

Bijlage 2 – Aandachtspunten onderbouwing injectiedruk

Het protocol uit 2019 (Bijlage 1) geeft een berekeningsmethodiek weer voor het bepalen van de maximale injectiedruk bij verschillende temperaturen. Er kan worden afgeweken van de methodiek indien er een goede onderbouwing wordt aangeleverd van de voorgestelde maximale injectiedruk. In deze onderbouwing is het noodzakelijk dat er wordt aangetoond dat injectie bij deze afwijkende druk veilig en verantwoord is. De onderbouwing moet ten minste de volgende aandachtspunten bevatten:

1. Adequate beschrijving afsluitende laag en onzekerheden

Bij de beschrijving van de afsluitende laag moet gedacht worden aan 1) fysische gesteenteparameters, 2) het spanningsveld, 3) een beschrijving van de stratigrafie en 4) de ondergrondse structuur. Hieronder wordt nader ingegaan op deze punten.

Fysische eigenschappen materiaal

De fysische eigenschappen van de afsluitende laag moeten bekend zijn. Bij gesteenteparameters kan gedacht worden aan elasticiteitsmoduli (Young's Modulus, Poisson's ratio), thermische expansie coëfficiënt, en sterkte (UCS unconfined compressive strength) reksterkte (tensile strength) en eventueel ook triaxiale sterkte (cohesie/interne frictie). Dit soort analyses heeft SodM binnen de geothermiesector tot nu toe weinig gezien in aangeleverde plannen. In enkele gevallen wordt er gebruik gemaakt van akoestische logs, waarbij op basis van de akoestische golfsnelheid gesteente-eigenschappen berekend worden. Dit levert geschikte informatie over de verschillen binnen de formatie. De informatie wordt nog verder bruikbaar als de logs gekalibreerd worden op basis van metingen op intact kernmateriaal. Deze kunnen uit de boringen naar het aardoppervlak worden gehaald zodat er materiaal beschikbaar is om in het laboratorium de gesteente-eigenschappen onder statische condities te onderzoeken. Dit is al gangbaar binnen andere mijnbouwsectoren.

Spanningsveld

De limieten van de afsluitende laag zijn afhankelijk van de sterkte van de laag en het lokale spanningsveld en moeten daarom goed onderbouwd worden. Puttesten zoals (extended) leak off tests ("X)LOT") kunnen een belangrijk zijn om onzekerheden te verminderen. Deze kunnen een indicatie geven van de sterkte van de afsluitende laag in combinatie met het lokaal heersende spanningsveld (ook wel stressveld). Het lokaal heersende spanningsveld is te benaderen als de gesteenteparameters reeds bekend zijn. Ook deze testen zijn onderhevig aan onzekerheden als gevolg van aannamen, dus kunnen niet rechtstreeks gebruikt worden. Een zekere veiligheidsmarge is wenselijk.

Stratigrafie van de afsluitende laag en geologische structuur

Het moet duidelijk zijn welk gedeelte van een afsluitend pakket daadwerkelijk de afsluiting verzorgt. De stratigrafie kan bekend worden door bijvoorbeeld boorlogs (boorgruisanalyse tijdens de boring) in combinatie met gamma-raylogs.

Afsluitende lagen zijn vaak inhomogeen, niet een enkel homogeen pakket. Er kunnen binnen de afsluitende laag variaties zijn die van invloed kunnen zijn.

De afsluitende laag dient het gehele reservoir te bedekken. Ook de geometrie van de afsluitende laag in de ondergrond kan variëren. Afsluitende lagen kunnen wegvallen ('pinch out') doordat ze in de geologische geschiedenis ten dele niet zijn afgezet, of geërodeerd zijn. Dit is te verifiëren met behulp van meerdere 2D seismiek lijnen in combinatie met naburige boorputten, of 3D-seismiek met naburige putdata.

2. Adequate beschrijving van het gebruikte model inclusief de onzekerheden

Om combinaties van maximale injectiedruk en minimale injectietemperatuur te bepalen kan gebruik worden gemaakt van een model. Hierin wordt berekend of de afsluitende laag intact blijft of kan scheuren. Het gaat hier om de injectiedruk op reservoirniveau. Er moet duidelijk worden gemaakt hoe het model in elkaar zit, wat de aannamen zijn, wat de randvoorwaarden zijn en wat de daaruit volgende onzekerheden in het model zijn. Daarnaast is het van belang een onzekerheidsmarge in te bouwen.

Modelbeschrijving

Het injectieprotocol is in feite een eendimensionaal (1D) analytisch model op basis van enkele conservatieve aannamen, zoals de toename van de horizontale spanning met diepte (de spanningsgradiënt). Een aanpak waar met twee of drie dimensies gewerkt wordt, kan mogelijk de structuur in de ondergrond beter weergeven.

Echter kunnen meer vrijheidsgraden in het model ook leiden tot grotere onzekerheden in het model. Mogelijk kan een rekenmodel wel een oplossing berekenen, maar is deze geen adequate weergave van de werkelijkheid doordat de modelopzet niet correct was. De beschrijving van het model in termen van randvoorwaarden en gebruikte parameters is daarom van belang.

Onzekerheid in scheurgroeimodellen

Modellen die gebruikt worden om scheurgroei te berekenen, gaan vaak uit van geïdealiseerde situaties. Dit kan onterecht leiden tot zekerheid, omdat het model zelf niet ter discussie staat. Er bestaan verschillende benaderingen om scheurgroei te modelleren, elk heeft voor- en nadelen. Een beschrijving van de gebruikte modellen of berekeningen moeten daarom goed beschreven worden, inclusief waarom deze voor het project toepasbaar zijn.

3. Voorspelling van de te verwachte scheurgroei inclusief onzekerheden

Gegeven bovenstaande onzekerheden dient een scheurgroei-model aan te tonen hoe ver scheurgroei in het reservoir verwacht wordt, zowel in laterale zin (langs de gelaagdheid) als verticale zin (loodrecht op de gelaagdheid). Ook dient er op basis van de modellen, rekening houdend met de onzekerheden, een zekere veiligheidsmarge beschreven te worden. Dit kan bijvoorbeeld op basis van een

sensitiviteitsanalyse. Bij de voorspelling is het van belang dat de invoerparameters (druk, temperatuur) overeen komen met de limieten uit het winningsplan.

4. *Beheersmaatregelen om verdere scheurgroei te beperken en te monitoren.*

Beheersmaatregelen om te voorkomen dat scheurgroei plaatsvindt in de afsluitende laag dienen te worden beschreven. Hierbij kan gedacht worden aan de afstand van de perforaties in de injector tot afsluitende laag en veiligheidsmarges. Ook kan monitoring van injectiviteit mogelijk een aanwijzing geven dat scheurvorming plaatsvindt, waarop acties ondernomen kunnen worden zoals het verlagen van de injectiedruk of het afsluiten van injectie-intervallen in de put.

5. *Een berekening of bepaling van het dynamisch drukvalexpect.*

Eventueel moet nog een debietsafhankelijke drukval meegenomen worden om de druk aan het aardoppervlak (tubing head pressure THP) te relateren aan de druk op reservoirniveau (bottom hole pressure, BHP) tijdens injectie. Er zijn een aantal methoden om dit te berekenen. Deze zijn op basis van het verbruigingsschema (diameter/lengte) en wrijvingseffecten. Hierbij is het van belang dat het type berekening en de invoerparameters (vooral de wrijvingscoëfficiënt of ruwheid) beschreven worden. Het drukvalexpect kan ook worden bepaald op basis van een meting, door tijdens injectie de BHP te meten en te vergelijken met de THP bij verschillende debieten. Als er grote onzekerheden zijn voor de materiaaleigenschappen van de verbruiging, is de meting te verkiezen boven een berekening.