debietsafhankelijk drukverlies op. Deze drukverliezen zijn op te vragen bij de leverancier(s) van de verschillende onderdelen. De som van alle drukverliezen vormt de weerstandshoogte.

Bij het ontwerp van het systeem moet verder berekend worden op welk punt de laagste druk heerst. Bij het dimensioneren moet bewaakt worden dat de druk op dit punt hoger is dan de ontgassingsdruk (zie paragraaf 6.3.1).

Bij kleine KWO-systemen wordt meestal gewerkt aan een vast debiet. Bij grotere systemen wordt het debiet van de bronpomp geregeld met een frequentieregelaar. De bronpomp is verder bestand tegen de lokale grondwaterkwaliteit. Voor het bepalen van de pompdiepte moet rekening worden gehouden met de optredende verlaging bij onttrekking van het maximale debiet.

De pomp is voorzien van een terugslagklep zodat het systeem onder druk blijft na uitschakeling van de bronpomp.

6.3.3 Persleiding

De persleiding vormt de verbinding tussen de bronpomp en de bronkop. De diameter wordt bepaald door de bronpomp, de maximale stroomsnelheid en het drukverlies. In de putbehuizing wordt een verbinding gemaakt tussen de persleiding en de transportleiding. Indien de bronpomp niet voorzien is van een terugslagklep dient de persleiding hiervan voorzien te zijn.

6.3.4 Injectieleiding

Met een injectieleiding wordt het grondwater in de bron geïnfiltreerd. De injectieleiding is eveneens verbonden met de transportleiding. De afstand tussen de uitstroom van de injectieleiding en de laagste grondwaterstand dient steeds groter te zijn dan de hoogte van de waterkolom die overeenkomt met de ontgassingsdruk.

6.3.5 Transportleiding

Opdat het water in de leidingen in de winter niet gaat bevriezen, bedraagt de minimale gronddekking voor ondergrondse transportleidingen 1 m. Verder dienen deze leidingen beschermd te worden tegen externe mechanische belasting. Het aantal bochten en hoogteverspringingen dient tenslotte zo beperkt mogelijk te worden gehouden, teneinde drukverliezen te beperken (zie paragraaf 6.3.2).

6.4 Technische ruimte

De technische ruimte vormt de interface tussen het grondwatercircuit en het gebouwcircuit. De technische ruimte bevindt zich bij voorkeur zo laag mogelijk ten opzichte van het maaiveld (kelder of gelijkvloers). Voorbeeld principeschema's voor het grondwatersysteem en het grondwatersysteem + de warmtepomp worden bijgevoegd in bijlage.

6.4.1 Warmtewisselaar

De technische ruimte herbergt onder andere de warmtewisselaar die de warmte uitwisseling tussen gebouw en grondwater zal verzorgen. Gezien de lage temperaturen en kleine temperatuurverschillen (ΔT) waar bij KWO-systemen met gewerkt wordt is een platenwarmtewisselaar het meest geschikt. Dit type warmtewisselaar garandeert een goede warmteoverdracht, flexibiliteit en een groot zelfreinigend vermogen.

Het leidingsysteem met grondwater dient continu in overdruk te zijn ten opzichte van het gebouwsysteem, tenzij er wordt gebruikgemaakt van een dubbele warmtewisselaar. Een dubbele warmtewisselaar wordt gebruikt wanneer het te veel energie kost om het grondwatercircuit op een hogere druk te houden dan het gebouwcircuit, zoals bijvoorbeeld bij hoge gebouwen of grote debieten.

De warmtewisselaar dient bestand te zijn tegen het medium in het gebouwcircuit, de lokale grondwaterkwaliteit en de maximale systeemdrukken.

6.4.2 Expansievat

Het expansievat zorgt ervoor dat de druk in het systeem gehandhaafd blijft. Dit voorkomt dat de pomp voortdurend dient ingeschakeld te worden om het systeem op druk te houden bij kleine lekkages en vangt de drukpieken op die optreden bij aan- en uitschakelen van de bronpompen.

6.4.3 Omkeerkleppen

De omkeerkleppen zorgen ervoor dat de stromingsrichting in het gebouwsysteem of grondwatersysteem omgedraaid kan worden. De stromingsrichting in het grondwatercircuit wordt immers per seizoen omgedraaid en de warmtewisselaar dient steeds in tegenstroom te staan.

6.4.4 Onderhoudsvoorziening

Voor periodiek onderhoud van de bronnen dient een spuivoorziening te worden geïmplementeerd. Tijdens het spuien worden de bronnen en het leidingwerk schoongespoeld. Het spuien dient te gebeuren indien de bronkwaliteit daalt beneden een vastgelegde instelbare grens, bijvoorbeeld 20%

bijkomende grondwaterverlaging bij vollastdebiet ten opzichte van de inbedrijfstelling van het systeem, of nadat het systeem een bepaalde periode gewerkt heeft (bijv. halfjaarlijks bij het omschakelen van voornamelijk verwarmen naar voornamelijk koelen en omgekeerd). De bronkwaliteit wordt hiertoe permanent gemonitord. Tijdens het spuien wordt grondwater met een hoog debiet uit een bron onttrokken en afgevoerd naar de riolering of naar het oppervlaktewater. Het systeem blijft tijdens deze actie evenwel op een druk hoger dan de minimale systeemdruk en dit ongeacht met welke bron er gespuid wordt. Het spuien wordt uitgevoerd wanneer de installatie uit bedrijf kan worden genomen. Het spuidebiet is minstens gelijk aan het maximale brondebiet. De spuiduur kan variabel worden ingesteld. Het spuien van beide bronnen dient te kunnen gebeuren vanuit het beheersysteem.

6.4.5 Regeling

Het KWO-systeem kan geregeld worden op druk, temperatuur en debiet door het aansturen van een frequentiegeregelde bronpomp opdat de koude-/warmtelevering voldoet aan de door de afnemer gewenste waarde. Naast het aansturen van het systeem staat de regeling ook in voor de beveiliging en registratie.

6.4.5.1 Aansturing systeem

De regeling zorgt voor de communicatie tussen het grondwatersysteem en het gebouwsysteem, waarbij de vraag voor warmte of koude afkomstig is van het gebouwsysteem.

Er zijn verschillende types van regeling mogelijk:

- Vast debiet
    - Gedimensioneerde injectieleiding met klep in de putbehuizing
- Variabel debiet
    - Stappen regeling met gedimensioneerde injectieleidingen
    - Continu regeling met gedimensioneerde injectieleidingen
    - Continu regeling met een zelfregelend injectieventiel in de putbehuizing
    - Continu regeling met een zelfregelend injectieventiel in de pompkamer

Tenslotte zorgt de regeling voor het op peil houden van de druk in het grondwatercircuit wanneer er geen koude- of warmtevraag is.

6.4.5.2 Systeembeveiliging

Als systeembeveiliging dient een bronniveau, drukbeveiliging en flowbeveiliging te worden opgenomen. De beveiliging op bronniveau is noodzakelijk om opbarsten van de bron te voorkomen. De beveiliging op druk is nodig om ontgassing te voorkomen, de leidingen te beschermen en om eventuele lekken te detecteren. De flowbeveiliging is noodzakelijk om de bronpomp te beschermen tegen oververhitting. Als de pomp draait terwijl er geen flow is wordt deze immers onvoldoende gekoeld. Bij het aanspreken van een beveiliging dient het voor de beheerder duidelijk te zijn wat de te nemen maatregelen zijn.

6.4.5.3 Registratie

In het kader van de milieuwetgeving (VLAREM II) dienen verschillende systeemparameters te worden gemonitord:

- Opgepompte volumes

- Spuivolumes
- Maandelijkse grondwaterpeilen in (meest centrale) onttrekkingsput, (meest centrale) injectieput en de peilput(ten)
- Drukmeting op leidingsysteem
- Inwerkingtreding van de beveiliging op druk
- Temperatuur van het geïnjecteerde water

7 Bronuitvoering

7.1 Boring

Alvorens de boring aan te vangen moet de milieuvergunning verleend zijn. Daarnaast dient de uitvoerder steeds een duidelijk beeld te hebben van de uiteindelijke uitrusting van de boring, om te kunnen beslissen met welke diameter gestart wordt. Hierbij wordt een verbuizingsplan met aangepaste boordiameters opgemaakt.

7.1.1 Boortechniek

Voor het boren van bronnen voor koude-warmte opslag wordt de zuigboormethode geadviseerd. Bij deze boormethode verloopt de wateraanvoer via de annulaire ruimte en komt de vrijkomende grond omhoog door de boorstangen. Doordat het boorgruis langs de snelste weg (de boorstangen) naar boven wordt gebracht, kunnen betere grondmonsters worden genomen en is er minder kans op versmering dan bij een spoelboring. In gevallen waar de opbouw van de ondergrond goed gekend is en waar het risico op versmering beperkt is, kan de spoelboortechniek worden gebruikt. In elk geval dient de kwaliteit van de bronnen te worden gegarandeerd. Dit kan worden nagegaan door de putefficiëntie te bepalen aan de hand van de analyse van een stappentest (zie hoger). Deze dient hoger dan 90 % te zijn.

Om de boring sneller uit te kunnen voeren en om grotere dieptes te kunnen bereiken, kan gebruik gemaakt worden van een airliftsysteem. Hierbij wordt door middel van een compressor lucht geperst onder in de boorstang, boven de boor. Door toevoeging van lucht wordt de dichtheid van de vloeistofkolom verlaagd, waardoor een omhooggerichte stroming ontstaat. Het effect van airlift neemt toe met de diepte.

Het is belangrijk om tijdens het boren de opgepompte fijne deeltjes (klei, silt, veen) af te vangen in suppletiebakken om deze niet opnieuw in het open boorgat te brengen. Door de overdruk in het boorgat zullen deze deeltjes immers op de boorgatwand worden afgezet (versmering). Verder wordt aangeraden om onmiddellijk na het doorboren van een scheidende laag en na het op diepte komen minimaal 5 minuten te zuigboren (m.a.w. laten circuleren van het boorwater) zonder nieuw sediment los te boren.

7.1.2 Boorspoeling

Tijdens het boren en het plaatsen van de bron en de omstorting dient te worden voorkomen dat het boorgat invalt. De boorgatwand blijft stabiel door steeds voldoende overdruk te houden. Deze overdruk wordt ingesteld door het waterniveau in het boorgat op een hoger niveau te houden dan de grondwaterstand in de doorboorde formaties. Wanneer er onvoldoende verschil is tussen het waterniveau in het boorgat en het grondwaterpeil in de formaties, kan dit worden gecompenseerd door de boorstelling verhoogd op te stellen.

Wanneer de boorgatwand niet louter door overdruk van boorspoeling stabiel kan worden gehouden, kan er een additief aan de boorspoeling worden toegevoegd. Dit additief dient biologisch afbreekbaar te zijn. Het toevoegen van booradditieven dient zoveel mogelijk te worden vermeden en dient steeds in nauw overleg met de ontwerper van de installatie te gebeuren. Bentoniet is in geen geval

toegestaan. Het booradditief dient steeds zoveel als mogelijk te worden verwijderd bij de bronontwikkeling.

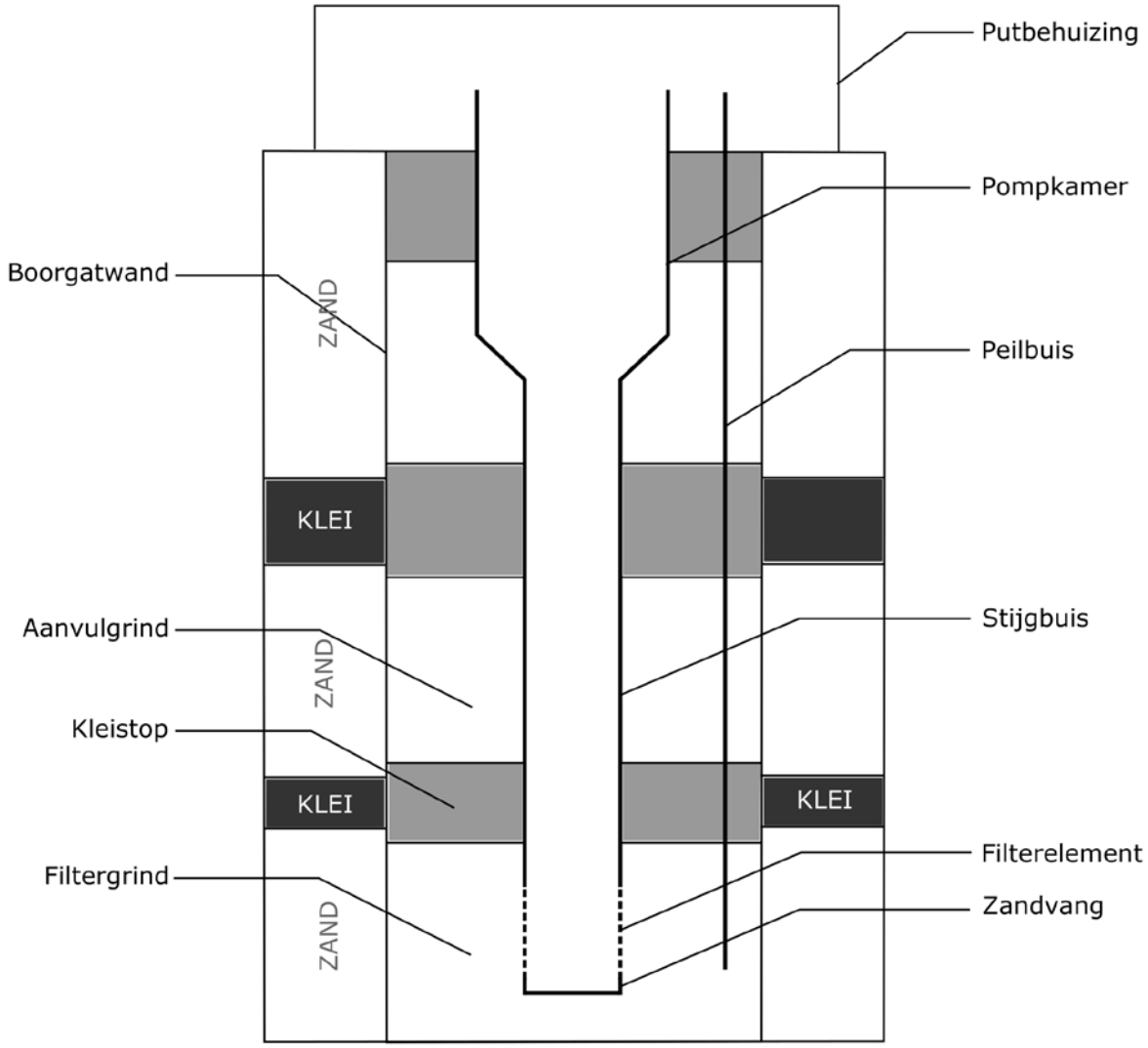
7.1.3 Bemonstering

Tijdens de boring worden op regelmatige intervallen (minimum elke 2,5 m en bij elke lithologische verandering) stalen van het opgeboorde materiaal genomen. Het bemonsteren en beschrijven dient nauwkeurig te gebeuren omdat deze gegevens de basis vormen van een goed detailontwerp van de bron. Op basis van deze gegevens wordt immers de lengte en de sleufbreedte van de bronfilter bepaald, alsook de korrelgrootte van het filtergrind, de positie van de kleistoppen, …

7.2 Installatie bronnen

7.2.1 Bronopbouw

De bronopbouw wordt schematisch weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Schematisch overzicht van de bronopbouw

7.2.1.1 Materiaal

Wanneer geen cementatie nodig is (zie paragrafen 7.2.2.4 en 7.4.1), wordt tot op vrij grote dieptes (200 à 300 m) PVC gebruikt als verbuizingsmateriaal. De specifieke voordelen van PVC zijn de gunstige prijs, de chemische inertie en het lichte gewicht.

Wanneer cementatie noodzakelijk is, gaat de voorkeur voor de te cementeren verbuizing uit naar staal. Meestal is het gebruik van PVC in deze omstandigheden af te raden, omwille van de mogelijke vervormingen die optreden als gevolg van de warmteontwikkeling bij het uitharden van het cement.

De drukklasse van de buizen dient te worden afgestemd op de diepte van de boring en de verwachte stijghoogteverlaging. PVC buizen dienen met lijm aan elkaar te worden bevestigd.

7.2.1.2 Filterelement

De bronfilter is het geperforeerde gedeelte van de bron ter hoogte van het opslagpakket. De perforatie van de filter dient hierbij 0,1 tot 0,2 mm onder de fijnste fractie van het filtergrind te zitten. De lengte van het filterelement is afhankelijk van de plaatselijke geologie. KWO-bronnen worden best voorzien van filters met horizontale sleuven. Onder een externe druk zullen de sleuven, vanwege de boogvorm van het materiaal dat de sleuven scheidt, minder vervormen dan bij verticale sleuven, waardoor vernauwing van de sleuven vermeden wordt. De filter dient aangebracht te worden met centreerbeugels, zodat deze centraal in het boorgat wordt geplaatst.

7.2.1.3 Zandvang

De zandvang bevindt zich onderaan de bron en bestaat uit een blinde buis met een lengte van minimaal 1 m. De onderkant van de zandvang is afgedicht. De zandvang dient als bezinkvoorziening onderaan de annulaire ruimte, voor en tijdens het aanstorten van het filtergrind. Fijn materiaal in de annulaire ruimte dat traag naar beneden zakt, zet zich zodoende af langsheen het blinde buiselement (zandvang), waardoor het filtergrind tot aan de onderkant van het filterelement kan sedimenteren.

7.2.1.4 Stijgbuis

Het gedeelte vanaf het maaiveld tot aan de filter is de stijgbuis. In het bovenste gedeelte van de stijgbuis wordt de onderwaterpomp opgehangen. Dit gedeelte van de stijgbuis wordt ook de pompkamer genoemd en heeft dikwijls een grotere diameter. De pompkamer wordt bovenaan lucht- en waterdicht afgesloten door de bronplaat en dient bestand te zijn tegen de drukken die optreden tijdens aanleg, beheer, bedrijfsvoering en onderhoud.

7.2.1.5 Peilbuis

In de omstorting van de bron wordt een peilbuis geplaatst. In deze peilbuis kan de stijghoogte, de grondwaterkwaliteit en de bodemtemperatuur worden opgevolgd. De peilbuis heeft een filter van minimaal 2 m ter hoogte van de bronfilter.

7.2.1.6 Putbehuizing

Om de bronnen en de toebehoren (leidingen, meet- en regelapparatuur) te beschermen wordt een putbehuizing gebouwd. Deze putbehuizing dient insijpeling van water te voorkomen en gemakkelijk toegankelijk te zijn en kan zowel bovengronds, ondergronds als gedeeltelijk bovengronds/ondergronds worden afgewerkt.

7.2.2 Omstorting

7.2.2.1 Filtergrind

De ruimte tussen de boorgatwand en filter/stijgbuis moet worden aangevuld met omstortingsmateriaal. Het aanbrengen van het omstortingsmateriaal dient te gebeuren met een stortkoker. Op deze manier wordt het aanvulmateriaal tot op de juiste diepte aangebracht zonder de boorgatwand te beschadigen.

Het filtergrind wordt rond de bronfilter aangebracht en heeft als doel te voorkomen dat aquifermateriaal in de filter terechtkomt. De korrelgrootte van het filtergrind wordt geselecteerd op basis van de korrelgrootte van de formatie (tabel 3) (Dit filtergrind dient gekalibreerd, rond en gegloeid te zijn.

Het filtergrind zal nooit de fijnste deeltjes tegenhouden. Bij de bronontwikkeling dienen deze tot op een zodanige afstand van de bron worden verwijderd zodat deze in normaal bedrijf niet meer zullen meestromen naar de bronfilter. De noodzakelijke minimumdikte van de omstorting is afhankelijk van de hoeveelheid grondwater die onttrokken zal worden. Voor peilputten volstaat een minimumdikte van 25 mm rondom. Voor productieputten is een ruimere omstorting noodzakelijk van minimaal 50 mm voor kleine winningen, maar beter is minimaal 75 mm rondom. Bij hoogproductieve putten kan de omstorting oplopen tot 300 mm. Een te dunne omstorting verhoogt de kans op zanddoorbraak in de filter, een te dikke omstorting bemoeilijkt de ontwikkeling van de bron.

Het filtergrind reikt minimaal tot 1 m boven en onder het filterelement.

Tabel 3: Relatie korrelgrootte gronddeeltjes en korrelgrootte filtergrind en sleufbreedte.

filtergrind (mm)	d30 filtergrind (mm)	d30 zand formatie (µm)
1,40 - 2,00	1,62	270
1,00 - 1,60	1,25	200
0,80 - 1,25	0,96	160
0,50 - 1,00	0,68	111
0,40 - 0,63	0,47	80

De breedte van de filterspleet dient 0.1 mm kleiner te zijn dan de kleinste fractie van het gebruikte filtergrind

7.2.2.2 Kleistop

Boven het filtergrind en ter hoogte van elke doorboorde, slecht doorlatende laag wordt een kleistop (minimaal 30% montmorrilonietgehalte) aangebracht. De afdichting reikt tot 1 m onder en boven de af te dichten laag. Bij het doorboren van dikke kleilagen moet niet noodzakelijk de ganse lengte doorheen de kleilaag afgedicht worden. In die gevallen is echter wel een onder- en bovenafdichting noodzakelijk van minimaal 5 m. Tevens moet aan het maaiveld een afdichting worden voorzien over een lengte van minimaal 2 m.

7.2.2.3 Aanvulgrind

Op plaatsen waar geen filtergrind of klei is aangebracht wordt de annulaire ruimte aangevuld met zuiver aanvulgrind. Het gebruik van aanvulgrind zorgt in vergelijking met het gebruik van het

uitgeboorde materiaal voor een beter controleerbaar proces, waardoor de aanvulling betrouwbaarder is. In de code van goede praktijk inzake grondwaterwinningen in Vlaanderen (VLAREM) staat echter enkel de aanvulling met uitgeboord materiaal vermeld. Voor de toepassing van aanvulgrind dient dus telkens een uitzondering te worden aangevraagd bij VMM.

7.2.2.4 Cementeren

Om de kans op onderloopsheid van een bron te verkleinen kan worden geopteerd voor cementatie (zie paragraaf 6.2.2). Op deze manier kan er meer gewicht worden gegeven aan de omstorting.

Na het beëindigen van de boring, het installeren van de bronnen en het plaatsen van de omstorting wordt een gedetailleerde boorstaat inclusief de filterstelling en omstortingsplan opgesteld.

7.3 Bronontwikkeling

Na het volledig inbouwen van de bron wordt een wachttijd van minimum 24 uur in acht genomen voor het uitharden van de kleistoppen vooraleer de ontwikkeling start.

7.3.1 Schoonpompen

Om de boorspoeling uit de omstorting te verwijderen dient in de eerste plaats te worden schoongepompt. Hierbij wordt initieel gestart met gering debiet en wordt dit debiet langzaam opgevoerd tot de ontwerpcapaciteit.

7.3.2 Airliften

Door perslucht in de bron aan te brengen, zullen er sterke drukschommelingen worden gecreëerd. Deze drukschommelingen zorgen ervoor dat de filterkoek zal worden gebroken.

7.3.3 Intermitterend pompen

Bij intermitterend pompen wordt de bronpomp achtereenvolgens aan- en uitgeschakeld. De pomp- en rustmomenten duren telkens enkele minuten. Door het intermitterend pompen zal de boorspoeling die tijdens het boren in de formatie terechtkwam worden verwijderd. Het intermitterend pompen gebeurt aan 150% van het ontwerpdebiet.

Het intermitterend pompen wordt aangehouden totdat zandvrij water met een MFI-waarde van 2,0 s/l² of minder bekomen wordt. De zandhoudendheid kan visueel bepaald worden d.m.v. een zandnet, of worden opgevolgd door het installeren van een Rossum zandtester.

7.3.4 Rondpompen

Bij grote onttrekkingsdebieten of indien lozing van het opgepompte water ongewenst is, kan i.p.v. intermitterend pompen de techniek van rondpompen worden toegepast. Hierbij wordt slechts over een klein gedeelte van de filterlengte (bijv. 1 m) onttrokken waarna gedurende korte tijd wordt geloosd. Nadat de vuilvracht sterk verminderd is, wordt het opgepompte water over het andere gedeelte van de filter geïnjecteerd. Vervolgens wordt opgeschoven naar de volgende sectie van de filter en wordt het proces herhaald. Op deze manier wordt het te lozen volume sterk beperkt, terwijl er een efficiënte bronontwikkeling wordt uitgevoerd door het omkeren van de stroming in de bron.

7.3.5 Cyclisch pompen/lozen gevolgd door pompen/injecteren

Alternatief aan rondpompen kan eveneens geopteerd worden voor het principe van cyclisch pompen/lozen gevolgd door pompen/injecteren. Hierbij wordt in bron A onttrokken, waarna het water gedurende korte tijd (bijv. 15 minuten) wordt geloosd tot de grootste vuilvracht verdwenen is.

Vervolgens wordt het opgepompte water uit bron A in bron B geïnjecteerd gedurende bijvoorbeeld 30 minuten. Hierna wordt het proces omgekeerd waarbij wordt onttrokken in bron B. Op deze manier wordt de stroming in de put telkens omgekeerd, wat een zeer efficiënte manier van bronontwikkeling is. Dit proces van omkering wordt herhaald totdat een aanvaardbare MFI-waarde wordt verkregen.

7.3.6 Capaciteitsproef

Nadat de bron volledig ontwikkeld is, wordt er gedurende enkele uren een pompproef uitgevoerd aan het ontwerpdebiet. Tijdens deze proef worden de stijghoogteveranderingen in de bron en eventuele peilbuizen opgemeten zodat de capaciteit van de bron nagegaan kan worden.

De bron dient zodanig ontwikkeld te worden dat ze geschikt is voor het langdurig onttrekken en infiltreren van grondwater aan het ontwerpdebiet.

7.3.7 Staalname en analyse

Na het volledig ontwikkelen van de productieputten wordt er een staalname en analyse uitgevoerd van het grondwater uit elke productieput door een hiertoe erkend laboratorium. Een wachttijd van minstens 1 week dient te worden in acht genomen tussen het beëindigen van de putontwikkeling en de staalname. De te analyseren parameters zijn conform de bepalingen in de sectorale voorwaarden van VLAREM II:

Art. 5.53.4.5 §1
Alvorens met het oppompen van grondwater te starten, laat de exploitant het grondwater uit elke productieput en/of andere opvanginstallatie bemonsteren en analyseren door een erkend laboratorium, in de discipline water, deeldomein grondwater als vermeld in artikel 6, 5°, a), van het VLAREL. Ten minste de volgende parameters worden bepaald:

1° de anionen : SO4--, NO2-, NO3-, Cl-, PO4---, CO3-, OH-, HCO3, F-, allemaal uitgedrukt in mg/l;
2° de kationen: Ca++, K+, Na+, Mg++, NH4+, Mn++, Fe++, Fe+++, allemaal uitgedrukt in mg/l;
3° de zuurtegraad (pH) in pH-eenheid;
4° de temperatuur in °C;
5° de elektrische geleidbaarheid in µS/cm bij 20 °C;
6° de totale hardheid in °F;
7° het zuurstofgehalte in mg/l;
8° de alkaliniteit ten opzichte van methyloranje in °F;
9° de alkaliniteit ten opzichte van fenolftaleïne in °F.

De ionenbalans van de analyse dient in evenwicht te zijn. Tijdens de staalname en analyse van het grondwater door het erkende labo (conform WAC/I/A/003) dient de evolutie van de nodige veldparameters te worden gemonitord (pH, geleidbaarheid, opgeloste zuurstof en redoxpotentiaal).

7.3.8 Opmeten van de putten

Na het aanleggen van de putten dienen deze topografisch te worden ingemeten (XYZ). De coördinaten van het bronnenpaar en de hoogteligging (mTAW) worden bepaald en gerapporteerd.

7.4 Boren in vaste formaties

De hierboven beschreven werkwijze geldt voor het boren in losse sedimenten zoals zand en klei. Voor het boren in vaste formaties, zoals bijvoorbeeld krijt, wijkt de werkwijze enigszins af.

7.4.1 Boring en verbuizing

Eerst dient geboord te worden tot ca. 3 m in de top van het vaste gesteente. Hierna wordt een stalen casing geplaatst en volledig onder druk van onder naar boven en van binnenuit gecementeerd. Samenstelling cementslurry: 60 l water, 100 kg portlandcement, 5 kg bentonietpoeder. Na voldoende uitharden van deze cementering (minimaal 24 u) wordt er verder geboord in het verbuisde boorgat tot op de einddiepte. De verbuizing dient ca. 3 m tot in de vaste formatie te reiken om een goede afdichting tussen vaste en losse formaties te verzekeren. De top van vaste formaties is namelijk dikwijls gespleten waardoor cementering bovenop dat gesteente geen goede afdichting garandeert, met mogelijk verzanding van de bron tot gevolg.

Indien de formatie voldoende stabiel is, wordt geen PVC-filterelement ingebouwd. Het filtrerend gedeelte bestaat uit het open boorgat in het vaste gesteente tot de geboorde einddiepte.

7.4.2 Verzuring

Specifiek voor Ca-rijke gesteenten (krijt, kalksteen) wordt er op de proefput initieel gedurende enkele uren gepompt aan het ontwerpdebiet. Tijdens deze afpomping wordt de grondwaterverlaging opgemeten. Wanneer deze grondwaterverlaging te groot blijkt, wordt de bron verzuurd om de capaciteit te verhogen. Door toepassing van zuur zal immers een gedeelte van het Ca-rijke gesteente oplossen waardoor de spleten in het gesteente groter worden en het grondwater gemakkelijker kan toestromen.

Vooreerst wordt de zuuroplossing geïnjecteerd door middel van een zuurbestendige pomp en aangepaste injectieleiding tot beneden in de bronfilter. Het aanbrengen van het zuur gebeurt hierbij sectiegewijs. De geïnjecteerde zuuroplossing is een concentratie van HCl, 18° Baumé. De geïnjecteerde hoeveelheid komt overeen met het volume van het filterelement. Door de reactie van het zuur ontstaat er gasontwikkeling die soms tot het maaiveld opspat. Om veiligheidsredenen dient daarom een dichte putkop te worden gebruikt, voorzien van een manometer en afsluiter om de drukopbouw te kunnen controleren. Er wordt een inwerkingstijd voorzien van minimaal 24 u. Tenslotte wordt het zuur opnieuw opgepompt tot de oorspronkelijke pH van het water (voor verzuring) wordt bereikt. Het opgepompte water wordt over een kalkbad geleid en conform de geldende milieuregelgeving geloosd. Na de verzuring wordt de put verder ontwikkeld zoals hierboven omschreven (intermitterend pompen).

7.4.3 Flowtest

In de ontwikkelde put dient tijdens afpomping een flowtest te worden uitgevoerd. Op deze manier kan worden bepaald welk gedeelte van het open boorgat het meest watervoerend is. Aangezien het watervoerende karakter van vaste gesteenten afhangt van de aanwezigheid van barsten, kan de instroom van grondwater namelijk zeer heterogeen zijn. Voor de uitvoering van de flowtest dient de gebruikte pomp voor de ontwikkeling/pompproef een extra keer te worden in- en uitgebouwd om de flowmeter onder het niveau van de pomp te kunnen installeren en deze na het uitvoeren van de test te kunnen verwijderen. Tijdens de flowtest wordt een flowmeter (Figuur 10) in de bron neergelaten, het aantal omwentelingen van de propeller wordt gemonitord in functie van de diepte. Op basis hiervan kan een flowprofiel van de bron worden opgesteld.

Figuur 10: Flowmeter

7.4.4 Camera-inspectie

Een goede afdichting tussen vaste en losse formaties is noodzakelijk voor een goed werkende bron. Om deze afdichting te controleren dient een camera-inspectie uitgevoerd te worden. Op deze manier kan de aansluiting van de stalen casing op het vaste gesteente visueel worden gecontroleerd.

8 Opvolging en periodiek onderhoud

8.1 Regeneratie bronnen

Om de bronnen te regenereren bij een te grote drukopbouw door verstopping kan zowel mechanisch als chemisch gereinigd worden.

Als een chemische reiniging noodzakelijk is, legt de exploitant voorafgaandelijk een plan van aanpak ter goedkeuring voor aan de afdeling van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), bevoegd voor grondwater. Bij een chemische reiniging zullen door de injectie van zuur de aanwezige neerslagproducten (bijvoorbeeld ijzer(hydr)oxiden) in en rondom de bronfilter worden opgelost (verzuring, zie paragraaf 7.4.2) .

Wanneer de neerslagproducten een (gedeeltelijk) biologische oorsprong hebben, dient vervolgens te worden geopteerd voor bronbehandeling met een gechloreerde oplossing. Ook hiervoor dient de exploitant voorafgaandelijk een plan van aanpak ter goedkeuring voor te leggen aan de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Vooreerst dient de pomp te worden verwijderd, vervolgens wordt de volledige bron ontsmet door injectie van een gechloreerde oplossing, waarbij eveneens de casing en de bronkamer worden behandeld. Na injectie wordt er 24 uur gewacht om de gechloreerde oplossing te laten inwerken. Alvorens de pomp opnieuw in te bouwen worden de pomp en het leidingwerk ontsmet. Tenslotte wordt de bron na inwerking opnieuw zuiver gepompt tot er geen chloorgeur meer wordt waargenomen.

8.2 Algemeen onderhoud

De KWO-installaties met een opgepompt debiet kleiner dan 30 000 m³/jaar (vergunning klasse 2) dienen minimaal vijfjaarlijks te worden nagekeken en onderhouden door een deskundige. De KWO-installaties met een opgepompt debiet van tenminste 30 000 m³/jaar dienen minimaal tweejaarlijks te worden nagekeken en onderhouden door een deskundige ter zake. Hierbij worden het systeem, de putten en de beveiliging op hun correcte werking nagekeken, alsook de registers van de debieten alsook de peilen en grondwateranalyses. Eveneens worden alle uitgevoerde of nog uit te voeren werkzaamheden beschreven. De exploitant houdt hiervan een verslag ter inzage van de toezichthouders.

8.3 Metingen (zie ook § 6.4.5.3)

De exploitant is verplicht om peilmetingen in het centrale bronnenpaar en de peilputten uit te voeren en te registreren.

De druk en temperatuur dienen constant te worden opgevolgd.

8.4 Staalname

In het kader van de milieuvergunning dient voor KWO-installaties met een opgepompt debiet van ten minste 30 000 m³/jaar het grondwater uit zowel een onttrekkings- als injectiebron in het voorjaar en in het najaar geanalyseerd te worden door een erkend laboratorium in de discipline water, deeldomein grondwater (VLAREL artikel 6, 5°, a)). Als er verschillende bronnenparen zijn, wordt altijd hetzelfde bronpaar opgevolgd en bij voorkeur het bronnenpaar met het grootste debiet. Ten minste volgende parameters worden bepaald:

1° de anionen : SO4--, NO2-, NO3-, Cl-, PO4---, CO3-, OH-, HCO3, F-, allemaal uitgedrukt in mg/l;
2° de kationen: Ca++, K+, Na+, Mg++, NH4+, Mn++, Fe++, Fe+++, allemaal uitgedrukt in mg/l;
3° de zuurtegraad (pH) in pH-eenheid;
4° de temperatuur in °C;
5° de elektrische geleidbaarheid in µS/cm bij 20 °C;
6° de totale hardheid in °F;
7° het zuurstofgehalte in mg/l;
8° de alkaliniteit ten opzichte van methyloranje in °F;
9° de alkaliniteit ten opzichte van fenolftaleïne in °F.

De stalen worden genomen door de noodzakelijke recipiënten (afhankelijk van het labo) te vullen aan het aftapkraantje van de bron. De gevulde recipiënten worden gekoeld bewaard en binnen de 24 uur door het labo opgehaald. De veldparameters (EC, temperatuur, pH en zuurstof) worden gemeten met behulp van meetsondes in een doorstroomcel (Figuur 11). De resultaten worden gerapporteerd aan de afdeling van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) bevoegd voor grondwater.

Figuur 11: Doorstroomcel met meetsondes

9 Buitendienststelling

Zoals bij elke grondwaterwinning dienen de bronnen van een KWO-installatie zorgvuldig buiten dienst te worden gesteld. Onzorgvuldig achtergelaten bronnen kunnen immers een grote bedreiging vormen voor de kwaliteit van het grondwater. Langs putten die niet zorgvuldig met een ondoorlatend materiaal werden opgevuld kan immers verontreinigd oppervlaktewater of freatisch grondwater rechtstreeks naar de diepe aquifers doordringen.

Elke buitendienststelling van een bron dient zowel gemeld te worden aan de buitendienst van de afdeling van de VMM bevoegd voor grondwater, in welk opdrachtgebied de bron gelegen is, als aan de vergunningverlenende overheid. Alvorens de bron definitief op te vullen, dient het opvulschema van de bron worden ter goedkeuring voorgelegd aan de afdeling van de VMM bevoegd voor grondwater.

De verplichting om bronnen op een oordeelkundige wijze op te vullen berust bij de exploitant.

Vooraleer de bron op te vullen dienen de pomp en toebehoren te worden verwijderd. Vervolgens wordt de bron opgevuld met een cementslurry die verpompbaar is, gedeeltelijk in het grindpakket kan doordringen, waterdicht is na uitharding ($K < 10^{-8}$ m/s) en niet krimpt. Volgende samenstelling beantwoordt aan deze voorwaarden: 60 l water, 100 kg portlandcement, 3 kg bentonietpoeder.

De slurry dient te worden aangebracht met een leiding die reikt tot de onderkant van de bron. Naarmate de aanvulling vordert wordt de leiding omhooggetrokken. Dit dient echter zodanig te gebeuren dat de onderkant van de leiding zich nooit boven het niveau van de slurry bevindt. Deze handelswijze is nodig om te voorkomen dat er water- of luchtinsluitingen ontstaan en om ontmenging van de cementslurry te voorkomen.

Naast de bronnen dienen eveneens de peilbuizen te worden opgevuld. Gezien de beperkte diameter van peilbuizen zal deze opvulling hier enkel gravitair kunnen gebeuren.

10 Referenties

- AGT. 2015. KWO potentieel in Vlaanderen: Kaart – Versie 3. AGTref.: 2015/C/01-1728-03 mp/jvs 09/10/15. Aartselaar. 30p.
- Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) (**dov.vlaanderen.be**)
- Drijver, B. 2010. Richtlijnen voor WKO in de praktijk. In van Oostrom, N. (ed.) Literatuurstudie Meer Met Bodemenergie, Overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom warmte- en koudeopslag, Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 253p.
- IFTechnology. 2001. Ontwerpnormen voor bronnen voor koude-/ warmteopslag. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van NOVEM, projectnummer 149.508-105.0. Arnhem.
- NVOE. 2006. NVOE-Richtlijnen Ondergrondse Energieopslag.
- OVAM-geoloket (**services.ovam.be/geoloket**)
- Possemiers, M., Huysmans, M., Anibas, C., Batelaan, O., Van Steenwinkel J. 2016. Reactive transport modeling of redox processes to assess $Fe(OH)_3$ precipitation around aquifer thermal energy storage wells in phreatic aquifers. Environmental Earth Sciences 75:648.
- Possemiers, M., Huysmans, M, Batelaan, O. 2014. Influence of Aquifer Thermal Energy Storage on groundwater quality: A review illustrated by seven case studies from Belgium. Journal of Hydrology: Regional Studies 2: 20-34.
- SIKB. 2014. Protocol 11001 – Ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen, versie 2.0. 75pp.
- Smart Geotherm Geothermische Screeningstool (**tool.smartgeotherm.be**).
- VLAREM II + bijlage(n). Besluit van de Vlaamse regering van 6 februari 1991 houdende vaststelling van het vlaams reglement betreffende de milieuvergunning
- VLAREM II + bijlagen(n). Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne.

Bijlage: Schema's technische ruimte

- Grondwatersysteem
- Grondwatersysteem + warmtepomp