

Numeriske modeller for energiudnyttelsen

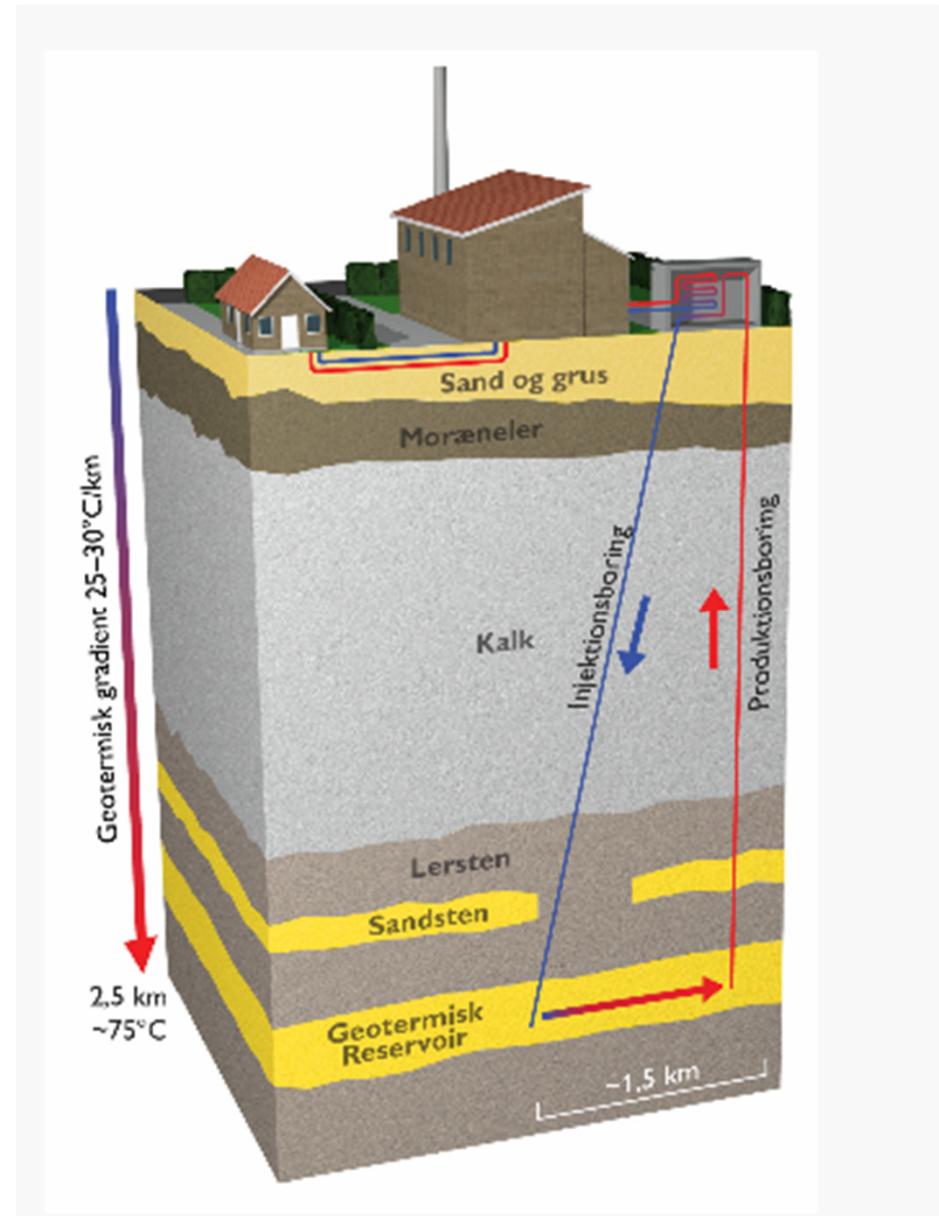
Niels Balling

Bidrag fra
Marton Major og Søren Erbs Poulsen



Niels Balling
Institut for Geoscience
Aarhus Universitet

Konceptet med to borer- produktion og reinjektion



Konceptet

Ved kombineret geotermisk produktion og reinjektion hentes der varme fra det geotermiske reservoirsystem.

Der sker en afkøling af området omkring den kolde injektionsboring.

Produktionskapacitet og "termisk levetid" afhænger af undergrundens temperatur, de hydrauliske og termiske egenskaber samt produktionsprofil.



Væsentlige elementer i WP4

Tilvejebringe information om

Hvor meget energi, der kan hentes fra et givet geotermisk reservoirmsystem

Bæredygtig og hensigtsmæssig produktion med forskellige kombinationer af produktions- og injektionsboringer

Kombineret geotermisk produktion og varmelagring



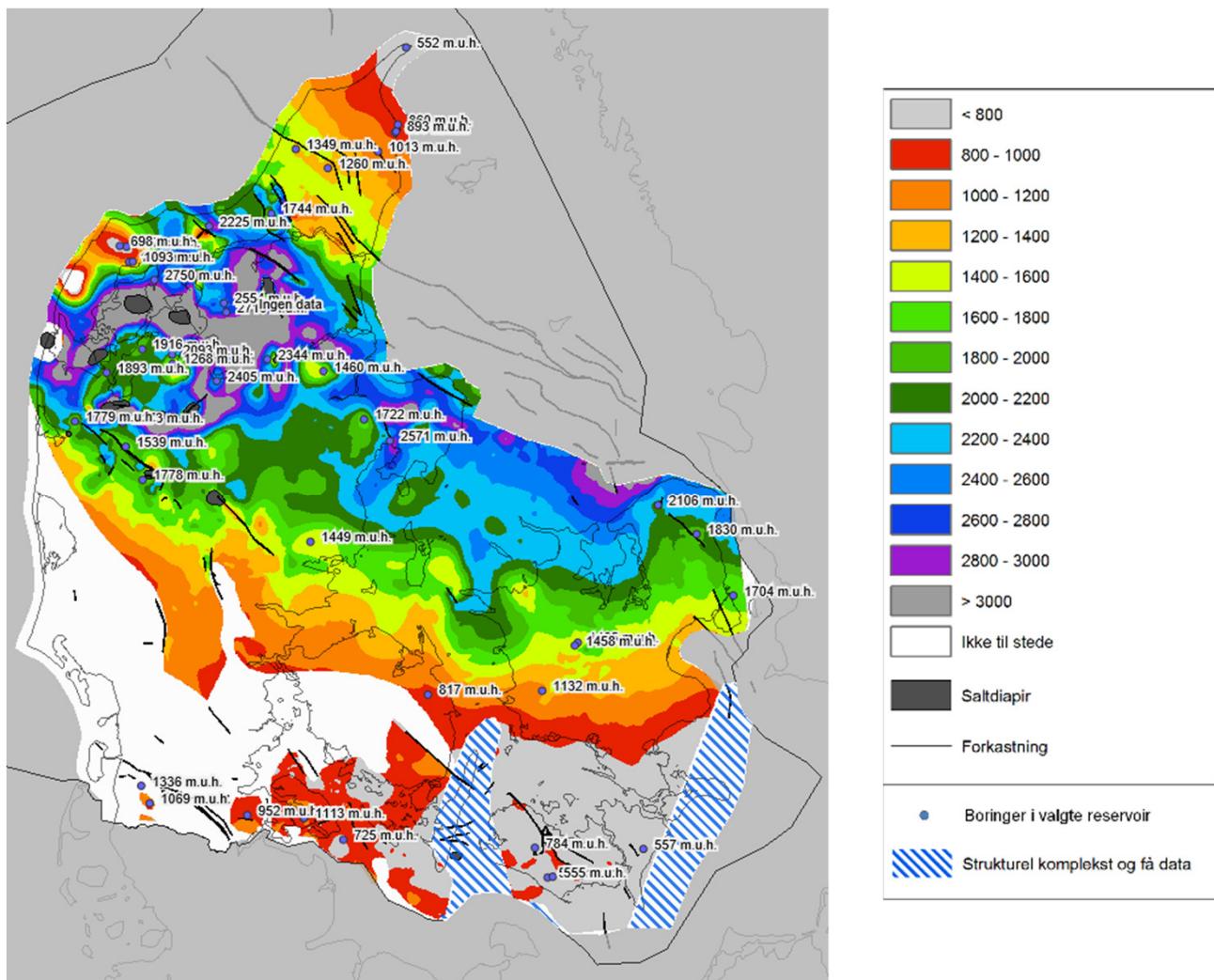
Fra tidlige geotermiske forskningsprojekter

Alment, regionalt kendskab til geotermiske reservoirer
i den danske undergrund

Dybde og reservoiresgenskaber



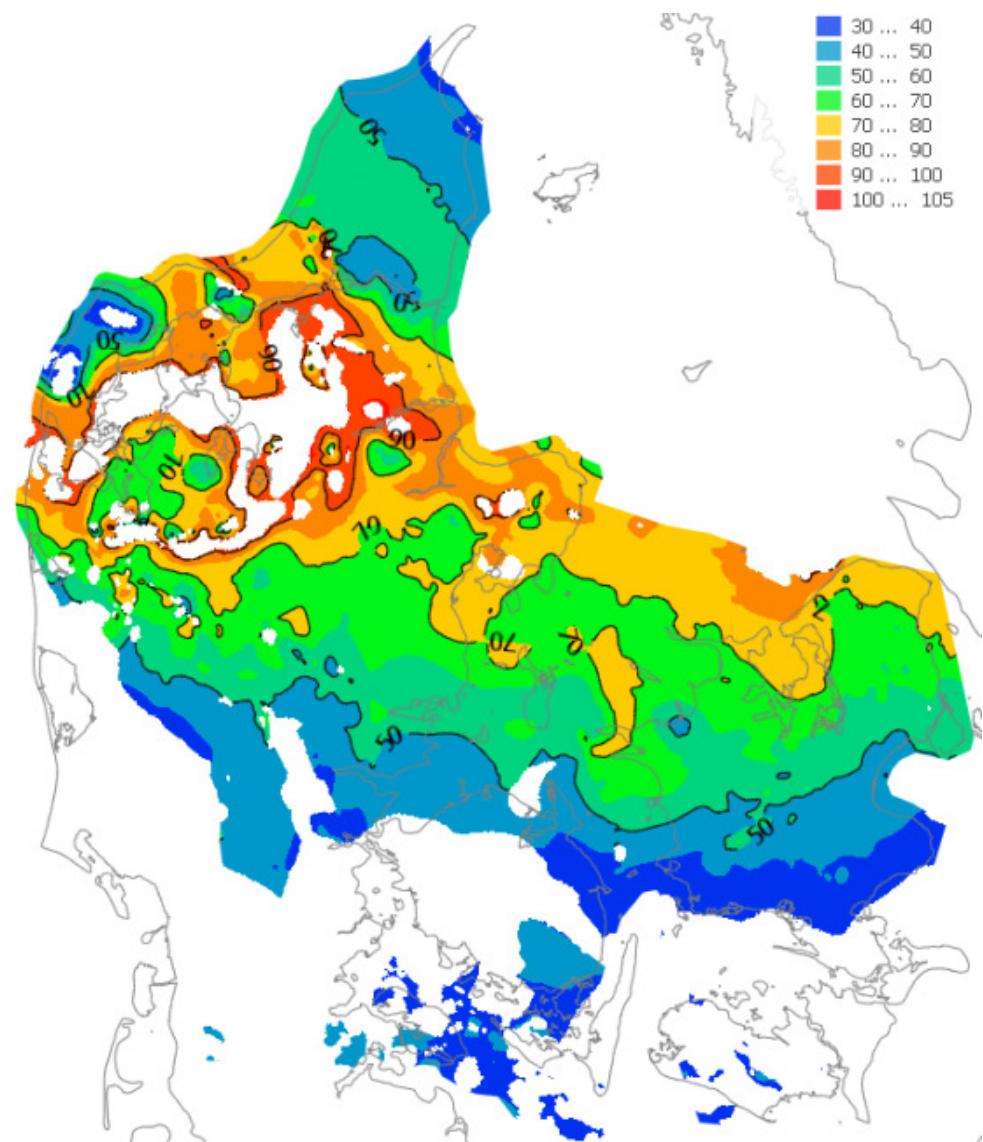
Gassum reservoir Dybde (m)



Gassum reservoir Temperatur

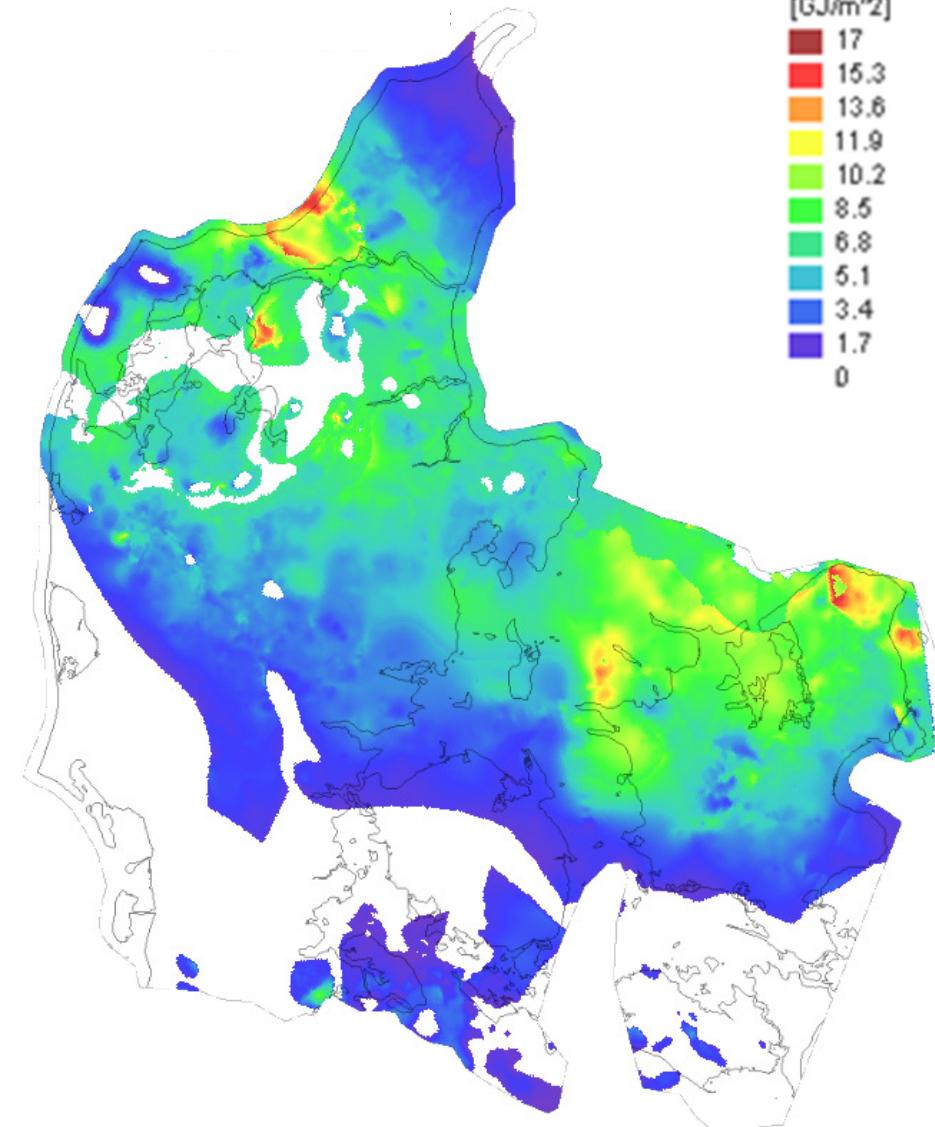
Dybde 800- 3000 m
(Min. tykkelse 30 m)

Interval: ca. 30 -100 °C
Store områder med 50 – 80 °C

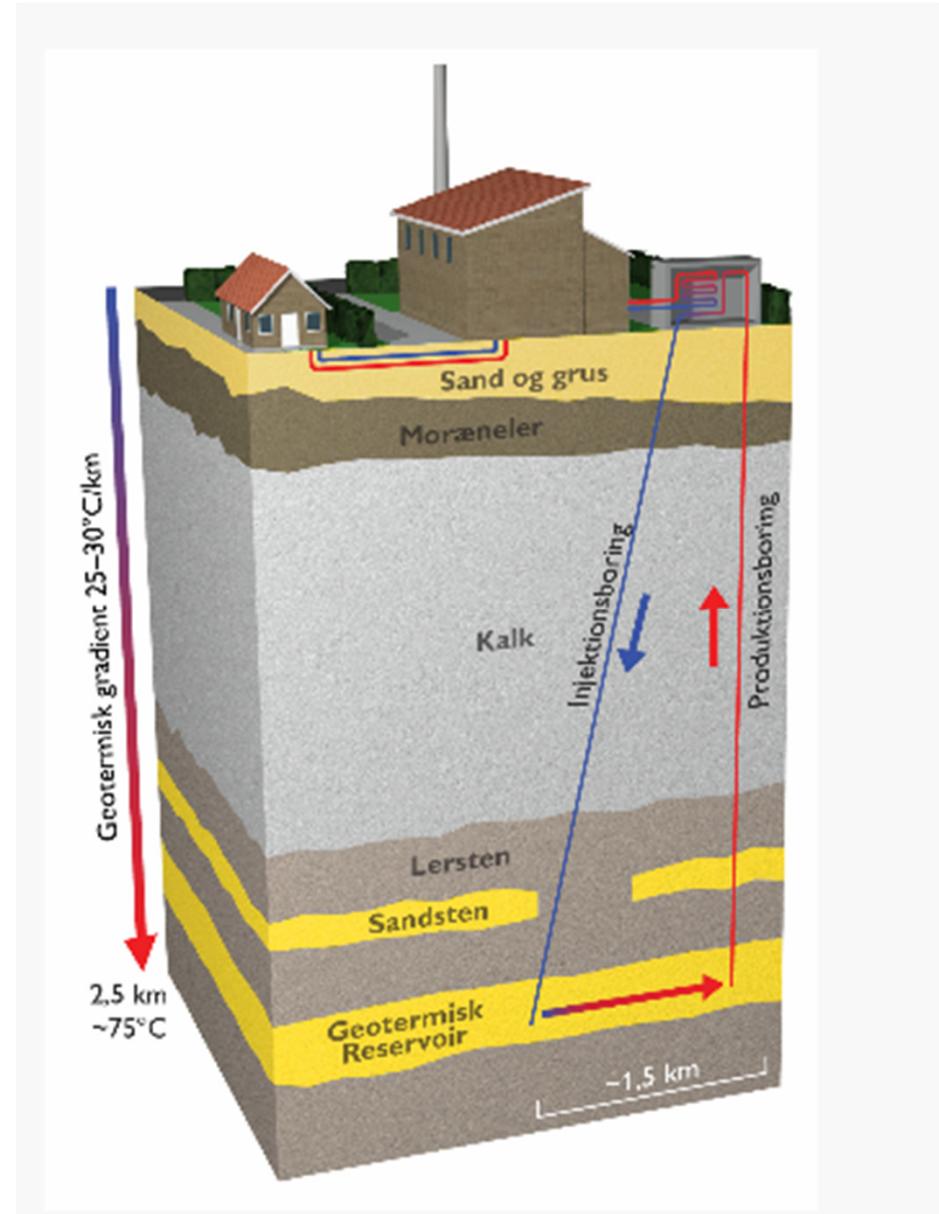


Gassum reservoir Ressourcer

Enorme mængder af
energi



Konceptet med to borer- produktion og reinjektion



Geotermisk anlæg

Produktionskapacitet

Effekt = flow rate x varmekapacitet x temperaturforskel

Temperaturforskel: forskel mellem produktion og injektion

Eksempel

Flow rate: 100 m³/time = 28 kg/s

Varmekapacitet: 4200 J/kg/°C

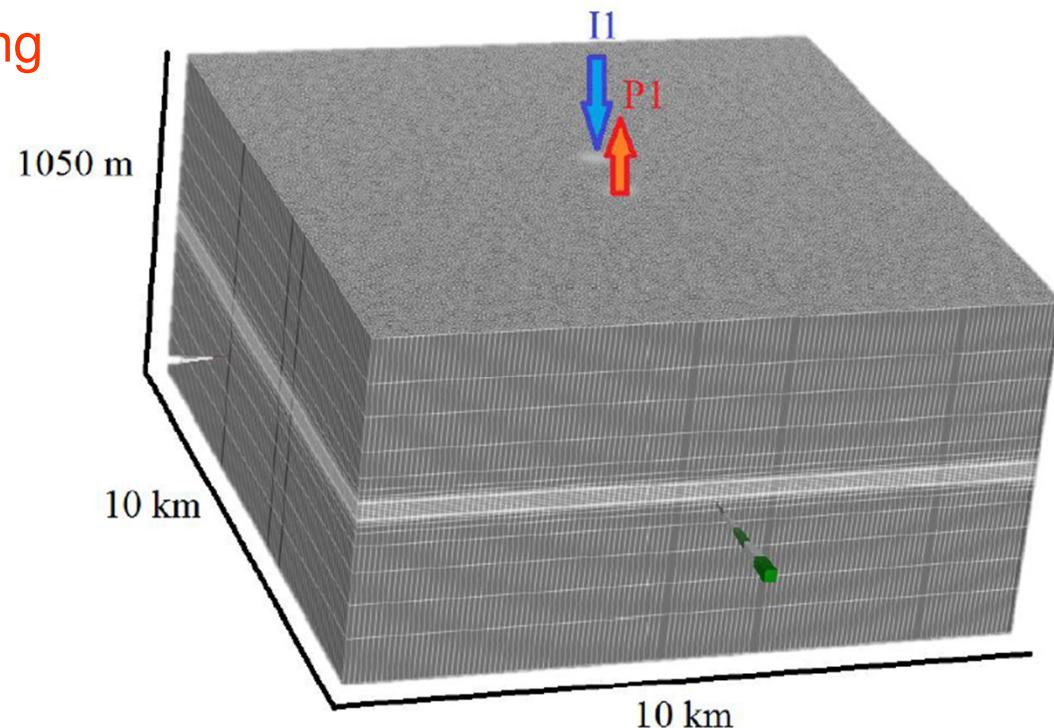
Temperaturforskel: 50°C

Termisk effekt 5,9 MW



To boringer- produktion og reinjektion

Model med parameterisering
af undergrunden



Metode

State-of-the-art numerisk geotermisk reservoir-simulering

Ligninger for varme- og vandstrøm

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q$$

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K}f_\mu \left(\nabla h + \frac{\rho_f - \rho_0}{\rho_0} \mathbf{e} \right)$$

$$(\rho c)_b \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot [(\lambda_b \mathbf{I} + (\rho c)_b \mathbf{D}) \cdot \nabla T] - (\rho c)_f \mathbf{q} \cdot \nabla T + H$$

Modellering med software: FEFLOW



Reservoirsimulering

Eksempler



Temperaturudvikling ved produktion

Model

To borer afstand: 1200 m

Produktionsrate: 150 m³/t

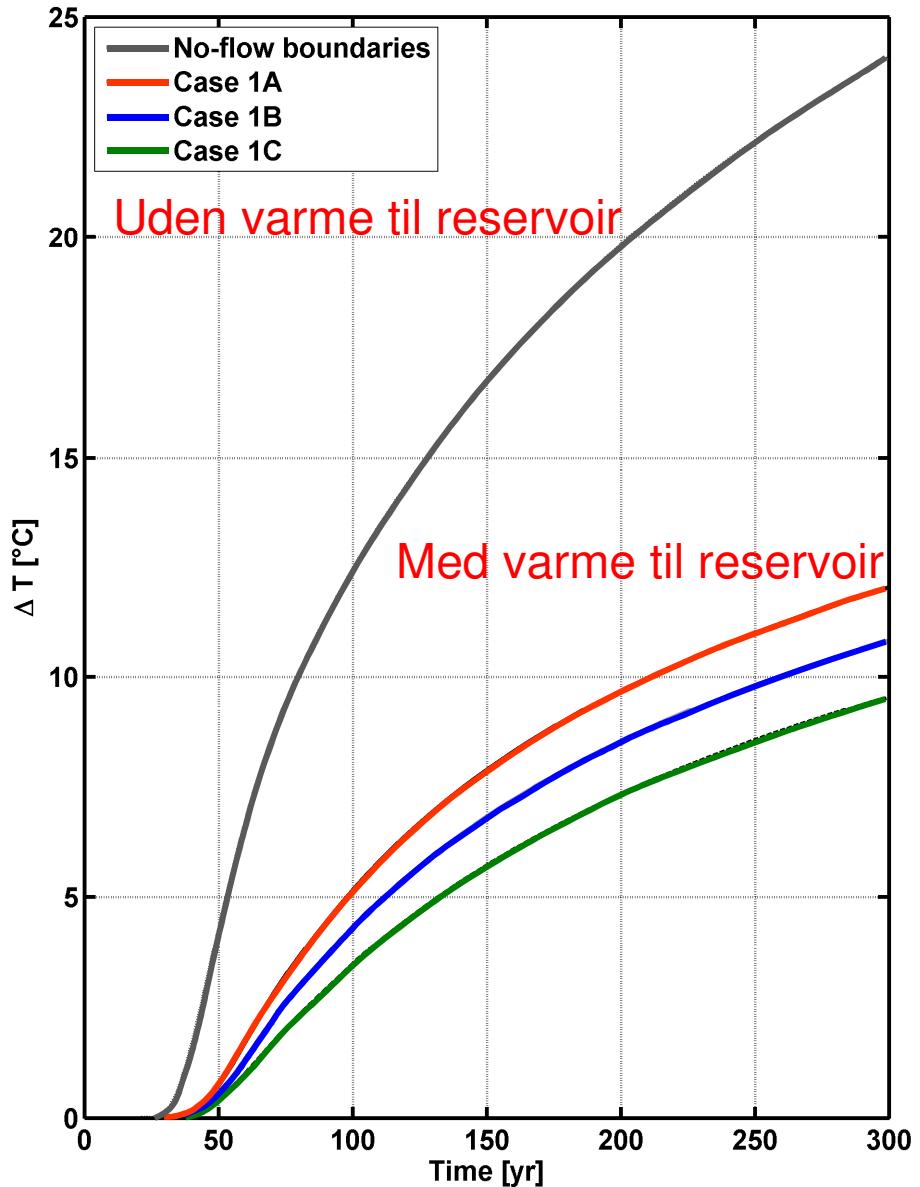
Reservoirtemperatur: 75 °C

Injektionstemperatur: 20 °C

Reservoirtykkelse: 50 m

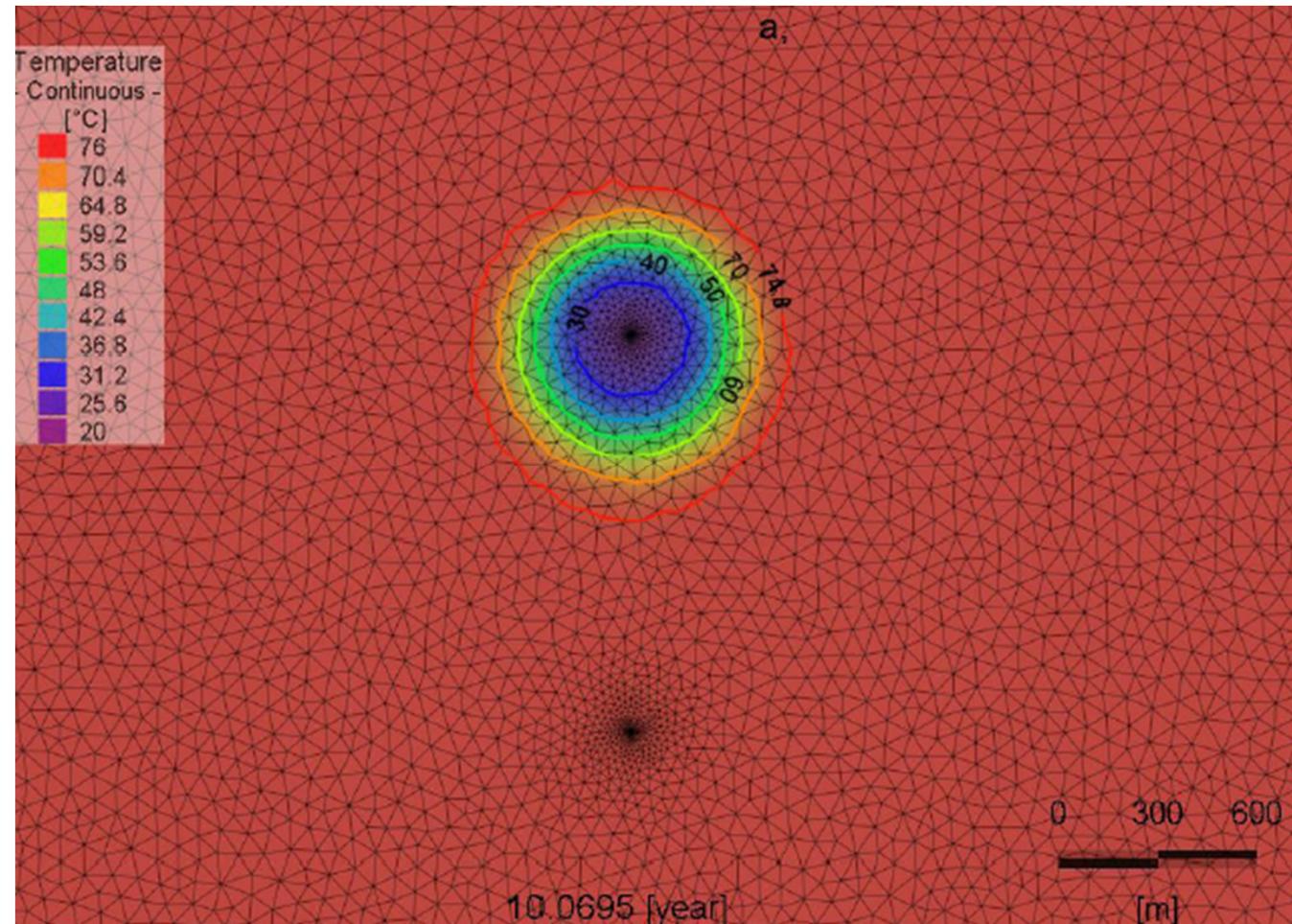
Temperaturfald

5 - 10 °C efter 100-200 år



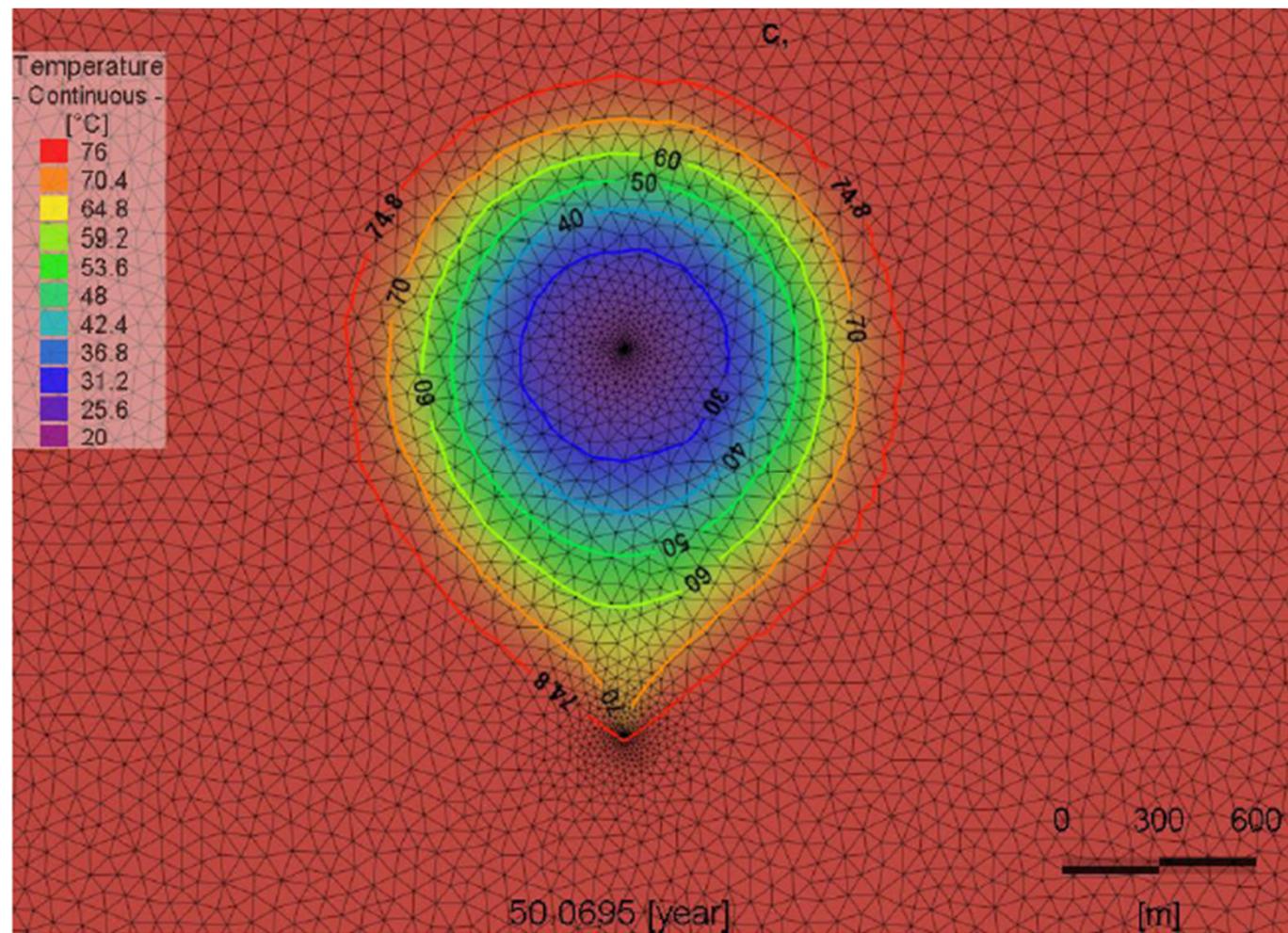
Temperatur i midt reservoir

Efter 10 år



Temperatur i midt reservoir

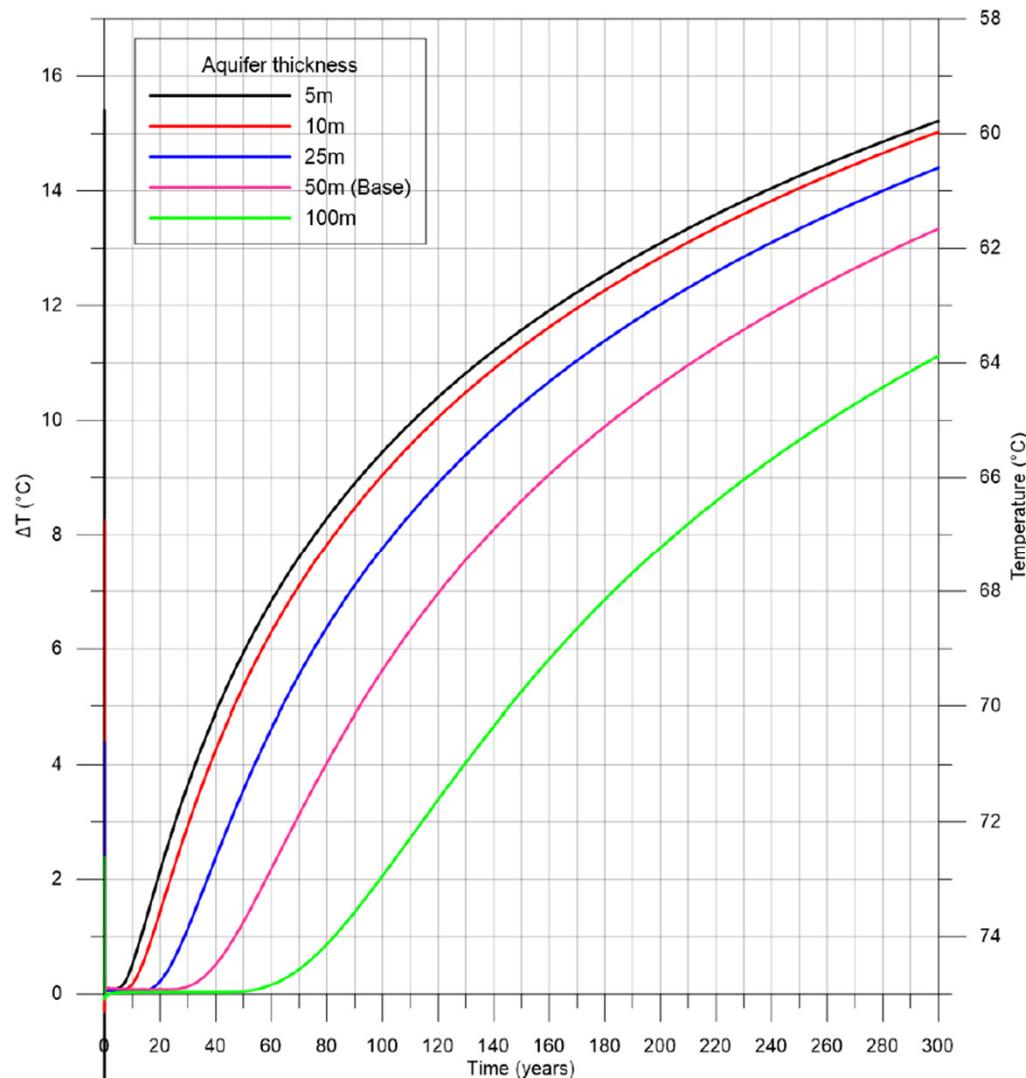
Efter 50 år



Temperaturudvikling ved forskellig reservoirtykkelse

5 – 100 m

Begrænset temperaturfald
også ved
små reservoirtykkelser

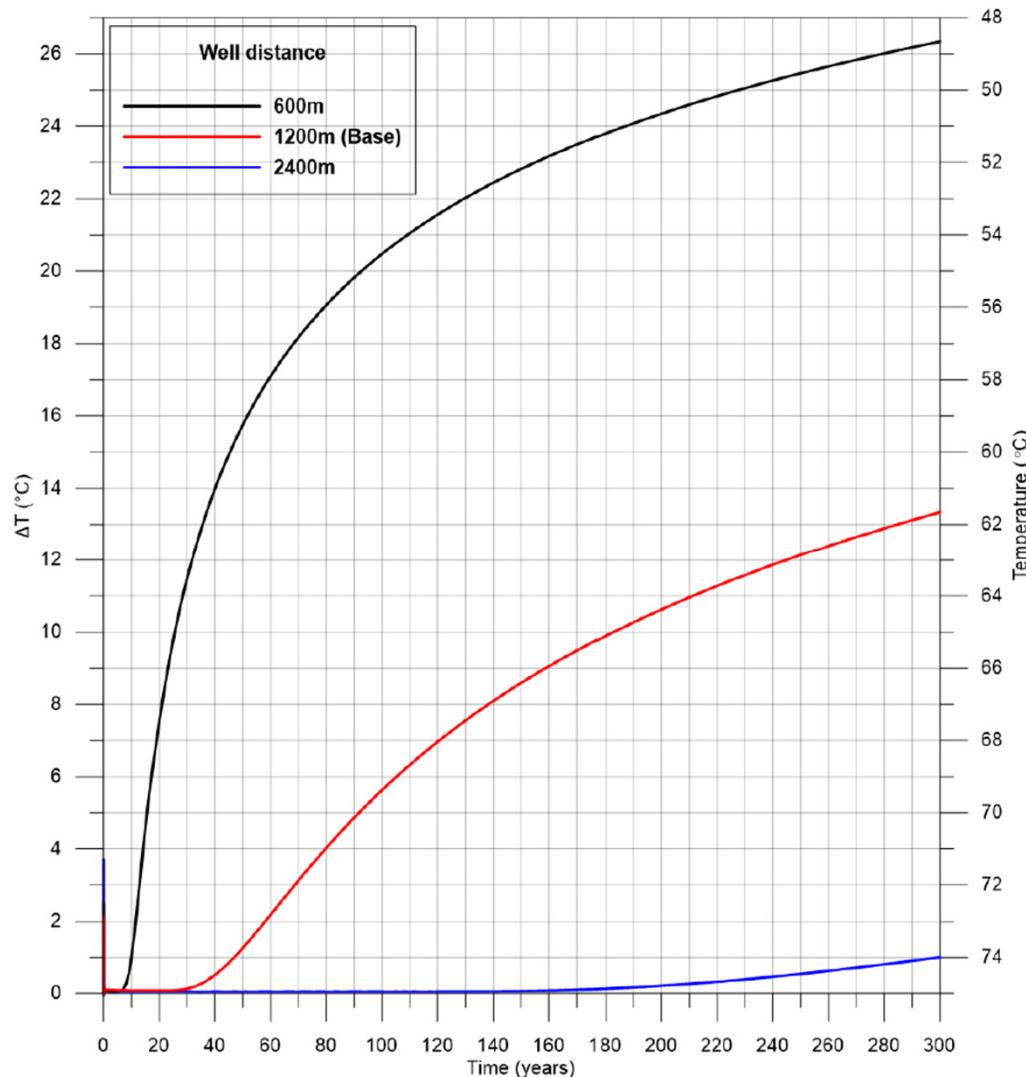


Temperaturudvikling ved forskellig afstand mellem borer

600 m

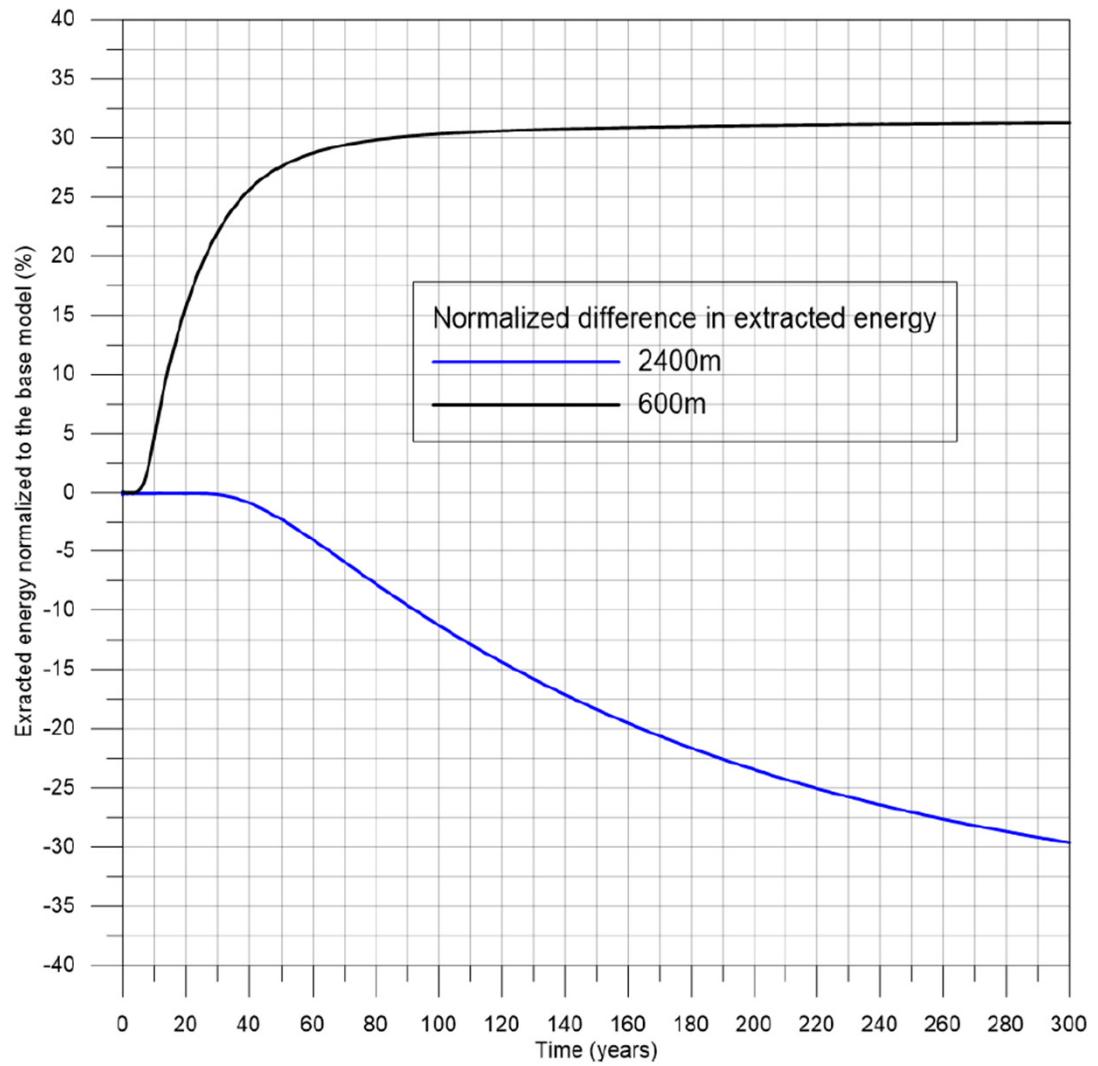
1200 m

2400 m

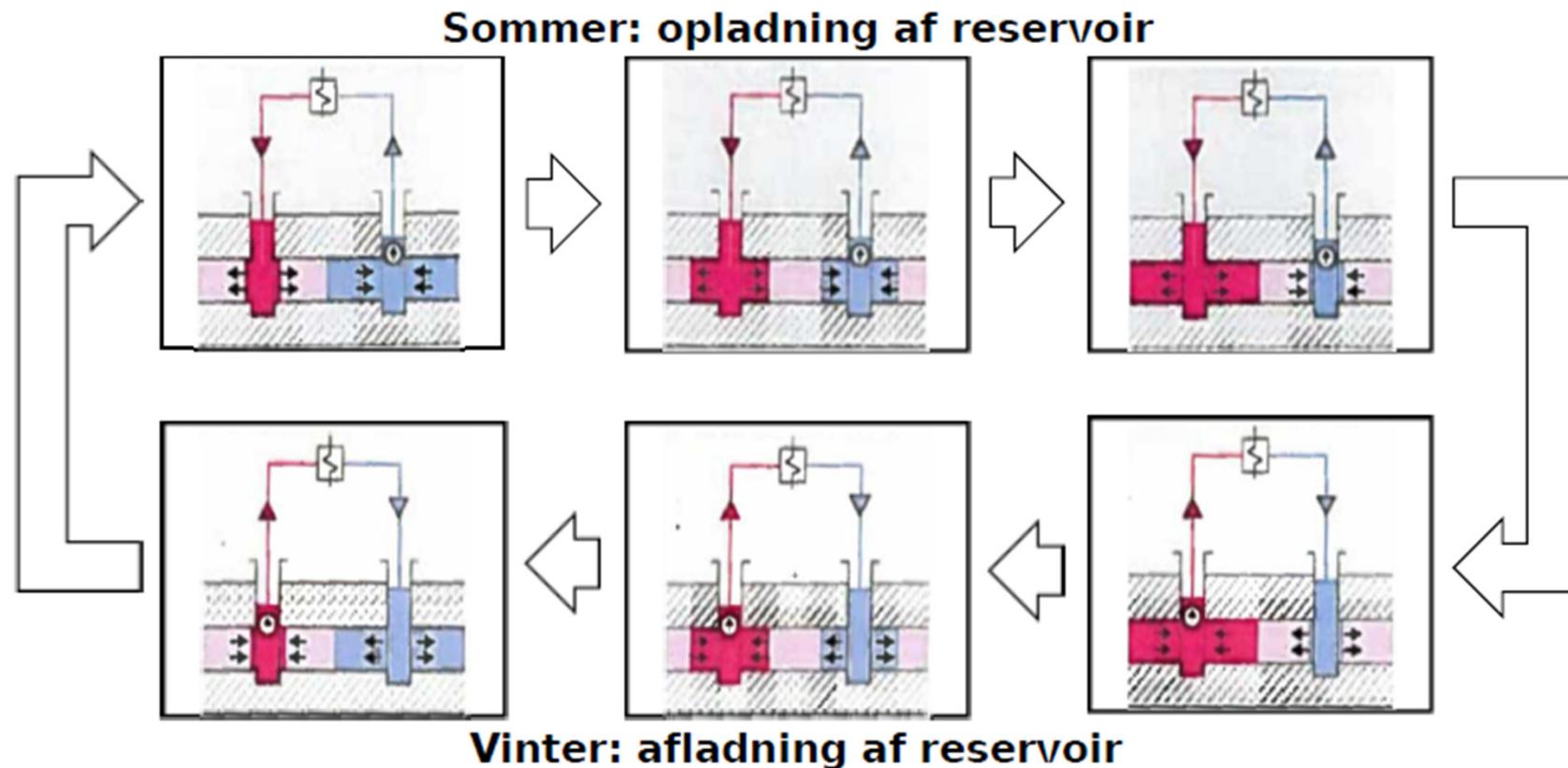


Forskelse i produceret energi

Forskelse over lang tid
op til +/- ca. 30%

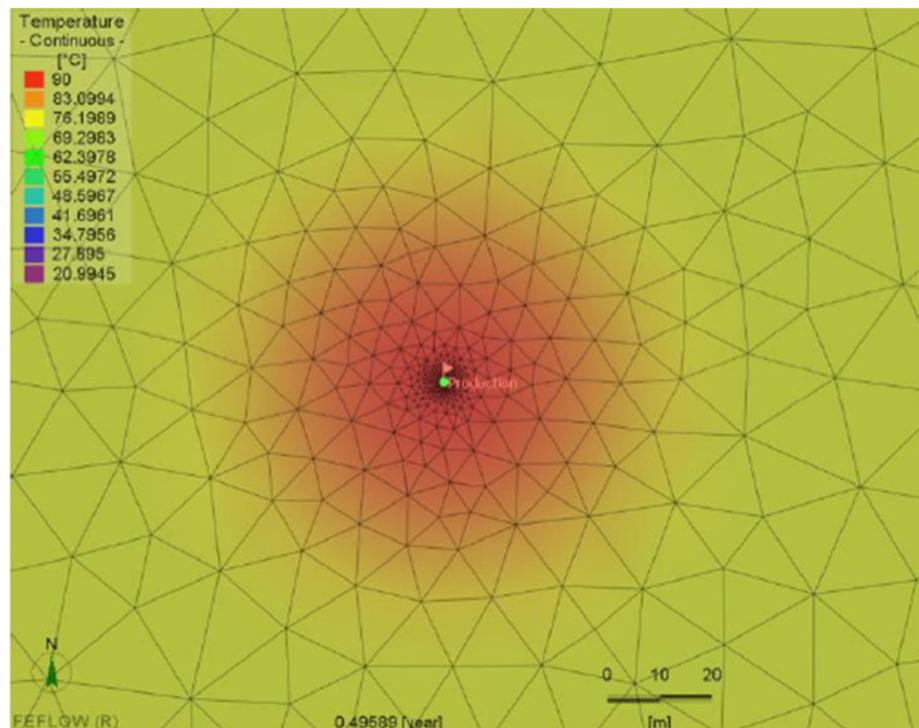


Kombineret geotermisk udnyttelse og varmelagring

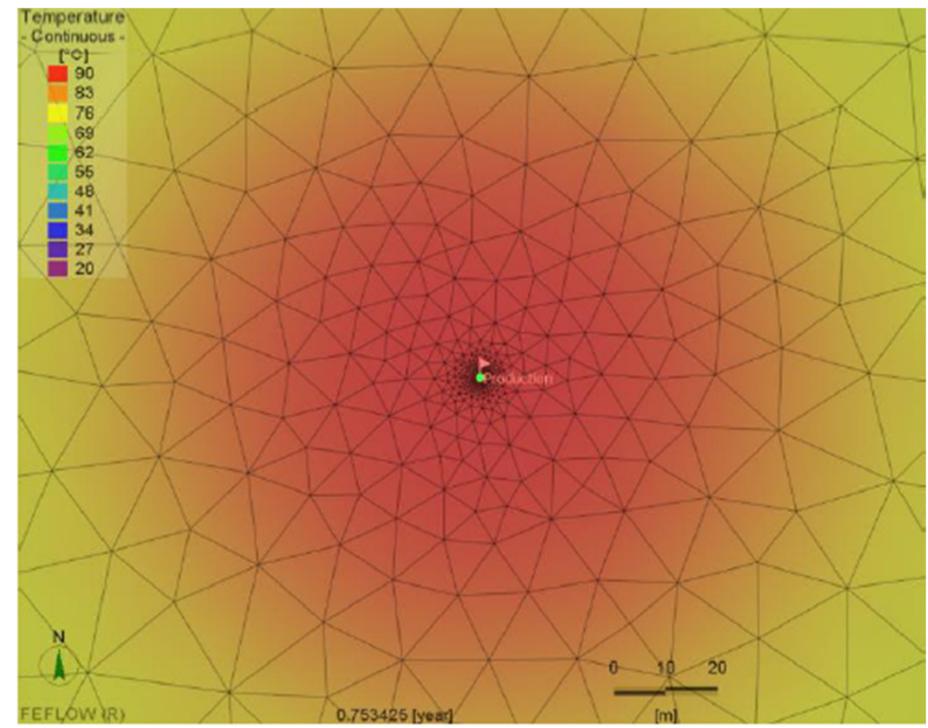


Eksempel
Reservoir 75 °C, lagring 90 °C
Injektion 20 °C
Flowrate:150 m³/t

1 mdr.



4 mdr.



Kombineret geotermisk udnyttelse og varmelagring

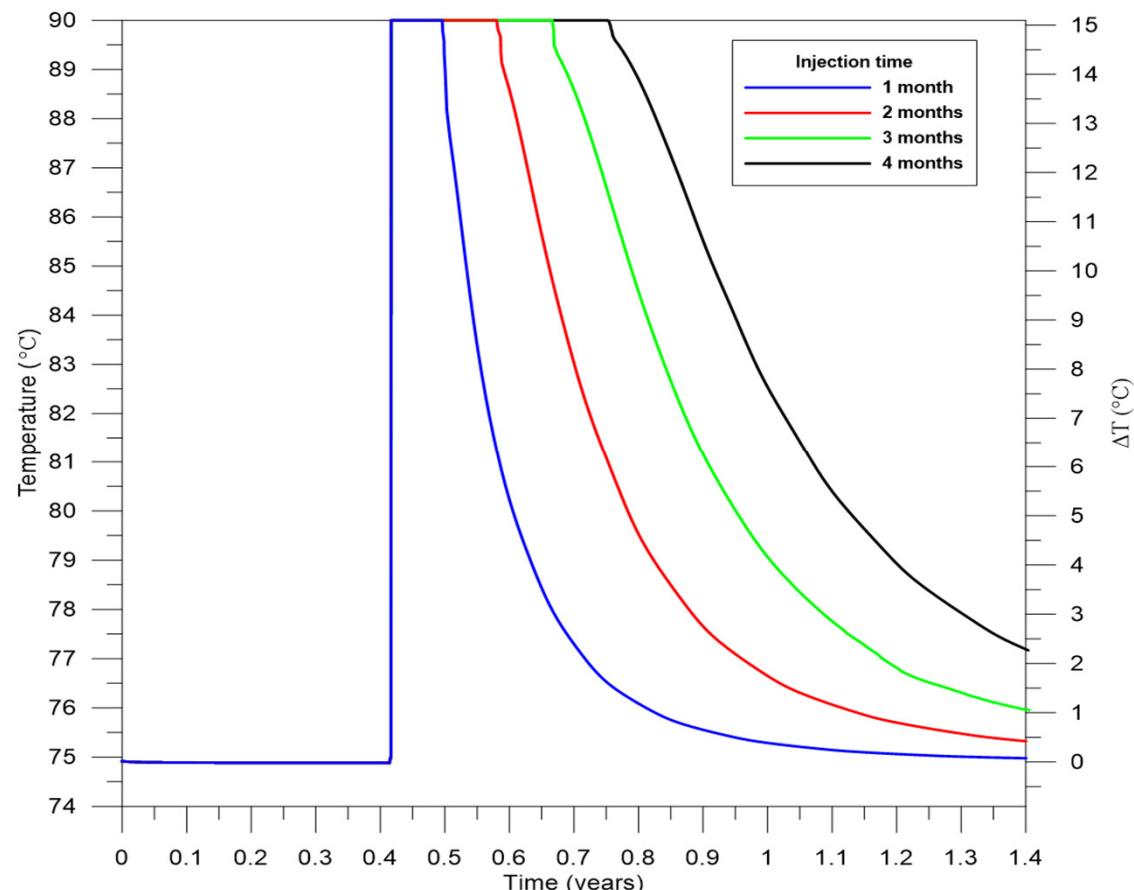
Eksempel

Reservoir 75 °C, lagring 90 °C

Injektion 20 °C

Flowrate: 150 m³/t

Lagring i 1- 4 mdr.



Kombineret energiudnyttelse og varmelagring

Eksempel

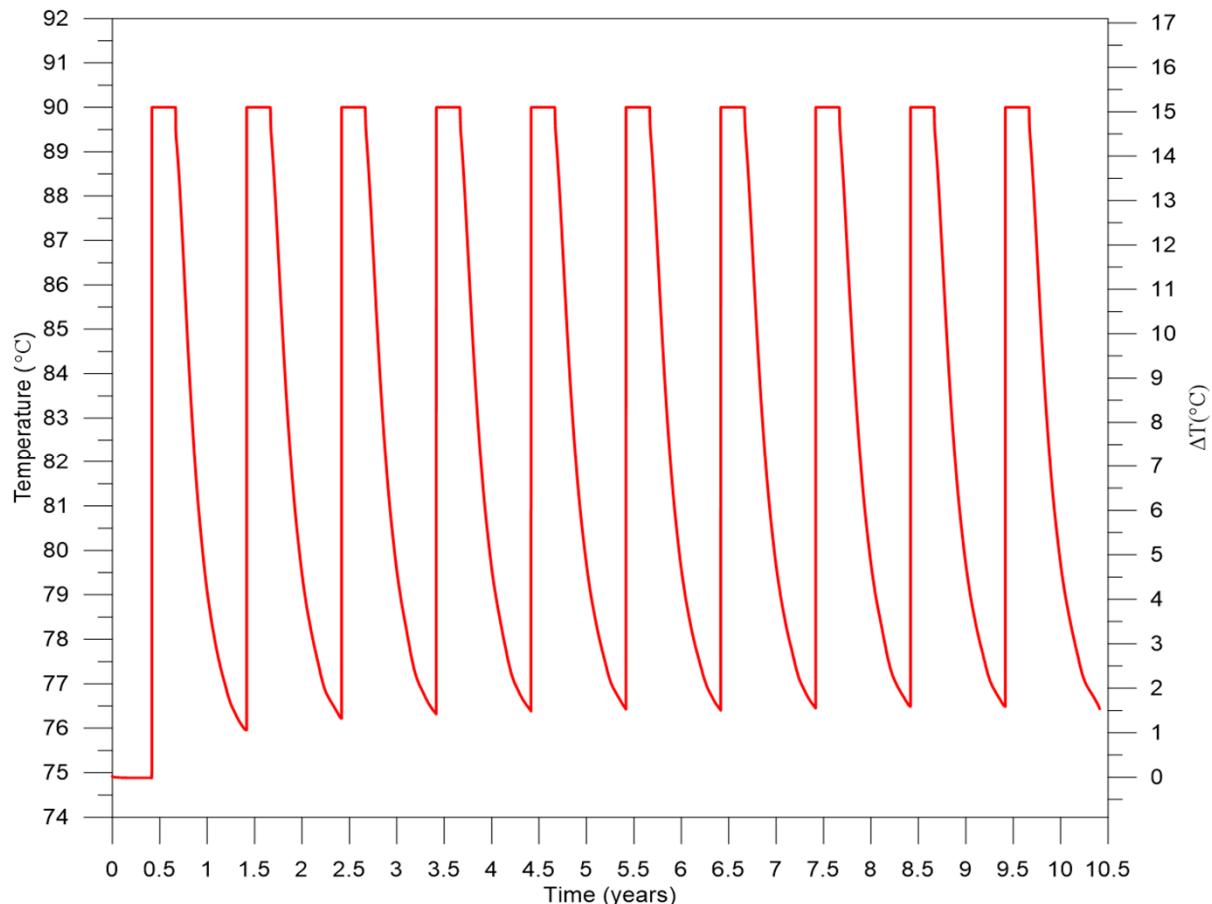
Reservoir 75 °C, lagring 90 °C

Injektion 20 °C

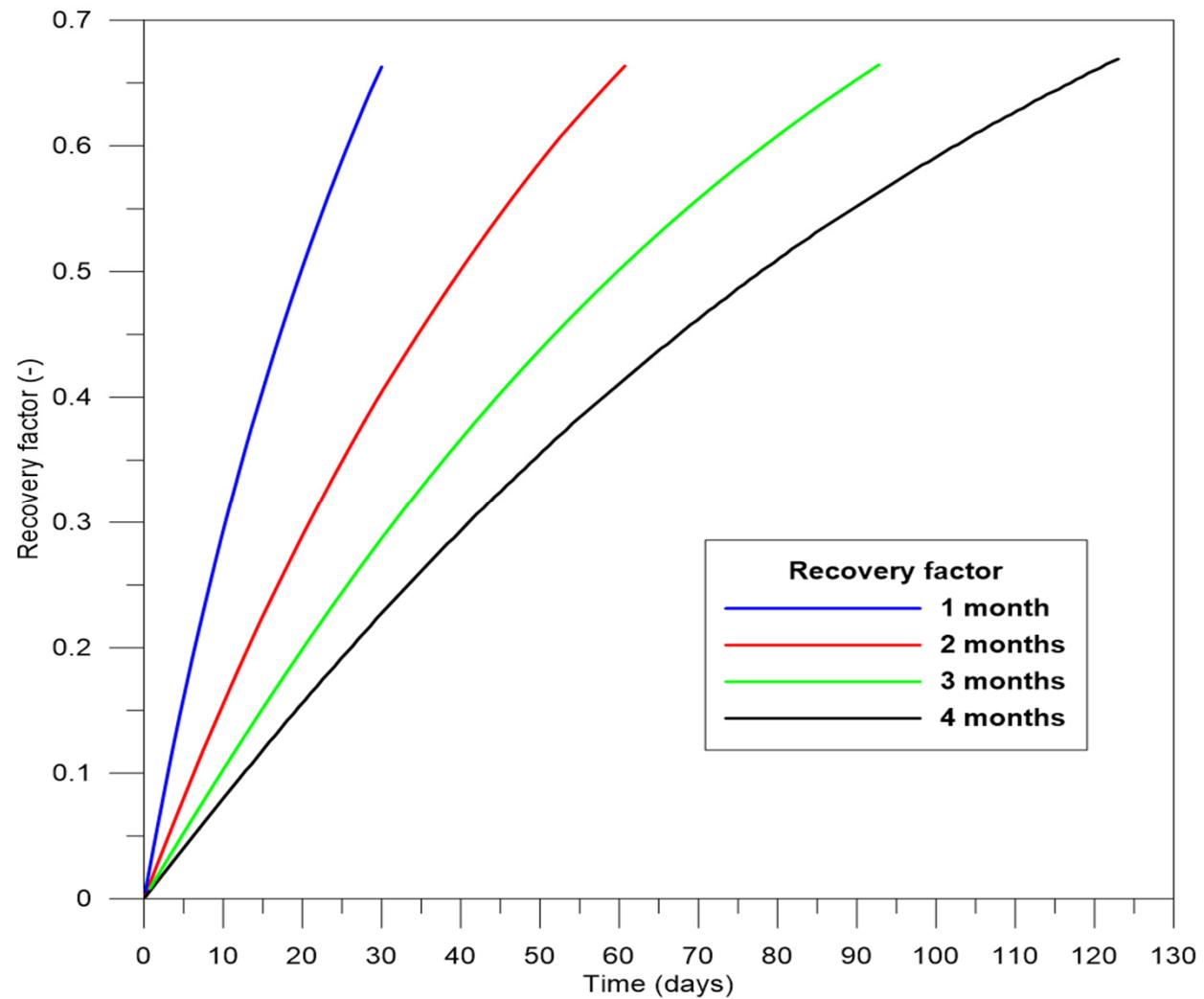
Flowrate: 150 m³/t

10 perioder

Lagring i 3 mdr.



Modelleret recovery factor



Numerisk reservoirsimulering kan

Tilvejebringe væsentlig information om

Hvor meget energi, der kan hentes fra et givet geotermisk reservoirsystem

Bæredygtig og hensigtsmæssig produktion med forskellige kombinationer af produktions- og injektionsboringer

Kombineret geotermisk produktion og varmelagring



Tak for opmærksomhed

