

$$w^j(s^j) = \frac{2\pi k^j \Delta z}{\ln \left( 0.14 \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} / r_w \right) + S}$$

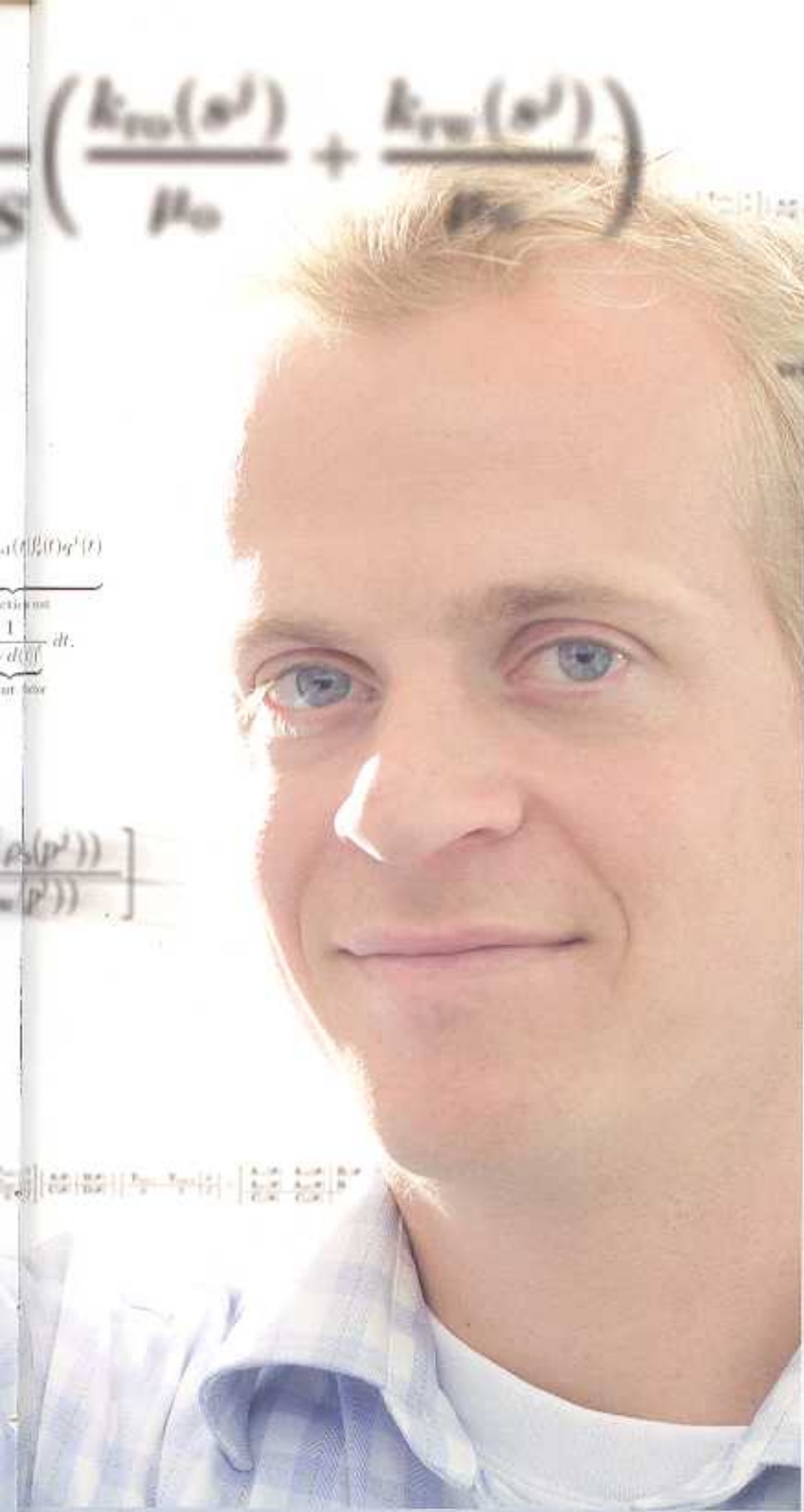
$$\mathbf{T}_{\text{ind},1} \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta} + \Delta \boldsymbol{\theta}) \mathbf{T}_{\text{ind},1}^{-1} - \underbrace{\mathbf{T}_{\text{ind},1} \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{T}_{\text{ind},1}^{-1}}_{=\mathbf{A}_{11}(\boldsymbol{\theta})} = \sum_{j=I_{\text{opt}}(\mathbf{u})}^N \mathbf{T}_{\text{ind},1} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \theta^j}(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{T}_{\text{ind},1}^{-1} \Delta \theta^j + o(\|\Delta \boldsymbol{\theta}\|)$$

$\underbrace{\sum_{t \in N_{\text{prod}}} c_{\text{prod}}(t) [1 - f_w^j(t)] q^j(t)}_{\text{production}} - \underbrace{\sum_{t \in N_{\text{inj}}} c_{\text{inj}}(t) q^j(t)}_{\text{injection cost}} + \underbrace{\sum_{t \in N_{\text{inj}}} c_{\text{inj}}(t) q^j(t)}_{\text{injection cost}} \frac{1}{(1+\delta)^t}$

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}(t)) := \begin{bmatrix} \text{diag}(\phi^j (1 - s^j) \rho_o(p^j) c_o(p^j)) & \text{diag}(-\phi^j \rho_o(p^j)) \\ \text{diag}(\phi^j s^j \rho_w(p^j) c_w(p^j)) & \text{diag}(\phi^j \rho_w(p^j)) \end{bmatrix}$$

Maarten Zandvliet

# Hogere olieproductie door uitgekniende regeltechniek



Het winnen van olie is een complexe bezigheid. Zo is het nooit exact bekend hoe de opbouw van een oliereservoir is en waar bijvoorbeeld ondoorlatende zones zitten. Promovendus Maarten Zandvliet van het Delft Center for Systems and Control onderzoekt hoe meet- en regeltechniek in deze onzekere situatie kan helpen bij het vergroten van de totale hoeveelheid te winnen olie.

"Oliewinning gaat niet zoals in de Donald Duck", benadrukt Zandvliet. "Het is geen kwestie van een gat boren, waarna het zwarte goud - dat volgens de striptekeningen als een grote bel in de grond zit - in onbepaalde hoeveelheden naar boven stroomt. Om te beginnen zit olie niet in bellen in de ondergrond, maar in poreus gesteente op honderden tot duizenden meters onder het aardoppervlak."

## Dynamischer

"Het volgende probleem is dat de olie alleen in het begin vanzelf, zoals in de Donald Duck, via de geboorde putten naar boven stroomt. Al gauw moet water of gas via zogeheten injectieputten worden geïnjecteerd om de druk in het reservoir op peil te houden en de olie naar de productieputten te stuwten. Bij de conventionele aanpak staan de kleppen van de injectie- en productieputten in het begin helemaal open. Komt er vervolgens te veel water uit een productieput, dan wordt deze gesloten. Deze aanpak noemen we reactive control. Een dynamischer aanpak, optimal control, gaat ervan uit dat je de kleppen op ieder moment in alle mogelijke standen kunt zetten om gedurende de levensduur van het reservoir zoveel mogelijk olie te produceren."

## Onzekerheden

"Ik heb onderzocht bij welke standen van de kleppen de meeste olie kan worden gewonnen. Daarbij ben ik uitgegaan van modellen van een oliereservoir, die geologen maken op basis van diverse meetgegevens. Met die modellen proberen ze zo goed mogelijk de vorm en structuur van het reservoir te beschrijven. In de praktijk blijkt dat enorm moeilijk. De modellen gaan dan ook gepaard met veel onzekerheden. Je kunt nu eenmaal niet in de diepe ondergrond kijken en moet dus allerlei aannames maken over bijvoorbeeld gesteente-eigenschappen. Dat betekent dat er vaak een hele reeks modellen mogelijk is, waarbij onduidelijk is welk model de werkelijkheid het beste benadert."

## Veel geduld

"Ik bereken de optimale klepstanden dan ook niet voor één model, maar voor honderd verschillende modellen van hetzelfde oliereservoir. Anders gezegd, ik ga na welke combinatie van klepstanden leidt tot de hoogste gemiddelde olieproductie over alle honderd modellen. Dat zoeken naar optimale klepstanden lijkt wel een beetje op een computerspel waarbij je een zo hoog mogelijke score probeert te halen. Maar dan wel een spel waarvoor je veel geduld moet hebben. Als je een veld met een groot aantal putten hebt, vergen de berekeningen namelijk veel tijd. Zo was ik op de snelle computers bij Shell voor het berekenen van de optimalisaties al gauw drie weken kwijt."

## Uitdagingen

"De uitkomst van mijn berekeningen is interessant voor oliebedrijven. Zo blijkt de totale gemiddelde olieproductie over alle honderd modellen aanzienlijk hoger te zijn als je uitgaat van optimal control. Zelf denk ik dat er nog meer mogelijk is. Nu ben ik bijvoorbeeld uitgegaan van een oliereservoir waar het aantal en de locatie van de putten al vaststond. Een volgende stap kan zijn dat je kijkt in hoeverre je met de locatiekeuze van putten de olieopbrengst kunt verhogen. Wat dat betreft vind ik het erg leuk dat ik de meet- en regeltechniek nu toepas in de olie- en gaswereld. De uitdagingen zijn er heel groot en je krijgt de kans om nieuwe dingen toe te passen. Ik overweeg dan ook serieus om na mijn promotie een tijdje in die wereld te gaan werken, al zie ik me later wel weer de wetenschap in gaan."