

## **SAMENVATTING**

### **Context**

Om de klimaatdoelstellingen te halen en energiezekerheid te bieden, kan geothermische energie een belangrijke rol spelen in de Belgische portefeuille voor energieproductie. Een groot deel van de eindvraag naar energie is warmte, en diepe geothermische systemen leveren thermische energie die rechtstreeks kan worden gebruikt als warmtebron voor warmtenetwerken en industriële toepassingen.

Het werken met gegevens over de diepe ondergrond brengt grote onzekerheden met zich mee, wat leidt tot grote financiële risico's. Deze risico's meenemen in de besluitvorming op project- of beleidsniveau is essentieel, maar niet eenvoudig. Vooral het koppelen van numerieke geothermische reservoirsimulaties aan economische en milieubeoordelingen, rekening houdend met onzekerheden en flexibiliteit, is een uitdaging.

### **Doelstellingen**

Het doel van het DESIGNATE project is het creëren van interdisciplinaire tools voor geïntegreerde voorspellingen met onzekerheid voor diepe geothermische systemen in België, inclusief toepassingen in verlaten mijnen. Meer specifiek zijn de doelstellingen:

- Techno-economische evaluatie-instrumenten (TEA) ontwikkelen die rekening houden met geologische onzekerheid en gebaseerd zijn op reële-optieanalyse (ROA) en de PSS-simulator. Een kader ontwikkelen voor dynamische levenscyclusbeoordelingen (LCA) die rekening houden met de timing van emissies en hun effecten in de tijd.

- De ontwikkeling van analytische of andere snelle reservoirsimulaties die direct kunnen worden gekoppeld aan of geïntegreerd in de TEA's en LCA's.

- Creëren van een eerste basis voor het analyseren van interferentie-effecten van diepe geothermische projecten op de ondergrond.

- De toepassing van de ontwikkelde tools en workflows demonstreren op verschillende casestudies in België.

### **Methoden**

Er zijn vijf casestudies geselecteerd: het Balmatt doubletproject in Mol, ontwikkeld door Vito, het Turnhout-NW doubletproject van het het GEO@Turnhout consortium dat zich in een vroeg ontwikkelingsstadium bevindt, het hypothetische Deep Mons doubletproject, een hypothetische toepassing éénputsgethermie in het Krijt in het Vlaamse Gewest, en een hypothetische toepassing voor warmte-koudeopslag in de voormalige steenkoolmijnen van Péronnes-lez-Binche. Geologische onzekerheden worden eerst gekarakteriseerd en beslisbomen worden gebouwd om flexibiliteitsopties in kaart te brengen.

Om reservoirsimulaties te integreren in op Monte Carlo-gebaseerde economische en milieuanalyses is een snelle simulatietijd nodig. Er is een analytische oplossing voor een geothermisch doublet ontwikkeld en gekalibreerd voor het Balmatt-project. Lookup-tabellen zonder en met interpolatie

worden ontwikkeld voor respectievelijk de éénputsgoethermie en de Deep Mons case. Een oplossing voor de mijnen is nog niet volledig operationeel.

Na een overzicht van beschikbare levenscyclusanalyses van diepe geothermische projecten is een dynamische LCA-methode ontwikkeld, die rekening houdt met veranderingen in de levenscyclusinventaris en de temporele evolutie van de milieueffecten. Tegelijkertijd wordt reële optieanalyse toegepast in een technisch-economische beoordeling van diepe geothermie om onzekerheid en flexibiliteit te integreren in economische analyses. In een laatste stap worden de milieueffecten geïntegreerd als beslissingscriterium in de ROA-TEA.

De PSS-simulator, een ROA-gebaseerde TEA-voorspellingssimulator voor CO<sub>2</sub>-opslagprojecten, is aangepast voor geothermische toepassingen. De simulator is modulair gemaakt voor meerdere geothermische toepassingen en kan worden gekoppeld aan de verschillende reservoirsimulatie tools die ontwikkeld zijn. Met name realistische projectbeslissingen en de evolutie van geologische onzekerheden worden geïntegreerd. De eerste ontwikkelingen zijn ook gemaakt voor het modelleren van interferenties in de ondergrond, en voor het warmtetransport aan het oppervlak.

Er zijn simulaties uitgevoerd voor verschillende scenario's. Deze omvatten variaties in de ontwikkeling van energieprijzen, flexibiliteit van beslissingen, ondersteunende maatregelen en operationele variaties.

### **Resultaten en conclusies**

Verschillende interdisciplinaire tools en workflows zijn ontwikkeld om besluitvormers te helpen bij het plannen van diepe geothermische projecten. De toepassing ervan wordt gedemonstreerd met eerste analyses voor meerdere casestudies en scenario's in België.

Het gebruik van flexibiliteit om investeringsrisico's tegen te gaan met reële-optieanalyse is essentieel bij het analyseren van de economische prestaties van projecten met grote investeringen en onzekerheden, zoals diepe geothermische projecten. Op dezelfde manier heeft een dynamische levenscyclusanalyse en de integratie daarvan in ROA-besluitvorming grote voordelen ten opzichte van de industriestandaard statische LCA voor het nauwkeurig beoordelen van de milieueffecten en het bieden van beslissingsondersteuning. Diepe geothermische energie kan een belangrijk milieuvoordeel hebben ten opzichte van alternatieve verwarmingsbronnen (aardgas of warmtepompen), waarbij de constructie van de boring en het pompen de eerste doelen zijn voor verdere vermindering van de impact. Bij het ontwerpen van ondersteunende maatregelen is het ook belangrijk om rekening te houden met risico's en flexibiliteit, zodat maatregelen zich richten op de juiste projectfase en op het juiste niveau kunnen worden ingesteld.

Geologische omstandigheden, vooral parameters die het debiet bepalen, bepalen grotendeels het succes van een project, wat de locatie-specifieke aard van de technologie benadrukt. Gezien de huidige stand van kennis over de diepe ondergrond in België, zou een door de overheid geleide algemene verkenning van de diepe ondergrond het risico van de investering kunnen verminderen. Steunmaatregelen moeten worden ontworpen om bepaalde beleids- en bedrijfsdoelstellingen te

bereiken. Van de geanalyseerde steunmaatregelen geeft de investeringssubsidie een goede balans tussen het verhogen van de projectwaarde, risicovermindering en verbeteren van de efficiëntie.

Een geoptimaliseerd ontwerp en planning van de volledige geothermie, inclusief levering, transport en gebruik van warmte, heeft een grote invloed op de business case. Het afstemmen van de productie op de vraag en het verlengen van de operationele tijd door seizoensgebonden veranderingen in de vraag op te vangen, zijn van groot belang.

Een geïntegreerde, interdisciplinaire analyse is essentieel om rekening te houden met alle verschillende invloeden die bepalend zijn voor projectbeslissingen, ontwikkeling, exploitatie en succes. De ontwikkelde methoden kunnen nog verder worden uitgebreid om een volledig holistisch overzicht te bereiken door bijvoorbeeld de sociale context te introduceren.

### **Trefwoorden**

Diepe geothermie, mijngeothermie, technisch-economische analyse, levenscyclusanalyse, analytische reservoirsimulatie, onzekerheid, reële-optieanalyse