

Eindrapportage

Optimal choice of Well Materials

For the Dutch Research Agenda /
Kennisagenda Aardwarmte

Ministerie van Economische Zaken en Kas als Energie-
bron
(Ministry of EA, LTO Glaskracht Nederland)

Projectnummer: E16016

Date: 27 Oktober 2016



1 Algemene projectgegevens

- Titel project – Optimal Choice of Well Materials
- Projectnummer - E16016
- Aanvangsdatum project – 4 maart 2016 (datum Kick-off)
- Looptijd project – 4 maart 2016 t/m 1 november 2016

2 Gegevens uitvoerende organisatie

- Spidron B.V. – Noorderhaven 47- 8861 AK- Harlingen
- Ir. R.H. te Gussinklo Ohmann
- Tel: +31 6 52725169 / Email: r.gussinklo@spidron.co

3 Publiekssamenvatting

Dit rapport beschrijft het onderzoek en de conclusies voor de inzet van alternatieve materialen als casing in geothermieprojecten in Nederland. Op basis van deskresearch en een marktuitleg wordt beschreven welke alternatieven mogelijk en welke voordelen of beperkingen deze hebben.

In de deskresearch zijn de kaders beschreven zoals die worden gesteld door (inter)nationale wet- en regelgeving. De kaders geven aan dat de inzet van alternatieve casing moet voldoen aan dezelfde wet en regelgeving als (traditioneel) carbon- en ook van chroomstaal. Hiervoor zijn echter nog geen normen opgesteld zoals bij stalen casing wel het geval is.

Geothermie in Nederland (en ook in het buitenland) heeft te maken met een (sterk) corrosieve en basische omgeving. Het gebruik van carbonstaal voor geothermieputten zorgt voor een verhoogd risico op productieverlies of schade door corrosie en scaling.

Ervaring met alternatieve materialen voor casing zoals (Super)Chroomstaal en composiet in de olie- en gaswinning leert dat deze materialen een bruikbaar alternatief kunnen zijn.

Spidron heeft een marktconsultatie uitgevoerd die uitwijst dat alternatieve materialen als composiet of chroomstaal –onder voorwaarden- toegepast kunnen worden in geothermie projecten. De businesscase “alternatieve casing” wijkt af van de business case voor traditionele materialen doordat hogere initiële investeringen nodig zijn. Operationele kosten zullen naar verwachting lager zijn en productie meer constant (door minder verstoring en minder onderhoud).

De marktconsultatie heeft een aantal zaken duidelijk gemaakt. In de eerste plaats zijn er een aantal aanbieders/fabrikanten van composietmaterialen die ingezet kunnen worden in de (Nederlandse) geothermie. De kosten van deze composiet casing zijn hoger dan die van traditionele carbonstaal oplossingen. Ze zijn ook hoger dan chroomstaal. Echter de eigenschappen van met name composietmaterialen geven aan dat een aanzienlijke verlaging van de operationele kosten mogelijk is. De meest belangrijke oorzaak hiervoor is de resistentie tegen een agressief-corrosieve omgeving waardoor de casing langer gebruikt kan worden. Ook is er duidelijk minder inhibitor nodig in de productie-fase (minder kosten en minder milieubelasting). De lagere interne stromingsweerstand van composiet zorgt er ook voor dat er minder energie nodig is.

Toch biedt composiet niet het antwoord op alle problemen in de geothermie. Composiet casing heeft bijvoorbeeld een beperkter temperatuurbereik dan carbon- of chroomstaal. Daarnaast moet bij het gebruik van composiet meer aandacht worden besteed aan cementering.

De business case voor composiet ten opzichte van carbon- en chroomstaal is nog niet positief. Mogelijk dat lagere installatiekosten door gebruik te maken van een lichtere boortoren nog verschil kunnen maken. Spidron adviseert daarom de mogelijkheden van een hybride ontwerp uit te werken. In dit hybride well-design zou alleen composiet worden toegepast in die gedeelten van de well waar het de meeste toegevoegde waarde heeft. In het bijgevoegde model kan de gebruiker zelf een (eenvoudige) business-case opstellen.

Daarnaast beveelt Spidron aan om praktische ervaring op te doen met een volledig (of hybride) composiet put. Deze ervaring –met name in de operationele fase- kan een nog beter inzicht geven in de operationele voordelen van de inzet van alternatieve materialen.

4 Inhoudsopgave

1	ALGEMENE PROJECTGEGEVENS.....	2
2	GEGEVENS UITVOERENDE ORGANISATIE	2
3	PUBLIEKSSAMENVATTING.....	3
4	INHOUDSOPGAVE.....	4
5	INLEIDING	6
6	WET- EN REGELGEVING/META ANALYSE	7
6.1	RELEVANTE WET- EN REGELGEVING.....	7
6.1.1	<i>Mijnbouwwetgeving.....</i>	7
6.1.2	<i>Industrierichtlijnen.....</i>	7
6.2	TECHNISCHE EISEN CASING	7
6.2.1	<i>Olie- en gaswinning</i>	8
6.2.2	<i>Aanvullingen geothermie.....</i>	8
6.3	BEPERKING LEVENSDUUR OF EFFICIENCY VAN CASING.....	8
6.3.1	<i>Corrosie.....</i>	8
6.3.2	<i>Scaling (Neerslag).....</i>	9
6.3.3	<i>Temperatuur.....</i>	10
6.3.4	<i>Erosie/Schuren (materiaal schuurt langdurig langs de casing).....</i>	10
6.3.5	<i>Invloed licht/UV</i>	10
6.4	KEUZEMOGELIJKHEDEN CASING	10
6.4.1	<i>Staal/Carbonstaal.....</i>	11
6.4.2	<i>Chroomstaal/Super Chroomstaal.....</i>	11
6.4.3	<i>Composiet.....</i>	11
7	MARKTUITVRAAG.....	12
7.1	MARKT IN KAART BRENGEN/SELECTIE POTENTIELE LEVERANCIERS.....	12
7.1.1	<i>Carbonstaal.....</i>	12
7.1.2	<i>Chroomstaal</i>	12
7.1.3	<i>Composiet.....</i>	12
7.2	METHODE.....	12
7.3	RESULTATEN	12
7.4	CONCLUSIES MARKTUITVRAAG	13
8	TECHNISCHE UITWERKING	14
8.1	INLEIDING	14
8.2	CASING EN TUBING MATEN	14
8.3	INSTALLATIE COMPOSIT CASING	14
8.4	DRUK	15
8.5	TEMPERATUUR.....	16
8.6	CONNECTIE.....	16
8.7	CHEMISCHE RESISTENTIE/CORROSIE	16
8.8	STROOMWEERSTAND	16
9	COMMERCIËLE UITWERKING.....	17
9.1	OPBOUW EN WERKING BUSINESS CASE	17
9.1.1	<i>Tabbladen</i>	17
9.1.2	<i>Invulvelden.....</i>	17



9.1.3	<i>Netto contante waarde (NCW)</i>	17
9.1.4	<i>Custom</i>	17
9.2	AANNAMES EN UITWERKINGEN	17
9.2.1	<i>Technische beperkingen</i>	17
9.2.2	<i>Afwijkend of onvolledig portfolio</i>	18
9.2.3	<i>Capex en installatie</i>	18
9.2.4	<i>OPEX – Levensduur en stroomweerstand</i>	18
9.3	CONCLUSIES	18
9.4	AANBEVELINGEN	19
10	ONTWERP TOOLING	20
11	CONCLUSIES	21
12	AANBEVELINGEN	23
13	LITERATUURLIJST	24
14	APPENDICES	25
	APPENDIX 1 – DATA DRILLING HANDBOOK	26
	APPENDIX 2 – OVERZICHT LEVERANCIERS	27
	APPENDIX 3 – WEB-SAMENVATTING	28
	APPENDIX 4 – PRODUCTINFORMATIE AKIET	29

5 Inleiding

Dit onderzoek richt zich op het toepassen van alternatieve casing bij boringen voor geothermie. Bij traditionele boringen wordt gebruik gemaakt van koolstofstaal (carbon steel). Het gebruik van koolstofstaal vindt zijn oorsprong in de petrochemische industrie.

Casing gebruikt in geothermie projecten wordt net zoals in de petrochemie blootgesteld aan zure en corrosieve omgeving. Het zuur in deze omgeving komt vrij door een lagere druk en een hogere temperatuur. Om de investeringen en het rendement van de geothermische bron te beschermen en (eventueel) te verbeteren wordt alternatieve casing onderzocht.

Dit onderzoek beschrijft de voor- en nadelen van het gebruik van de verschillende opties die kunnen worden gebruikt. De opties worden vergeleken met het traditionele carbonstaal:

- Carbonstaal/Carbonsteel (referentie)
- Chroomstaal (13Cr80, DeepDrill)
- Composiet (NOV - Fiberglass Systems / Wavin - Future Pipe Industries / Akiet Downhole Composite Pipes)

Op basis van de geldende wet- en regelgeving is geanalyseerd wordt bekeken of de alternatieven voldoen. Daarnaast zijn de eigenschappen van de alternatieven vergeleken met het referentiemateriaal (Carbonstaal). De uitwerking van de productvergelijking en ook de ontwikkelde tooling is te vinden in de hoofdstukken 7 tot en met 10.

In appendix 3 staat de web-samenvatting.

6 Wet- en regelgeving/Meta analyse

6.1 Relevante wet- en regelgeving

Bij het plaatsen en opereren van een diepe boring wordt de casing op verschillende manieren belast. De uitvoerder (operator) is daarbij ten alle tijden aansprakelijk voor het goed uitvoeren van de werkzaamheden en het gebruik van de juiste materialen (Mijnbouwbesluit, artikel 67 lid 2 (Mijnbouwbesluit, 2016)).

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de relevante regelgeving en daarbij te gebruiken richtlijnen en industrie standaarden.

6.1.1 Mijnbouwwetgeving

In de mijnbouw wetgeving wordt op twee plaatsten in gegaan op het gebruik van de casing. Centraal staat dat bij het aanleggen, gebruiken, onderhouden, repareren en buiten gebruikstellen van een put alles wordt voorkomen om schade te veroorzaken. De casing van een put dient dan ook als barriër ter voorkoming van ongecontroleerde uitstroming van vloeistoffen of gassen.

In het Mijnbouwbesluit (artikel 69) wordt dan ook o.a. geëist dat:

- Een boorgat is voorzien van een geschikte verbuizing
- Elke serie verbuizing wordt over voldoende afstand gecementeerd

In de Mijnbouwregeling (Ministerie van Economische Zaken, 22) wordt hier in meer detail in gegaan waaraan het putontwerp en dus de verbuizing in ieder geval moet voldoen. In artikel 8.3.2.2 wordt beschreven welke druktest uitgevoerd moeten worden op de drukhouden casing in een put.

Binnen de wetgeving wordt niet in detail ingegaan hoe er aan de bovenstaande wetgeving voldaan moet worden. Hier geven industrie richtlijnen meer inzicht in.

6.1.2 Industrierichtlijnen

Bij de boring van een geothermische put wordt, ondanks het afwijkende gebruik van de putten, gebruik gemaakt van technieken uit de olie- en gasindustrie. Binnen Nederland behartigt NOGEPA (Nederlandse Olie en Gas Exploitatie en Productie Associatie, 2016) de belangen van de bedrijven die olie en gas produceren. NOGEPA heeft voor haar leden richtlijnen opgesteld voor diverse activiteiten. NOGEPA-guideline 41 beschrijft de boring (well construction). In deze richtlijn staat omschreven dat de casing selectie omschreven moet worden in het Casing design.

In een casing design worden de verschillende belastingen welke op de casing plaatsvinden gedurende de levensduur van de put doorgerekend. Over de berekende belasting wordt vervolgens een veiligheidsfactor gezet. Door het vastleggen van deze belastingsmodellen worden de technische eisen van de casing vastgelegd.

Ter informatie; conform de richtlijn moet uitvoerder zelf de verschillende belastingsmodellen en veiligheidsfactoren vastleggen.

6.2 Technische eisen casing

In het vorige hoofdstuk zijn de relevante wet- en regelgeving behandeld. Materialen, traditioneel of alternatief worden dus eerst tegen dit kader getoetst. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op de ei-

genscapen van de materialen. Het referentiemateriaal, carbonstaal, vindt zijn oorsprong in de olie- en gaswinning. De specificaties voor casing en tubing in olie- en gaswinning staat beschreven in API 5C / API 5CT / ISO 11960:2004 (American Petroleum Institute, 2011). Om alternatieve materialen te kunnen vergelijken wordt gebruikt gemaakt van de uniforme beschrijving van materialen zoals deze gehanteerd wordt in 'The Data Drilling Handbook' (Gilles Gabolde, 2014) (zie appendix).

In dit document wordt °C gebruikt als eenheid voor temperatuur. Onderzoek en leveranciers gebruiken meestal K (Kelvin) als eenheid voor temperatuur ($0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$).

6.2.1 Olie- en gaswinning

Technische eisen (basis):

- Buigsterkte
- Breeksterkte
- Torsiesterkte
- Treksterke etc.
- Maximale druk
- Minimale (onder)druk
- Minimale/Maximale gebruikstemperatuur

6.2.2 Aanvullingen geothermie

Het Data Drilling Handbook geeft echter alleen een basis. Voor toepassing in de (Nederlandse) geothermie zijn aanvullende eigenschappen van belang:

- Temperatuurbereik → $120^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ (ΔT normaal 30°C)
- Druk → P_{max} bedraagt 350Bar, maar er zijn ook putten waar 250Bar voorkomt.
- Samenstelling van het geothermisch water.
- Geleidingsweerstand → In hoeverre biedt een alternatief materiaal voordelen doordat er minder wrijving plaatsvindt met het casing materiaal. Mogelijk een efficiënter transport.
- Warmtegeleiding → Hoeveel warmte wordt er tijdens transport afgestaan aan de omgeving? Kan een alternatief materiaal zorgen voor een hogere efficiëntie?

Aan de mogelijke leveranciers wordt een aantal referentieputten voorgelegd. Op basis van deze referentieputten (druk, temperatuur, diepte, chemische samenstelling) moet een leverancier de meest geschikte oplossing aanbieden (zie ook appendix met uitvraag aan leverancier). De leverancier wordt tevens gevraagd naar op te leveren over het brede portfolio zodat een referentiedatabase wordt opgebouwd voor Glaskracht Nederland.

6.3 Beperking levensduur of efficiency van casing

Deze paragraaf behandelt de verschillende bronnen die de levensduur of efficiency van de put en van de casing kunnen beïnvloeden. In de praktijk blijft dat juist de complexe samenhang tussen omgevingsfactoren een bedreiging vormt voor de levensduur of de productie van een put. In de literatuur (George V. Chilingar, 2008) worden (theoretische) oorzaken en oplossingen voor deze problematiek besproken. Dit hoofdstuk richt zich op de praktische situatie voor de Nederlandse geothermie.

6.3.1 Corrosie

Corrosie is de chemische reactie waardoor materiaal van de casing wordt aangetast. Het verschil tussen corrosie en erosie is dat corrosie een chemische reactie is en dat erosie veroorzaakt wordt door een schurende werking tussen materialen.

Hoe ontstaat corrosie?

Corrosie in geothermie ontstaat doordat de gebruikte casing wordt aangetast door CO₂ dat vrijkomt in het geïnjecteerde water en in het geothermisch water dat naar boven wordt gepompt.

Corrosie van materialen die in contact komen met vloeistof die CO₂ bevat is afhankelijk van een aantal factoren:

- Concentratie CO₂ (en andere componenten als H₂S)
- Chemische samenstelling van het water
- Operationele omstandigheden - temperatuur (T of ΔT) & druk (P of ΔP)
- Materiaal van de casing (kan de casing reageren met CO₂)

Galvanische corrosie

Galvanische corrosie treedt op wanneer aan elkaar bevestigde metalen worden blootgesteld aan een neutraal elektrolyt (pH ca. 7). Hierbij zal het metaal wat het meest links in de spanningsreeks vermeld staat versneld corroderen en het andere metaal minder snel. Twee verschillende en aan elkaar gekoppelde metalen in een elektrolyt vormen een zogenaamd galvanisch koppel, dit zal in de elektrolyt een potentiaal aannemen tussen de rustpotentialen van de beide metalen in. Voor het minst edele metaal van het koppel veroorzaakt dit versnelde corrosie als gevolg van de potentiaalverhoging, terwijl het andere, "edeler", metaal juist minder zal corroderen dankzij de potentiaalverlaging. (Wikipedia, 2016)

6.3.2 Scaling (Neerslag)

Scaling vindt plaats wanneer door een chemische reactie afzetting plaatsvindt aan de binnenzijde van de casing. De flow door de casing kan (sterk) worden verminderd door scaling. De productie (het debiet) van een put kan hierdoor worden verminderd.

1. Scaling door drukverandering → Door verandering druk (P) kan de pH (zuurgraad) van het water wijzigen.
2. Scaling door temperatuurveranderingen → Wanneer de temperatuur boven een bepaalde waarde komt (bij een constante druk (P)), dan kan er ontgassing van H₂S en CO₂ plaatsvinden. Nederlandse geothermieprojecten werken meestal in het temperatuurbereik tussen 25°C - 120°C. Onderzoek geeft aan dat de vorming van scaling (bij gelijkblijvende druk) juist in dit gebied plaatsvindt.

Door TNO is onderzoek (Wasch, 2013) gedaan naar de risico's van scaling in (Nederlandse) geothermie projecten. De conclusies uit dit onderzoek geven aan dat het risico op scaling groot is. Dit wordt veroorzaakt door het temperatuurbereik en de druk waarmee wordt gewerkt. Het onderzoek van TNO geeft aan dat mogelijk aanvullend onderzoek wenselijk is om de dynamiek verder te doorgronden, maar de kans op scaling is groot.

Aanbeveling die worden gedaan voor het voorkomen van scaling zijn:

- Gebruik van inhibitors (toevoegingen die chemische reactie voorkomen)
- Werken in het juiste drukgebied + juiste temperatuurbereik (dit is moeilijk te beïnvloeden).
- Gebruik van casing waar de scaling niet op hecht (neerslag hecht niet op de casing, maar gaat verder het systeem in en kan aan de oppervlakte er uit gefilterd worden).

Speciale aandacht is er in het voornoemde TNO rapport (paragraaf 5.8) voor radio actief materiaal. Er wordt opgemerkt dat het mogelijk is dat door reacties radioactieve materiaal (LSA) kan neerslaan door een (redox) reactie met staal.

6.3.3 Temperatuur

Geothermie draait om temperatuur. Tegelijkertijd is de werkt temperatuur van zeer grote invloed op de chemische processen. Zeker wanneer met hogere temperaturen wordt gewerkt kunnen chemische processen corrosie of scaling versnellen. Naast de bovengenoemde chemische effecten kan de operationele (of installatie) temperatuur invloed hebben op de leverduur van de casing:

- Wisselingen temperatuur - materiaal zet uit of krimpt als gevolg van temperatuurswisselingen. Dit kan invloed hebben op het totale putontwerp. Tevens zouden vermoeidheid verschijnselen kunnen optreden.
- Te lage temperatuur – Materialen kunnen in bepaalde (lage) temperatuurgebieden hun flexibiliteit verliezen en broos worden.
- Te hoge temperatuur (metaal) – Een temperatuur hoger dan gespecificeerd kan zorgen dat het materiaal van de casing in de plastische of vloeibare fase komt (smelten) en daardoor onbruikbaar wordt.
- Te hoge temperatuur (composiet) - Composiet materialen kunnen onder te hoge temperatuur desintegreren.
- Te hoge temperatuur – Chemische reacties als corrosie en scaling kunnen versneld plaatsvinden in het hogere temperatuurgebied.
- Te hoge temperatuur (levensduur verkorting)

6.3.4 Erosie/Schuren (materiaal schuurt langdurig langs de casing)

Wanneer putten langdurig in productie zijn zal de doorvoer van geothermisch water ook kunnen zorgen voor erosie. Erosie is geen chemische reactie, maar het langdurig schuren van materialen waardoor een oppervlakte kan slijten. De mate van erosie is afhankelijk van de gevoeligheid van het oppervlak van de casing en ook de samenstelling van de productievloeistoffen.

Voor de Nederlandse putten zal moeten worden bepaald welke schurende bestanddelen aanwezig zijn. Deze elementen zijn belangrijk tijdens het putontwerp (en de materiaalkeuze voor de casing).

6.3.5 Invloed licht/UV

Voor het traditioneel gebruikte staal heeft zonlicht of UV straling weinig tot geen invloed op de levensduur. Voor composietmaterialen kan dit anders zijn. Wanneer de casing in de grond zit zal hier geen probleem zijn, maar voor bijvoorbeeld opslag of transport moet hier rekening mee worden gehouden. Ook wanneer composiet gebruikt wordt voor het transport van het geothermisch water boven de grond.

6.4 Keuzemogelijkheden Casing

Carbonstaal is traditioneel de keuze in olie- en gaswinning. Ook voor de ontwikkeling van geothermie projecten is carbonstaal tot nu toe de meest voorkomende keuze. De initiële (aanschaf) kosten voor carbonstaal zullen lager zijn dan (hoogwaardiger) alternatieven. Dit onderzoek neemt ook de installatie- en operationele kosten in scope zodat de business case een reëler beeld zal geven van de te verwachten kosten op langere termijn.

Niet alleen de geothermie kijkt naar alternatieve mogelijkheden voor casing, ook in de olie- en gaswinning zijn putten ontwikkeld op basis van composiet (GRE, Glassfibre Reinforced Epoxy) casing. Een evaluatie van 70 putten in het Neuquén bassin in Argentinië leert dat het gebruik van GRE grote voordelen biedt ten opzichte van staal op het gebied van corrosie. Tegelijkertijd wordt geconcludeerd dat er tijdens de installatie meer aandacht nodig is voor het hechten van het cement. (Gustavo Adolfo Romero, 2008).

In Nederland wordt door Akiet gemeld dat composiet (bovengronds) wordt ingezet voor het transport van geothermisch water. De voordelen die composiet biedt aldus Akiet zijn de corrosiebestendigheid en de gladde oppervlaktes waardoor scaling geen kans krijgt te hechten aan de buis. (Akiet B.V. , 2016).

Om een antwoord te kunnen geven op de specifieke eisen die worden gesteld aan geothermie, of juist optimaal gebruik te kunnen maken van de omstandigheden zijn de traditionele en alternatieve materialen voor casing geïnventariseerd (op basis van deskresearch). Aan leveranciers is gevraagd een budgettaire prijs af te geven op basis van een drie referentieputten.

6.4.1 Staal/Carbonstaal

Carbonstaal is het referentiemateriaal. Dit materiaal wordt al lange tijd gebruikt in de olie- en gaswinning. Ook de meeste geothermieprojecten maken gebruik van carbonstaal. Door de grote toepassing van carbonstaal is veel kennis en ervaring beschikbaar. Daarbij zijn de materiaalkosten relatief laag.

6.4.2 Chroomstaal/Super Chroomstaal

Een alternatief voor carbonstaal is Chroomstaal (en Super Chroomstaal). Deze staalsoorten hebben een hoger percentage chroom (13%) ten opzichte van carbonstaal. Voor Super Chroomstaal geldt daarnaast dat het minder Carbon (0,2% → 0,02%), meer Nikkel (0,15% → 5%) en meer Molybdeen (0,02% → 2%) waardoor het metaal beter bestand is tegen een basisch-corrosieve omgeving. De kosten voor (Super)Chroomstaal liggen hoger dan carbonstaal, maar niet op het niveau van composiet.

6.4.3 Composiet

In olie- en gaswinning wordt (op beperkte schaal) gebruik gemaakt van composiet casing om corrosie en scalingproblemen het hoofd te kunnen bieden. Op dit moment is er weinig bekend over de toepassing van composiet casing in geothermie. De verwachting is dat de corrosie- en scalingbestendigheid van composiet grote voordelen kan bieden tijdens de levensduur van de put. De markconsultatie moet uitwijzen of composiet ook voordelen kan bieden bij de installatie (bijvoorbeeld lichtere rigs omdat het materiaal lichter is). Speciale aandacht wordt besteed aan de thermische eigenschappen van de materialen van de mogelijke leveranciers.

7 Markttuitvraag

Op basis van een markttuitvraag is een goed beeld ontstaan van de mogelijke opties die door verschillende leveranciers worden geboden. In eerste instantie is een short-list van leveranciers benaderd voor een technische oplossing voor 3 referentieputten. De leveranciers hebben per referentieput aangegeven of en onder welke condities zij een oplossing kunnen leveren. Om een goed vergelijk te kunnen maken zijn zowel het traditionele carbon staal, het hoogwaardiger Chrome staal en composietmaterialen opgenomen in het onderzoek.

7.1 Markt in kaart brengen/selectie potentiële leveranciers

Spidron heeft gebruik gemaakt van haar kennis en ervaring in de markt voor de potentiële leveranciers. Carbon- en chroomstaal kunnen door meer partijen worden geleverd. Fabrikanten/leveranciers van Composietmaterialen zijn beperkt in aantal. Deze markt ontwikkelt zich overigens wel.

7.1.1 Carbonstaal

Voor product- en prijsinformatie over carbonstaal heeft Spidron DeepDrill benaderd. DeepDrill levert een groot assortiment aan staaloplossingen voor de olie- en gasindustrie. De uitvraag bij Deepdrill heeft een goed beeld opgeleverd van de opties voor geothermie.

7.1.2 Chroomstaal

Voor Chroomstaal geldt in dit onderzoek hetzelfde als Carbonstaal. De informatie over Chromestaal is ook geleverd door DeepDrill.

7.1.3 Composiet

Tijdens het vooronderzoek zijn vier partijen benaderd voor informatie over composiet casing. Drie partijen hebben aangegeven een oplossing te kunnen leveren in een aantal van de geschetste scenario's (referentieputten). Positief opvallend waren de verdiepvingsvragen die de partijen hebben gesteld alsmede ook de voorwaarden waaronder de producten kunnen worden ingezet. Het is duidelijk dat leveranciers van composiet casing een goed beeld hebben van de omstandigheden van geothermie in Nederlandse condities.

De volgende leveranciers zijn benaderd: NOV, Future Pipe Systems (Wavin) en Akiet.

7.2 Methode

Spidron heeft alle geselecteerde leveranciers een brief gestuurd waarin de onderzoeksvraag van Glaskracht Nederland is verwoord. In deze brief is de leveranciers gevraagd om op basis van drie referentieputten een budgettair voorstel te doen. In de brief is duidelijk gesteld dat de opgeleverde informatie publiek beschikbaar zal worden gemaakt via de website van Glaskracht Nederland. Deze methode heeft geen bezwaren opgeleverd bij de leveranciers. De kaders waartegen de oplossingen zijn getoetst zijn beschreven het vorige hoofdstuk.

Dit rapport heeft alle mogelijkheden geïnventariseerd en biedt een vergelijk tussen de alternatieven die kunnen worden ingezet in geothermie projecten (in Nederland).

7.3 Resultaten

In hoofdstuk 8 worden de oplossingen van de leveranciers verder uitgewerkt. Alle benaderde partijen hebben gereageerd op deze markttuitvraag. Met name de leveranciers van de composietmaterialen hebben aanvullende vragen gesteld over het well-design. De vragen die zijn gesteld en de opmerkingen die zijn gemaakt waren zeer relevant en hebben bijgedragen aan compleet onderzoek. Geleverde productinformatie wordt in een zip-file ter beschikking gesteld.



7.4 Conclusies marktuitlevraag

Een verkennende marktuitlevraag wordt door leveranciers goed ontvangen en levert een bruikbaar beeld van de mogelijkheden die beschikbaar zijn. De markt is goed op de hoogte van de eisen en wensen die worden gesteld aan geothermie projecten. Leveranciers geven ook duidelijk terugkoppeling over de eisen die worden gesteld aan toepassing van (composiet)materialen in projecten. De markt denkt graag mee over oplossingen voor de Nederlandse omstandigheden.

8 Technische uitwerking

8.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is beschreven dat vier fabrikanten zijn benaderd om informatie te verstekken over hun portfolio. Dit hoofdstuk beschrijft de technische aspecten van de ingezonden informatie. Hierbij wordt gekeken naar maten, druk klassen, temperatuur resistentie, chemische resistentie, stroomweerstand en beschikbare connectietypen.

8.2 Casing en Tubing maten

Opvallend aan de ingestuurde data was dat in veel gevallen niet een hele put in composiet of chroomstaal uitgevoerd kan worden. Uitzondering hierop is Akiet. Akiet geeft aan op maat gemaakte verbuizing te kunnen leveren.

Bij chroomstaal moet opgemerkt worden dat fabrikanten wel de hele reeks aanbieden, maar deze niet volledig op de markt brengen. Dit wordt met name veroorzaakt doordat de olie- en gasputten met een productie tubing werken waardoor de casing niet in contact komt met de productie. Grotere maten zijn hierdoor niet nodig.

	Minimaal OD	Maximaal OD
Carbonstaal	4 1/2"	7"
Chroomstaal	4 1/2"	7"
Akiet	op maat gemaakt	
NOV	1,9"	9 5/8"
Future Pipe Industri	2 3/8"	24"

Tabel 1 - Beschikbare diameters

8.3 Installatie composiet casing

De installatie van Chroom of composiet casing verschilt in de meeste gevallen weinig van de installatietechniek van conventionele casing of tubing. Met uitzondering van Akiet wordt er gebruik gemaakt van geschroefde verbindingen.

Akiet maakt gebruik van verlijmdes verbindingen. Na het maken van de connectie wordt de verbinding verlijmd. Ten opzichte van conventionele schroefconnecties vraagt dit iets meer tijd.

De cementatie van composiet casing vraagt wel extra aandacht (Gustavo Adolfo Romero, 2008). Uit onderzoek is gebleken dat met name het plaatsen en in stand houden van de cement bound in de put speciale aandacht nodig is. De volgende problemen zijn waargenomen:

- Drijvend vermogen composiet casing
- Slechte cement bound tussen cement en casing
- Breuken in het cement door vervorming van de casing onder druk. Hierdoor kunnen zones niet altijd volledig geïsoleerd worden.

Onderzoek heeft aangetoond dat het verankeren van de casing en optimaliseren van de cement programma's deze problemen kan verhelpen.

Future Pipe Industries heeft bij naar aanleiding van deze problematiek ook aangegeven dat in haar opinie de gedeelde algemene put ontwerpen niet geschikt zijn voor het gebruik van composiet casing. Future Pipe Industries voorziet problemen in de kwaliteit van cementatie in combinatie met de hoge

drukken, wat mogelijk kan leiden tot een slechte cementbinding tussen de casing en de formatie . Hierdoor kan de isolatie tussen formaties niet worden gegarandeerd.

8.4 Druk

Composiet casing wordt net zoals conventionele casing geleverd in verschillende drukklassen. De mate van opbouw en oriëntatie van de wikkelingen bepalen bij composiet de mate waarin de buis op trekkracht en druk belast kan worden. Twee van de fabrikanten onderscheiden verschillende drukklassen. Deze worden hieronder vermeld. Akiet geeft aan verbuiging te kunnen leveren die ingezet kan worden tot een interne druk van 210 bar.

	Maximale interne druk (bar)
NOV	
Series 1000	69
Series 1500	103
Series 1750	121
Series 2000	138
Series 2500	172
Series 3000	207
Series 3500	241
Future Pipe Industries	
RED/BLUE BOX 1000	69
RED/BLUE BOX 1250	86
RED/BLUE BOX 1500	103
RED/BLUE BOX 1750	121
RED/BLUE BOX 2000	138
RED/BLUE BOX 2250	155
RED/BLUE BOX 2500	172
RED/BLUE BOX 2750	190
RED/BLUE BOX 3000	207
RED/BLUE BOX 3250	224
RED/BLUE BOX 3500	241

Tabel 2 - Beschikbare Drukklassen

Voor Chroom casing gelden - binnen de beschikbare maten - dezelfde drukklassen als voor conventionele casing. De bovenstaande drukranges zijn wel bepalend voor de inzet in Nederlandse geothermie systemen. Wanneer de mogelijkheid bestaat dat er veel gas vrijkomt bij het productieproces is er in theorie een situatie mogelijk waarbij de put volledig vol komt te staan met gas. In dit geval komt nagenoeg de gehele reservoirdruk op ondiepe stukken van de casing te staan (die in normale situaties aan veel minder druk worden blootgesteld. Hieruit volgt dat wanneer het reservoir zich dieper dan 2500 meter bevindt, de ondiepe casing niet van composiet kan zijn (de maximale gasdruk kan in deze situaties 350 bar bereiken). Dit is hoger dan de maximale specificaties van de composiet casing). Een uitzondering hierop is het composietsysteem van Akiet. Zij melden hier geen beperking op druk, echter wel op temperatuur (> 105 °C).

8.5 Temperatuur

Uit het marktonderzoek blijkt dat temperatuur niet direct beperkend hoeft te zijn voor veel van de geothermische systemen. Afhankelijk van de chemische samenstelling garanderen de verschillende leveranciers een operationele temperatuur van rond de 105 °C (zie bijlage 4, voorbeeld chemische resistentie Akiet.) Chroom casing kent hiervoor geen beperking.

8.6 Connectie

Een gasdichte connectie wordt bij de Nederlandse geothermische putten voorgeschreven. Een gasdichte verbinding voorkomt dat (vrijkomend) gas uit het productiewater kan ontsnappen naar de ondiepe formaties.

Alle drie de composiet leveranciers melden dat de verbuizingen worden uitgevoerd met gasdichte connecties. Bij de connectie van Akiet wijkt af van de andere leveranciers, hierbij wordt de verbinding verlijmd. Deze lijm heeft een uithardtijd van 5 tot 10 minuten per connectie (afhankelijk van de toepassing).

8.7 Chemische resistentie/Corrosie

Composiet casing staat erom bekend dat het zeer resistent is tegen chemicaliën. Uit de aangeleverde stukken blijkt (zie bijlage 4, voorbeeld chemische resistentie Akiet) dat de verbuizing tegen alle voorkomende stoffen kan. Hierbij is echter wel beperking op het gebied van maximale temperatuur. Hierbij moet opgemerkt worden dat Akiet onder het onderzoeksprogramma Horizon 2020 een uitgebreid onderzoek gaat doen naar de inzet van composiet casing bij temperaturen boven de 170 graden.

Chroom casing wordt in de olie en gasindustrie toegepast als de putten H₂S of veel CO₂ bevatten. Het gebruik van Chroom casing wordt hier geadviseerd vanaf een partiele gasdruk CO₂ tussen de 0,1 bar en 103 bar.

Uit het bovenstaande blijkt dat binnen de in Nederland meest gangbare temperatuur-bereiken zowel composiet als chroomstaal een technische oplossing kunnen zijn tegen de corrosieproblemen.

8.8 Stroomweerstand

Composiet casing wordt afgewerkt met een interne liner. Deze liner is aanzienlijk gladder dan de normale binnenkant van staal. Staal heeft na verloop van tijd een ruwheid van 0,1mm. Voor composiet geldt een waarde van 0,0054 mm.

Afhankelijk van het debiet en lengte van de (composiet) casing string kan dit leiden tot aanzienlijke reductie in stromingsweerstand. Dit resulteert in minder benodigd pompvermogen. In bijgevoegd Excel bestand (Spidron BV, 2016) kunt u voor uw eigen situatie doorrekenen tot welke kostenbesparing dit kan leiden.

9 Commerciële uitwerking

9.1 Opbouw en werking Business Case

Dit hoofdstuk beschrijft de opbouw en de uitwerking van de Business Case. De Case is opgebouwd in een bijgevoegd Excel document. Dit heeft als groot voordeel dat gebruikers zelf aanpassingen kunnen maken in het document, om deze aan te kunnen passen aan de eigen specifieke situatie. De prijzen die gebruikt zijn in de business Case zijn door de leveranciers afgegeven budgettaire prijzen. In de Business Case wordt alleen gekeken naar het verschil in kosten tussen de verschillende materialen. Overige (installatie)kosten worden niet in het model meegenomen.

9.1.1 Tabbladen

Het Excel document is voorzien van verschillende tabbladen. Spidron heeft een logische groepering gemaakt zodat relevante data bij elkaar staat. De naamgeving van de tabs geeft aan welke inhoud deze heeft. In de tab 'Business Case' komt alles bij elkaar. De overige tabs zorgen voor een meer gedetailleerde uitwerking.

9.1.2 Invulvelden

Spidron heeft zoveel als mogelijk geprobeerd om het model eenvoudig en toegankelijk te houden. Tegelijkertijd proberen we zo compleet mogelijk te modelleren. Om de modellen consistent te houden wordt gebruik gemaakt van invulvelden. Deze invulvelden zijn **geel gearceerd**. De waardes in deze velden worden door het hele werkblad gebruikt. Wanneer er dus een waarde gewijzigd wordt, werkt dit door. Het tabblad Custom wijkt af.

9.1.3 Netto contante waarde (NCW)

Om een beeld te krijgen van het verschil in kosten over de levensduur van de Geothermische installatie zijn de totale kosten contant gemaakt. Het interestpercentage kan door de gebruiker worden ingevuld. Door de NCW te gebruiken krijgen verschillen in toekomstige (verwachte) kosten een waarde in het heden. Het kan voorkomen dat een hogere initiële investering op termijn een positievere business case heeft door lagere kosten gedurende de levensduur van de installatie.

9.1.4 Custom

De tab Custom is gemaakt om met volledige vrijheid een eigen well-deisgn te kunnen doorrekenen zonder dat de uitgangspunten worden gewijzigd. Als referentie zijn de gegevens voor Carbonstaal opgenomen. Wijzigingen in Custom werken niet door in de rest van de spreadsheet.

9.2 Aannames en uitwerkingen

Cijfers in de spreadsheet zijn zo nauwkeurig mogelijk verzameld, toch zijn niet alle gegevens beschikbaar. Wanneer gegevens niet of onvoldoende beschikbaar zijn hebben we op basis van kennis en ervaring een inschatting gemaakt. Het model is zo opgesteld dat wanneer waardes toch afwijkend zijn, deze eenvoudig kunnen worden aangepast in het model. Het framework hoeft daarvoor niet aangepast te worden.

9.2.1 Technische beperkingen

In hoofdstuk 8 is de technische uitwerking beschreven. Het financiële model houdt geen rekening met technische beperkingen. Met andere woorden, een technisch onmogelijk well-design kan wel financieel worden doorgerekend. Ook geeft de spreadsheet in de tab 'Custom' de mogelijkheid bijvoorbeeld hybride oplossingen door te rekenen.

9.2.2 Afwijkend of onvolledig portfolio

Niet alle leveranciers leveren een portfolio dat exact past op de referentieputten die uitgevraagd zijn (afwijkende of ontbrekende diameters). Om te komen tot een goed vergelijk tussen de verschillende materialen zijn prijzen soms geïnterpoleerd. Het doel van dit onderzoek is een inzicht te geven in de voor- en nadelen van alternatieve materialen. Een exacte calculatie kan pas gemaakt worden voor een actueel project.

9.2.3 Capex en installatie

In deze tab zijn de relevante elementen opgenomen die horen bij het bouwen en in bedrijf stellen van de installatie. In de tab is een bedrag opgenomen voor een 'Lite Rig'. Hiermee bedoelen we een toren dat lichter kan worden uitgevoerd omdat de materialen lichter zijn. Een dergelijk toren is nog niet beschikbaar en is daarom ook niet meegenomen in de calculaties. Spidron verwacht wel dat een dergelijk toren voor composiet putten de initiële investering kan verlagen.

9.2.4 OPEX – Levensduur en stroomweerstand

Kosten die gemaakt worden na installatie om de put efficiënt in bedrijf te houden. Alternatieve casing heeft eigenschappen die operationele kosten kunnen verlagen. In het model wordt gekeken naar:

- Energie → wanneer materiaal een lagere stromingsweerstand heeft kost het minder energie om vloeistoffen rond te pompen
- Inhibitor → Wanneer materiaal niet of minder gevoelig is voor scaling, kan geen of minder inhibitor worden gebruikt. Los van de financiële kant zorgt dit ook voor minder milieubelasting (niet meegenomen in het model).
- Reparatie → Gedurende de levensduur van de put, zal de put geheel of gedeeltelijk moeten gerepareerd. Het model biedt de mogelijkheid dit aan te passen.
- Vervanging tubing → De levensduur van tubing wordt voor een groot deel bepaald door de gevoeligheid voor zuren/basen en erosie.

9.3 Conclusies

Uit de business case kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Zoals ook al verwacht zijn de initiële kosten voor het gebruik van composiet beduidend hoger dan die van carbonstaal of chroomstaal.

Operationele kosten bij de inzet van alternatieve materialen kunnen echter beduidend lager zijn. Composiet (en in mindere mate Chroomstaal) is veel minder gevoelig voor corrosie en scaling dan carbonstaal. Hierdoor ontstaat minder slijtage waardoor er minder reparatie of vervanging nodig zal zijn. Daarbij zijn ook de kosten voor het gebruik van inhibitor veel minder.

Door Akiët wordt aangegeven dat het gebruik van een lichtere toren mogelijk is. Deze oplossing is commercieel nog niet beschikbaar, en daarom niet meegenomen in dit onderzoek. Het zou de installatiekosten voor het gebruik van composietmaterialen aanzienlijk kunnen verlagen.

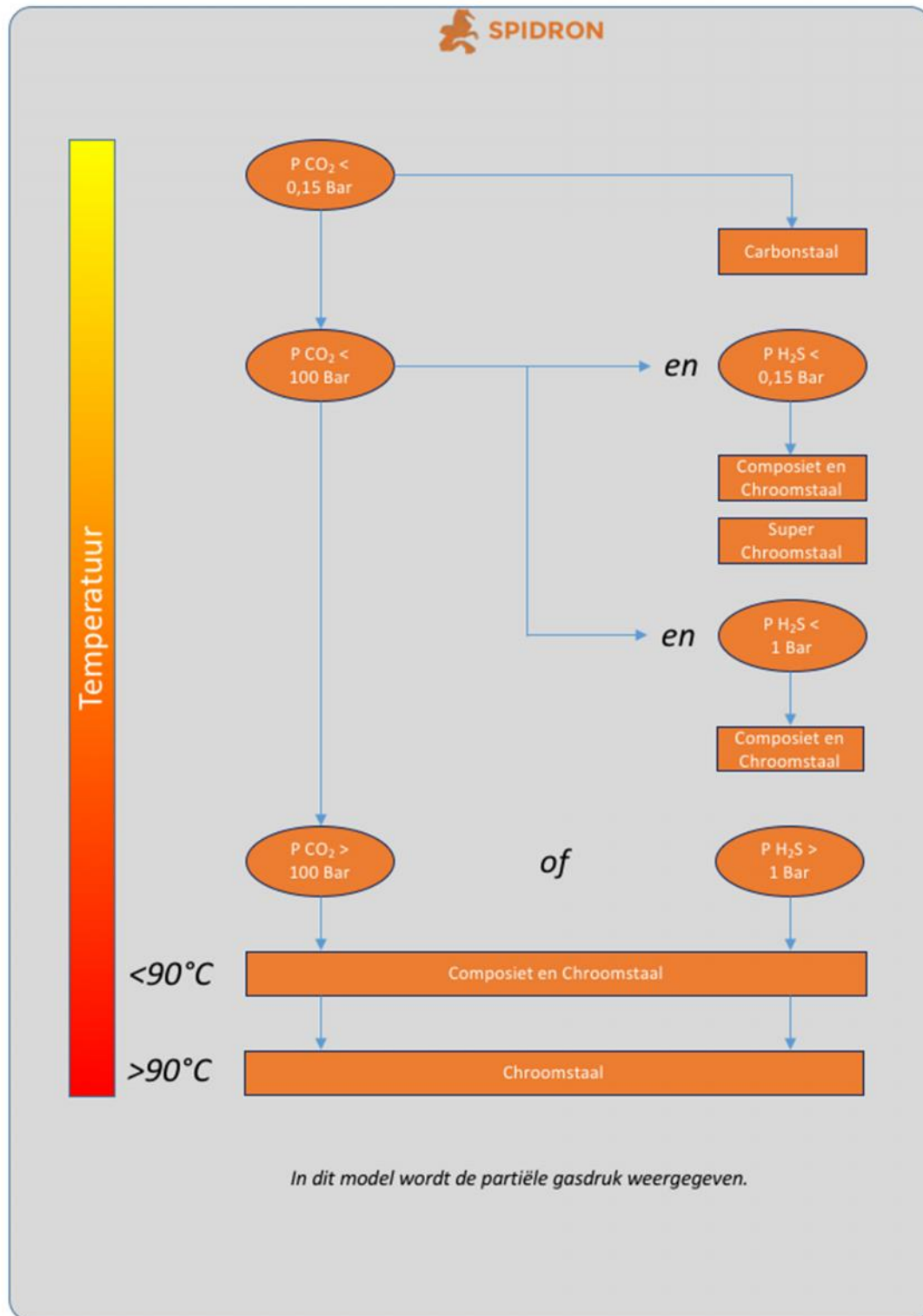
Geconcludeerd kan worden dat de inzet van composiet zich op dit moment niet terugverdient. De verschillen in operationele kosten onderschrijven wel dat het gebruik van ander materiaal dan carbonstaal de operationele kosten verlaagt. Wanneer de prijsniveaus voor composiet dalen (door bijvoorbeeld meer inzet) en de operationele kosten belangrijker worden, moet inzet overwogen worden.

9.4 Aanbevelingen

Hoewel de businesscase voor de inzet van composiet nog geen voordeel oplevert ten opzichte van staal, beveelt Spidron wel aan om ervaring op te doen met de inzet van composiet. Met name om een nog beter beeld te krijgen van de verbetering van de operationele kosten. Wellicht dat in samenwerking met leveranciers een pilot gedraaid kan worden. Een lichter toren kan hier dan ook in meegenomen worden.

Daarnaast stelt Spidron voor een hybride model uit te werken, waarbij een gedeelte van de put wordt uitgevoerd in (traditioneel) staal en het andere (hogere) gedeelte in composiet. De investering zal lager zijn, terwijl er op belangrijke plaatsen in de put voordeel wordt gehaald door inzet van composiet.

10 Ontwerp tooling



Afbeelding 1 - Tooling

11 Conclusies

De conclusies uit fase 1 zijn:

- Naast conventioneel materiaal (carbonstaal) zijn er andere opties voor casing zoals Chroomstaal en composiet;
- Deskresearch leert dat er verschillende leveranciers zijn die composiet casing kunnen leveren. De specifieke materiaaleigenschappen moet verder worden onderzocht;
- Composiet casing wordt succesvol ingezet in olie- en gaswinning. Kennis en ervaring is aanwezig en zou ingezet kunnen worden voor geothermie.
- Chroom casing wordt al jaren in de olie- en gasindustrie bij corrosieve putten.

De kans op corrosie en scaling bij geothermieprojecten in Nederland is dermate groot dat de toepassing van alternatieve materialen voor casing zouden kunnen zorgen voor een verlaging van de operationele kosten en een langduriger en meer constante productie.

Met betrekking tot corrosie zal met name in gebieden waar hogere concentraties CO_2 ($\text{PCO}_2 > 100$ bar) in het reservoir water opgelost zit kan gekeken worden naar alternatieve materialen zoals Chroomstaal en composiet.

Indien temperaturen hoger dan 90°C voor kunnen komen kan composiet casing nog niet worden toegepast. (Note: Akiet gaat onderzoeken of zij deze grens kunnen verhogen naar 170°C .)

Het gebruik van composiet in de put beperkt de afzetting van scaling.

De toepassing van composiet casing kan vragen om aanpassingen of herziening van het putontwerp en installatiemethodiek.

In fase 2 zijn de marktpartijen benaderd en hebben informatie verstrekt over de mogelijkheden van de inzet van composiet.

De conclusies uit de marktvraag:

- Composiet kan in ieder geval door drie partijen worden geleverd: Akiet, NOV en Future Pipe Industries. Deze partijen hebben positief gereageerd op de uitvraag en technische en budgettaire informatie aangeleverd.
- Akiet levert composiet casing, maar als enige partij in de composiet willen zij dit leveren als boorsysteem. Zij werken aan een integrale oplossing van composiet casing boren met een lichtere toren waardoor de initieel hogere kosten van de casing wordt gereduceerd door overall lagere put kosten.
- Chroomstalen casing wordt geleverd door alle grote fabrikanten. Deepdrill kan dit ook leveren en heeft in dit onderzoek de budget prijzen aangeleverd.
- Leveranciers van zowel staal als composiet zijn deskundig en werken graag mee aan het verder uitwerken van oplossingen.
- Composietmateriaal biedt technisch in twee van de drie referentieputten een bruikbaar alternatief. Voor referentieput 2 geldt dat de maximale temperatuur buiten de composiet specificaties loopt.
- Leveranciers van composiet geven aan dat tijdens de installatie van composiet veel aandacht moet worden besteed aan cementering. Het cement hecht minder goed aan composiet dan aan staal waardoor ongewenste lokale drukverschillen kunnen ontstaan. Juiste cementering kan dit ondervangen.

- Op basis van de verstrekte budgettaire informatie is een business case opgesteld. Deze business case vergelijkt de inzet van carbonstaal, chroomstaal en 3 composieten met elkaar. De kosten van de installatie liggen voor composiet vaak meer dan tweemaal zo hoog als staal. Operationele kosten zijn door hogere efficiency, minder slijtage en minder gebruik van inhibitor duidelijk lager dan bij staal. Op dit moment is de business case voor putten volledig uitgevoerd met composiet niet positief.
- Op basis van de standaard aannames in de business case kan chroom casing een oplossing te zijn.
- Hybride oplossingen lijken positief uit te pakken.
- De conclusie is gerechtvaardigd dat de inzet van alternatieve casing materialen kosten effectief kan zijn. Hierbij moet nadrukkelijk gekeken worden naar zowel de CAPEX als de OPEX over de gehele levensduur van een systeem.

12 Aanbevelingen

In de conclusies in het vorige hoofdstuk wordt aangegeven dat composiet technisch een bruikbaar alternatief kan zijn voor staal, mits aandacht voor cementering en het temperatuurbereik. Omdat de voordelen van composiet (los van de prijs) zo groot zijn bevelen we aan om –bij voorkeur in samenwerking met een leverancier/fabrikant- een pilot op basis van composiet te starten. In deze pilot kan nog meer ervaring worden opgedaan met de operationele voordelen.

Voor de business case zijn de milieuaspecten niet gekwantificeerd, maar een veel lager gebruik van inhibitors verlaagt het risico op schade aan het milieu. Dit zou een voordeel kunnen opleveren in de aanvraag van benodigde vergunningen.

Het onderzoek heeft zich gericht op een installatie van alleen staal of alleen composiet. Door het ontwikkelen van de hybride oplossing waar zowel composiet als staal worden ingezet, kunnen de hogere initiële kosten worden beperkt, en kan er mogelijk wel operationeel voordeel worden bereikt. Een dergelijke installatie zou ook ontworpen kunnen worden als pilotproject (eerste aanbeveling). Hierbij moet wel opgemerkt dat bij het gebruik van composiet voor de opvoer buis van de ESP de effecten van reactieve torsie krachten op de connectief nader onderzocht moeten worden.

De laatste aanbeveling is het onderzoek naar de inzet van een lichtere toren. Het gebruik van lichtere composietmaterialen kan ervoor zorgen dat een lichtere toren ingezet kan worden, met een lagere prijs gedurende de installatiefase. Akiët geeft aan hier ideeën bij te hebben.

13 Literatuurlijst

- Akiet B.V. . (2016, 5 13). *Installation of HSCT in Geothermal System in The Netherlands*. Opgehaald van <http://akiet.com/>: <http://akiet.com/news/installation-of-hsct-in-geothermal-system-in-the-netherlands/>
- American Petroleum Institute. (2011, June 11). *API Specification 5CT*. Opgehaald van www.api.org: <http://www.api.org/~media/files/certification/monogram-apiqr/program-updates/5ct-9th-edition-purch-guidelines-r1-20120429.pdf>
- George V. Chilingar, R. M.-Q. (2008). *The Fundamentals of Corrosion and Scaling - A Handbook for Petroleum and Environmental Engineers*. School of Engineering, University of Southern California - Saudi Arabian Oil Company. Houston, USA: Gulf Publishing Company.
- Gilles Gabolde, J. P. (2014). *Data Drilling Handbook*. Institut Francais du Pétrole Publications. Paris: Éditions Technip.
- Gustavo Adolfo Romero, J. L.-S.-S. (2008). *Glass Reinforced Epoxy Casing: Lessons Learned After Cementing and Completion of 70 Wells*. Society of Petroleum Engineers. Denver Colorado, USA: Society of Petroleum Engineers.
- Haiwen Wang, F. Y. (2011). Parametric design and application of fibreglass reinforced plastic tubing in beam pumping wells. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* , pp. 161-167, Vol. 2(9), 161-167.
- Mijnbouwbesluit. (2016, juli 1). (Ministerie van Economische Zaken) Opgeroepen op augustus 30, 2016, van wetten.overheid.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014394/2016-07-01>
- Mike Crabtree, D. E. (1999). *Fighting Scale - Removal and Prevention*. USA: Oilfield Review.
- Ministerie van Economische zaken. (2016, juli 1). *Wetten.nl - Regeling - Mijnbouwbesluit*. (M. v. Zaken, Producent) Opgeroepen op augustus 30, 2016, van wetten.overheid.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014394/2016-07-01>
- Ministerie van Economische Zaken. (22, februari 2014). *Mijnbouwregeling*. (M. v. Zaken, Producent) Opgeroepen op augustus 30, 2016, van wetten.nl - Regeling - Mijnbouwregeling: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014468/2014-02-22>
- Nederlandse Olie en Gas Exploitatie en Productie Associatie. (2016). *NOGEPA*. Opgehaald van Nederlandse Olie en Gas Exploitatie en Productie Associatie: <http://www.nogepa.nl/>
- Nederlandse Vereniging van Banken. (2015). *Technische aspecten van geothermie projecten*. Amsterdam: Nederlandse Vereniging van Banken.
- Spidron BV. (2016, 09 12). *160901 tabellen technische uitwerking.xlsx*. (R. t. Ohmann, Producent)
- Wasch, L. J. (2013). *Geothermal energy – Scaling potential with cooling and CO2 degassing*. TNO, Earth, Life and Social Sciences. Utrecht: TNO Earth, Life and Social Sciences.
- Wikipedia. (2016). *Galvanische Corrosie*. Opgehaald van https://nl.wikipedia.org/wiki/Corrosie#Galvanische_corrosie



14 Appendices

- Appendix 1 – Data Drilling Handbook - Format
- Appendix 2 – Overzicht leveranciers
- Appendix 3 – Web-samenvatting
- Appendix 4 – Chemische resistentie Akiet

Appendix 1 – Data Drilling Handbook

C 51

GEOMETRICAL CHARACTERISTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF CASING (continued)

Pipe body	1	Nominal size (OD)	1	7.000 in 177.8 mm								7.625 in 193.7 mm																							
	2	Nominal weight	2	46.00 lb/ft 67.1 daN/m								26.40 lb/ft 38.5 daN/m																							
	3	Wall thickness	3	0.670 in 17.0 mm								0.328 in 8.3 mm																							
	4	Inside diameter	4	5.660 in 143.8 mm								6.969 in 177.0 mm																							
	5	Steel cross-section	5	13.32 in ² 8596 mm ²								7.52 in ² 4851 mm ²																							
	6	Capacity	6	1.31 gal/ft 16.23 l/m								1.98 gal/ft 24.61 l/m																							
	7	Displacement (l)	7	2.00 gal/ft 24.83 l/m								2.37 gal/ft 29.46 l/m																							
	8	Grade	8	K55	L80	N80	C90	T95	P110	Q125	K55	L80	N80	C90	T95	P110	Q125																		
	9	Collapse resistance (MPa)	9	65.6	95.5	95.5	107.4	113.4	131.3	149.2	20.0	23.5	23.5	24.9	25.6	27.1	27.9																		
	10	Internal yield pressure (MPa)	10	63.5	92.4	92.4	103.9	109.7	127.0	144.4	28.5	41.5	41.5	46.7	49.3	57.1	64.9																		
	11	Pipe body yield strength (1000 daN)	11	326	474	474	533	563	652	741	184	268	268	301	318	368	418																		
Tensile strength (10 ³ daN)	12	Buttress Standard	12	370	370	390	390	409	487	526	258	282	293	303	318	376	412																		
	13	Buttress Special Clearance	13	237	237	250	250	262	312	337	258	282	293	303	318	376	412																		
	14	API STC	14	317	406	412	448	472	551	617	152	196	198	216	227	265	297																		
	15	API LTC	15	350	446	453	492	518	605	672	167	214	218	237	249	291	326																		
Connection efficiency	16	Grant Prideco TCII	16	64.6								58.2																							
	17	Grant Prideco STL	17																	68.0								51.8							
	18	HydriL LX	18																																
	19	HydriL 563	19	67.7								171.6																							
	20	HydriL 511	20																	61.6								166.8							
	21	HydriL 521	21																																
	22	Vallourec & Mannesmann New VAM	22	61.6								166.8																							
	23	Vallourec & Mannesmann VAM ACE	23																	67.7								171.6							
	24	Vallourec & Mannesmann VAM PRO	24																																
	25	Vallourec & Mannesmann VAM TOP	25	67.7								171.6																							
	26	Vallourec & Mannesmann FJL	26																	61.6								166.8							
Connection characteristics	27	Buttress Standard	27																																
	28	Buttress Special Clearance	28	K55	LN80	C90/95	P110	Q125	K55	LN80	C90/95	P110	Q125																						
	29	API STC	29						194.5																										
	30	API LTC	30						187.3																										
	31	Grant Prideco TCII	31																																
	32	Grant Prideco STL	32	881	1112	1112	1112	1112	177.8	147.3	140.6	447	576	576	576	576	193.7	175.0	173.8																
	33	HydriL LX	33									929	1166	1308	1430	1620	196.7	175.0	173.8																
	34	HydriL 563	34									1058	1058	1058	1058	1058	215.9	175.7	173.8																
	35	HydriL 511	35									583	583	583	583	583	193.7	174.8	173.8																
	36	HydriL 521	36									976	976	976	976	976	199.8	175.1	173.8																
	37	Vallourec & Mannesmann New VAM	37	1763	1912	1959	2061	2156	195.1		140.6	971	1079	1180	1227	1322	216.6		173.8																
	38	Vallourec & Mannesmann VAM ACE	38									735	834	931	1029	1125	215.9		173.8																
	39	Vallourec & Mannesmann VAM PRO	39														216.4		173.8																
	40	Vallourec & Mannesmann VAM TOP	40																																
	41	Vallourec & Mannesmann FJL	41										961	1128	1274	1424	193.7	175.4	173.8																

(1) The closed-end displacement does not account for couplings. $\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$ $\text{daN} \times 2.25 = \text{lb}$ $\text{daN.m} \times 7.38 = \text{lb.ft}$ $\text{mm} \times 0.0394 = \text{in}$



Appendix 2 – Overzicht leveranciers

Carbonstaal / Chroomstaal (Super Chroomstaal)

Deep Drill Supply Group
Havenkade 24
1775 BA Middenmeer
The Netherlands
Phone: +31 227 503 310
sales@deepdrill.nl

Composiet

NOV / Star Fiberglass Systems Europe
De Panoven 20
Geldermalsen 4190 GW
The Netherlands
Phone: +31 345 587 337

Akiet B.V.
Betonstraat 8
8211 AE Lelystad
The Netherlands
Phone: +31 6 83795187
info@akiet.com

Wavin / Future Pipe Industries
J.C. Kellerlaan 3,
P.O. Box 255
7770 AG Hardenberg,
The Netherlands
Tel: +31 (523) 280 500
Fax: +31 (523) 280 700
Email: netherlands@futurepipe.com



Appendix 3 – Web-samenvatting

Kunststof bebuizing (casing) heeft vele voordelen ten opzichte van stalen bebuizing onder andere op het gebied van scaling, corrosie en stromingsweerstand. Kunststof casing is echter nog niet in een Nederlands geothermieproject toegepast. Redenen hiervoor zijn o.a. de wet- en regelgeving, hogere investeringen en onduidelijkheid over de operationele kosten tijdens de levensduur van het project. Spidron heeft marktonderzoek gedaan naar de kosten en eigenschappen van alternatieve materialen voor casing. Uit het onderzoek blijkt dat composiet een alternatief kan zijn ten opzichte van het staal dat normaal gesproken gebruikt wordt. Composiet biedt veel voordelen, maar is vooral duurder tijdens de installatie. Ook zijn er een aantal beperkingen waar in het ontwerp rekening mee gehouden moet worden.



Appendix 4 – Productinformatie Akiet

<losse bijlage>

Akiet Chemical Resistance Guide

Akiet's High Strength Composite Tubular (HSCT) systems meet high standards of performance with respect to temperature and chemical resistance. In most downhole applications involving corrosive service, composite tubular systems are the optimal choice. They are durable and resistant to an exceptionally wide range of corrosive chemicals and environments.

The information provided in this section will guide you through the chemical resistance tables of high strength composite tubular systems.

The data of this guide are based on more than 30 years of field experience in which field and laboratory testing has indicated good expected service life. However, it should be noted that combinations of chemicals, heat, flow rate, the presence of solids, and other considerations can influence a material's corrosion resistance capacity. Therefore, this corrosion resistance guide is to be considered as a recommended guideline and not a guarantee.

Service life and corrosion resistance in an aggressive chemical environment depends on the total wall thickness, the chemical type and concentration, the service temperature, the duration of use.

For chemicals, mixtures of chemicals, or actual operating conditions not mentioned in the following tables, or circumstances wherein only "trace" quantities of NR listed chemicals are present. Please consult Akiet before deciding on the suitability of HSCT systems for an application.

Chemical Resistance Guide

CHEMICAL	MAX OPERATING TEMPERATURE [°C]
Acetone	50
Benzene	65
Carbon Dioxide	105
Aqua solution (chlorinated)	105
Gas Condensate	105
Gas Natural	105
Hydrogen Sulfide	90
Methane	105
Propane	40
Heavy Oil (277g/mol)	105
Crude Oil (Sour/Sweet)	105
Sodium Chloride	90
Toluene	65
Water Fresh pH 2 - 13	105
Water Brine	105



Modelling

A specialist Abaqus-Chemical FEM software package is used to model long-term properties of Akiet HSCT and connections in the downhole environment. The outcome of this modelling will be used to de-rate the “as new” performance and provide properties that are representative up to the end of well life.

In many real-life circumstances, chemical exposure triggers several chemical-mechanical effects that influence material service life to a significant extent. The modelling enables Akiet to virtually test these effects on the composite in any configuration and application to obtain quantitative insight in lifetime and eventual failure modes. With a chemical risk (bow-tie) analysis can several scenarios be identified which will be modelled.

Following example scenarios can be modelled:

- Cement environment: quantitatively evaluate effects of mix water pH and composition, temperature, loads on the composite and on the adhesive.
- Mud environment: quantitatively evaluate the effects of mud chemicals, temperature, loads on the composite and adhesive.
- Injection environment: quantitatively evaluate effects of exposure to produced water and expected thermal changes on the composite and adhesive.
- Quantitatively evaluate effects of during periods of water injection/rest over the life of the well.

Learn more about HSCT

For questions or further installation details please contact:

Akiet Downhole Composite Tubulars

Betonstraat 8 | 8211 AE Lelystad | The Netherlands

info@akiet.com | +31 6 2451 3869

