

Modellering af
injektionsvandets udbredelse
samt
sæsonlagring

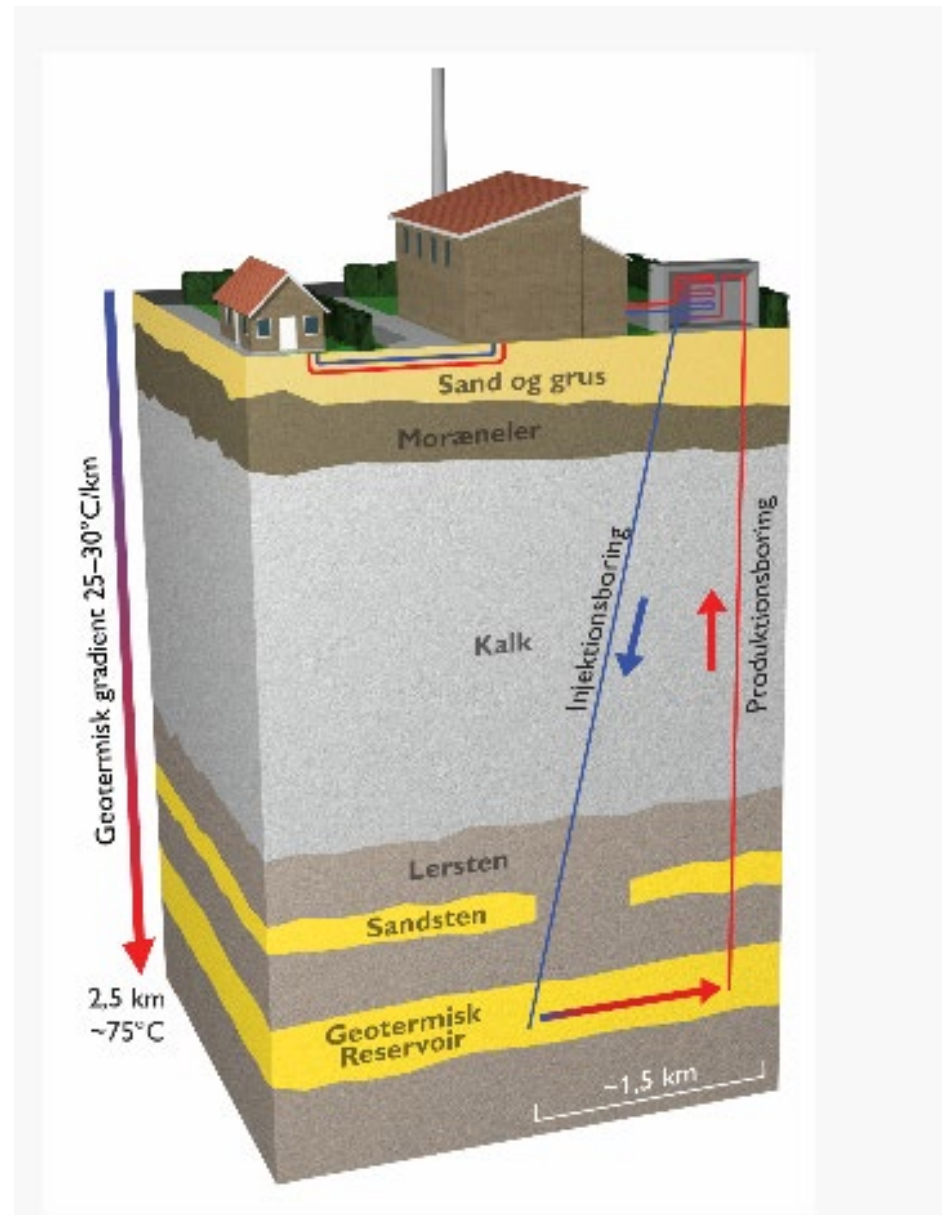
Niels Balling

Bidrag fra

Marton Major, AU og Carsten M. Nielsen, GEUS



Konceptet med to boringer- 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"** for anlæg afhænger af:

- **Reservoiregenskaber**: Tykkelse, temperatur, permeabilitet mv.
- **'Parametre' for anlæg**: Produktionsprofil, afstand mellem boringer mv.



Fra tidligere geotermiske forskningsprojekter samt GEOTHERM:

Alment, regionalt kendskab til geotermiske reservoirer
i den danske undergrund

- Dybde
- Temperatur
- Reservoiregenskaber



Geotermisk anlæg

Produktionskapacitet

Effekt = flow rate x varmekapacitet x temperaturforskel

Temperaturforskel: forskel mellem produktion og injektion

Eksempel

Flow rate: $100 \text{ m}^3/\text{time} = 28 \text{ kg/s}$

Varmekapacitet: $4200 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$

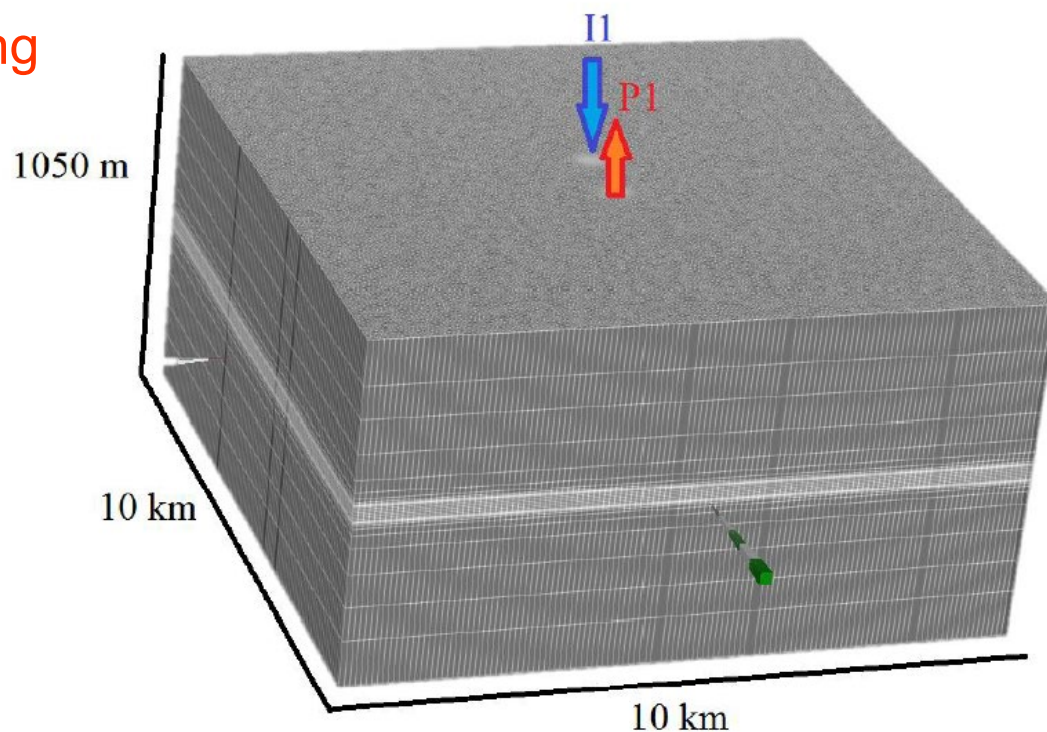
Temperaturforskel: 50°C

Termisk effekt **5,9 MW**



To borer- produktion og injektion

Model med parameterisering
af undergrunden



Metode

Numerisk geotermisk reservoir-simulering

Ligninger for varme- og vandstrøm

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

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

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

State-of-the-art software: FEFLOW (AU) og Eclipse
(GEUS)



Reservoir-simulering

Eksempler

Konceptionelle modeller

Danske anlæg



Temperaturudvikling ved produktion

Model

To borer afstand: 1200 m

Produktionsrate: 150 m³/t

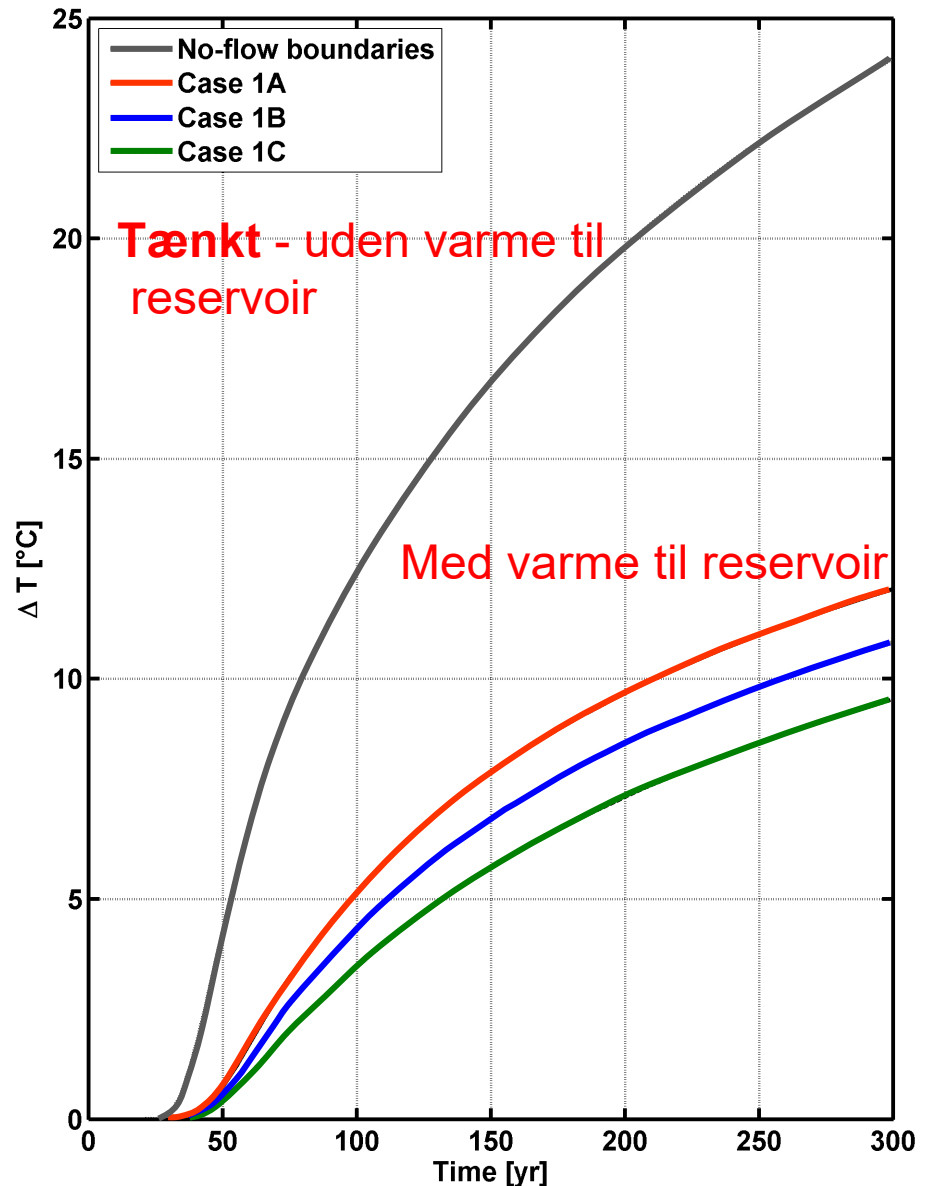
Reservoirtemperatur: 75 °C

Injektionstemperatur: 20 °C

Reservoirtykkelse: 50 m

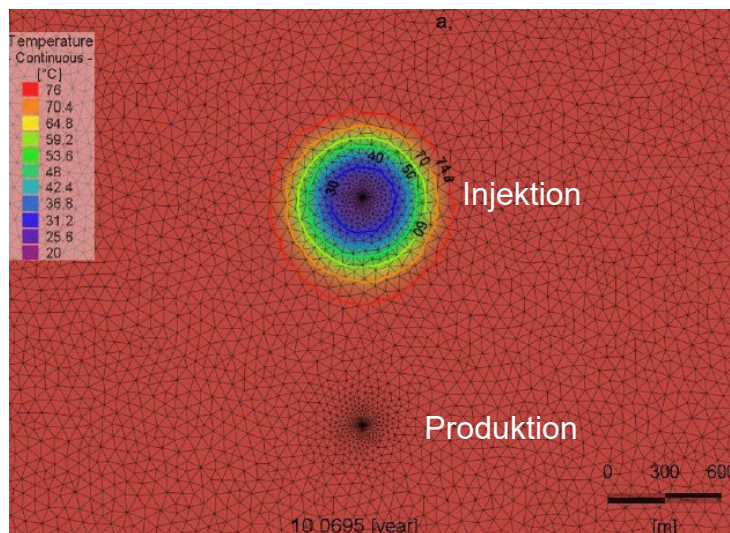
Temperaturfald

5 -10 °C efter 100-200 år

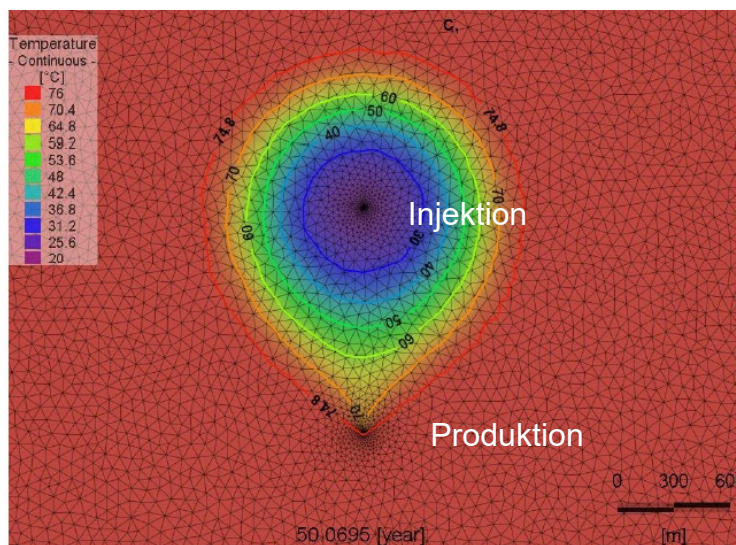


Temperatur i midt reservoir

Efter 10 år



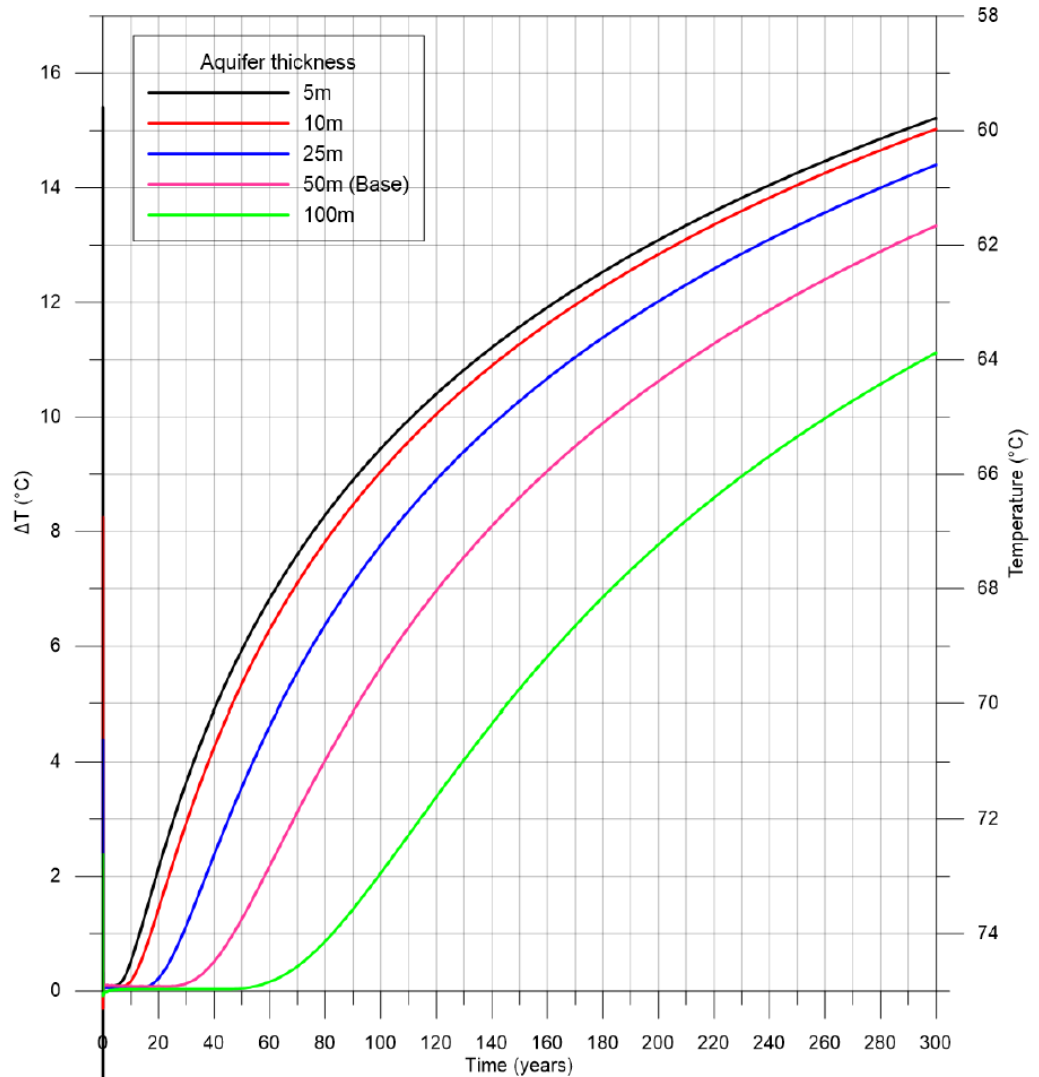
Efter 50 år



Temperaturudvikling Variabel reservoirtykkelse

5 – 100 m

Begrænset temperaturfald
også ved
små reservoirtykkelser



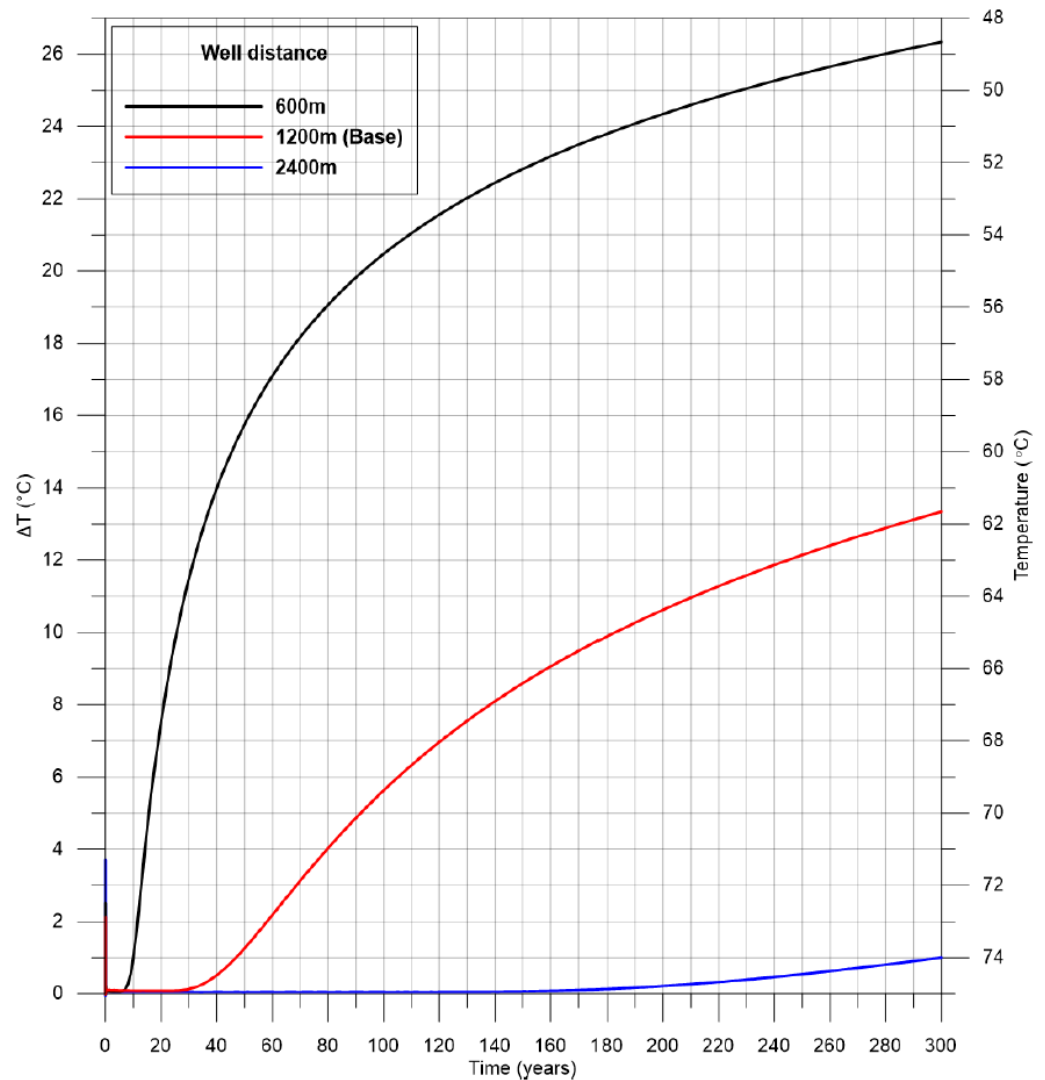
Temperaturudvikling Variabel afstand mellem boringer

600 m

1200 m

2400 m

Signifikant effekt
af afstand



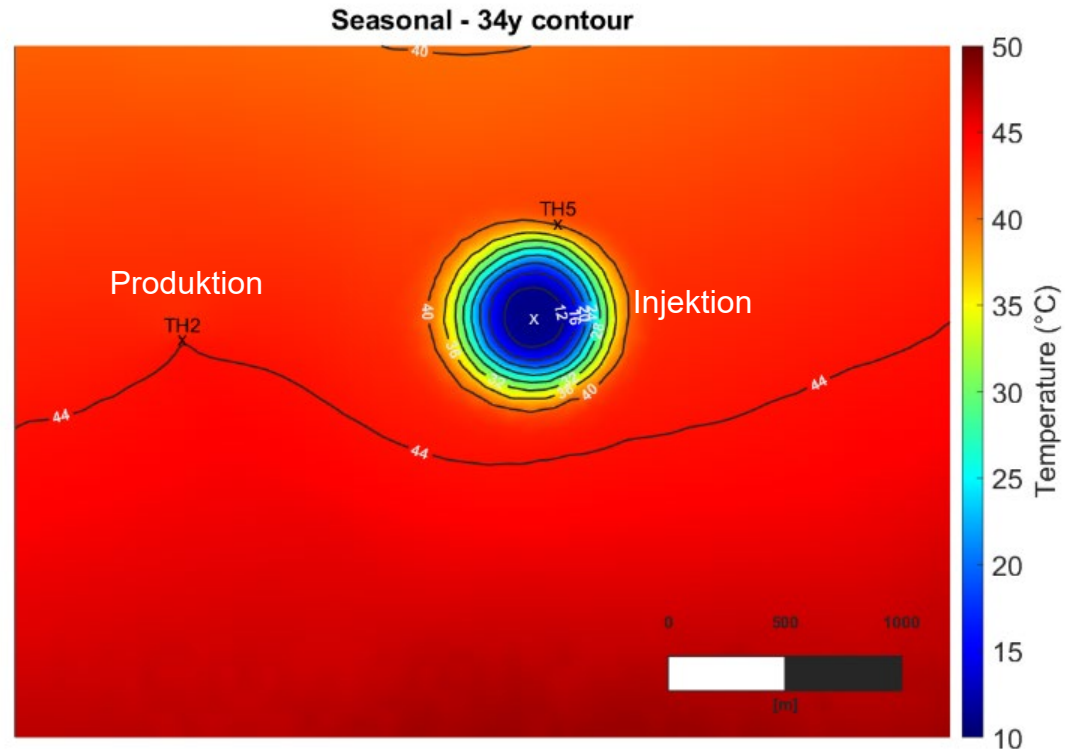
Modellering af danske anlæg

Thisted og Sønderborg



Thisted

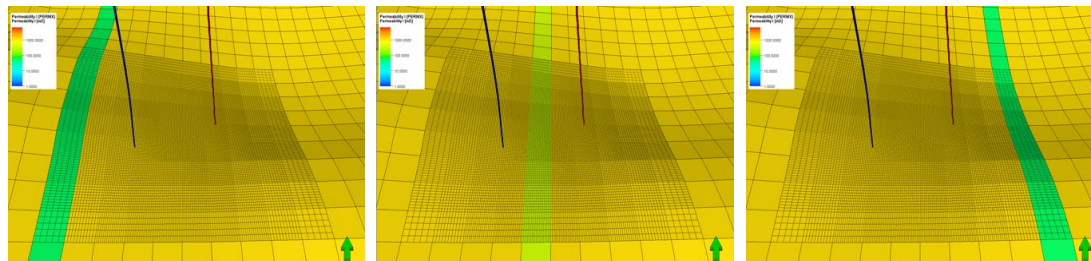
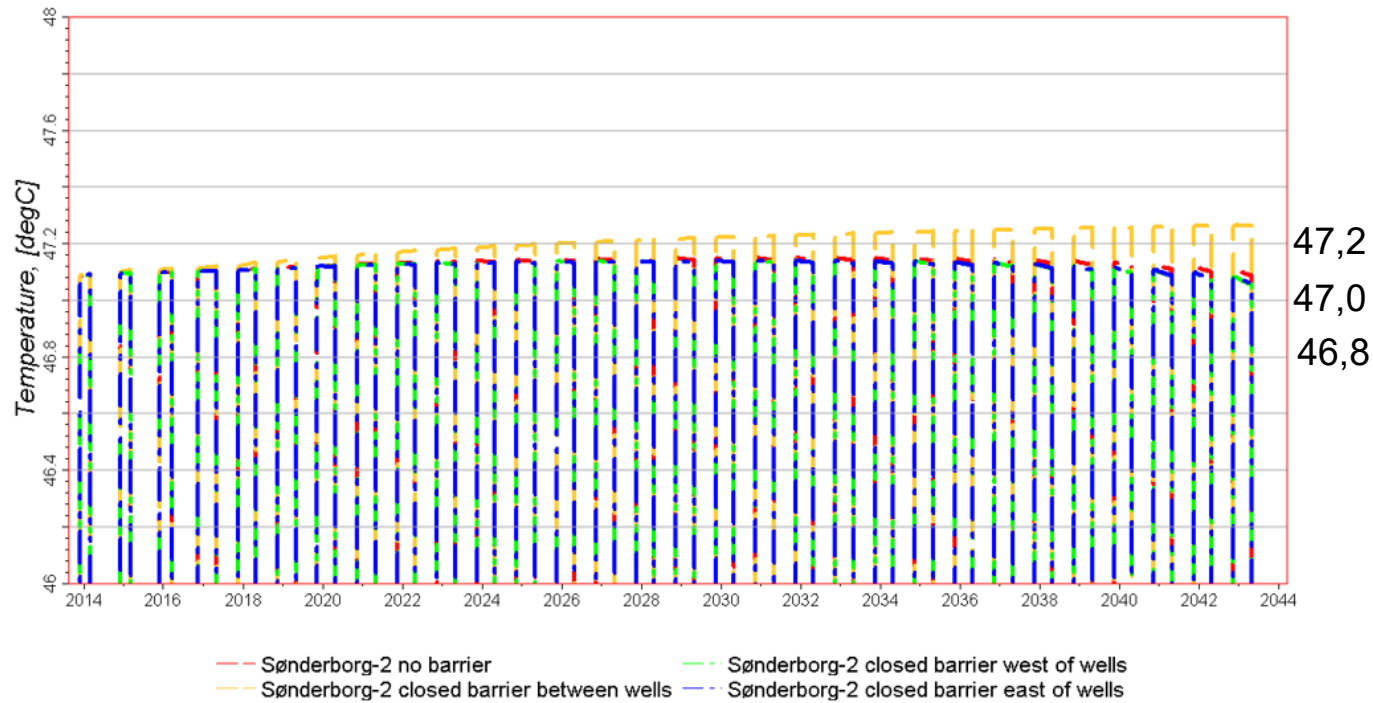
Aktuelle produktionsdata, 1984 - 2018
Model **status efter 34 års drift**



Sønderborg

Temperaturudvikling for en 30-års produktionsperiode

Med og uden flow barriere i reservoiret



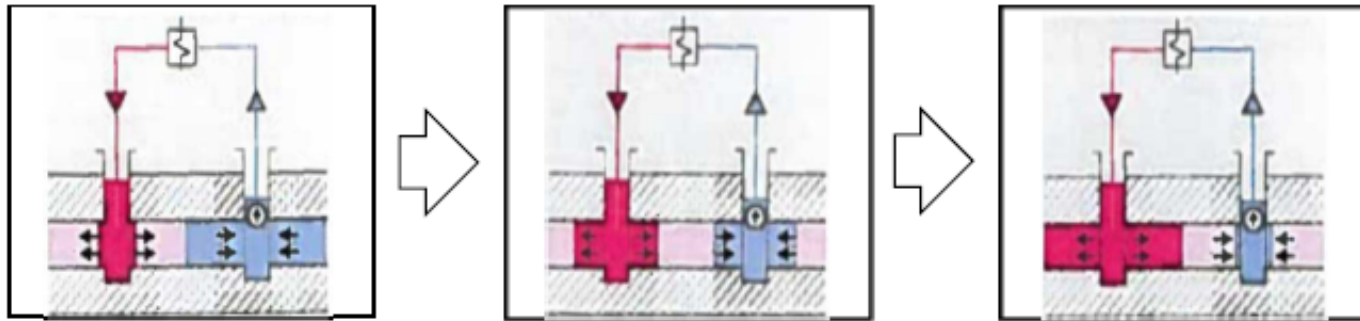
Kombineret geotermisk udnyttelse og varmelagring



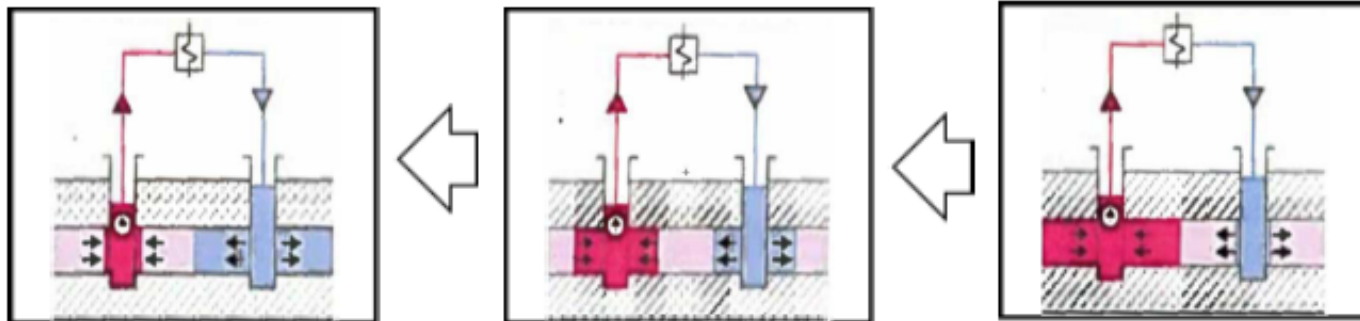
Koncept

Varmelagring med to borer

Sommer: opladning af reservoir



Vinter: afladning af reservoir



Eksempel

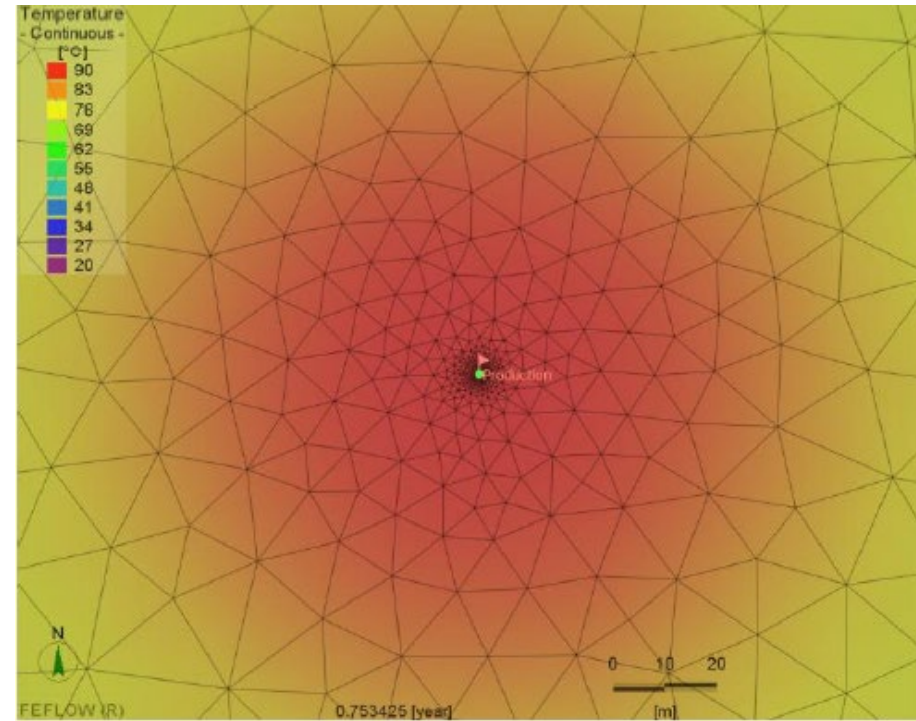
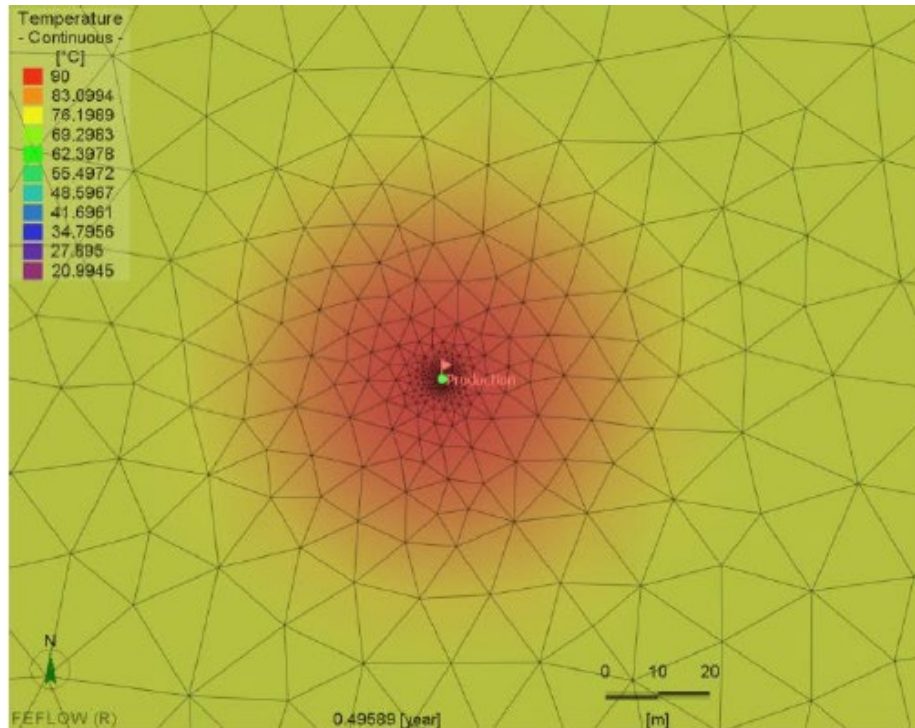
Reservoir: 50 m, 75 °C; lagring: 90 °C

Injektion: 20 °C

Flowrate: 150 m³/t

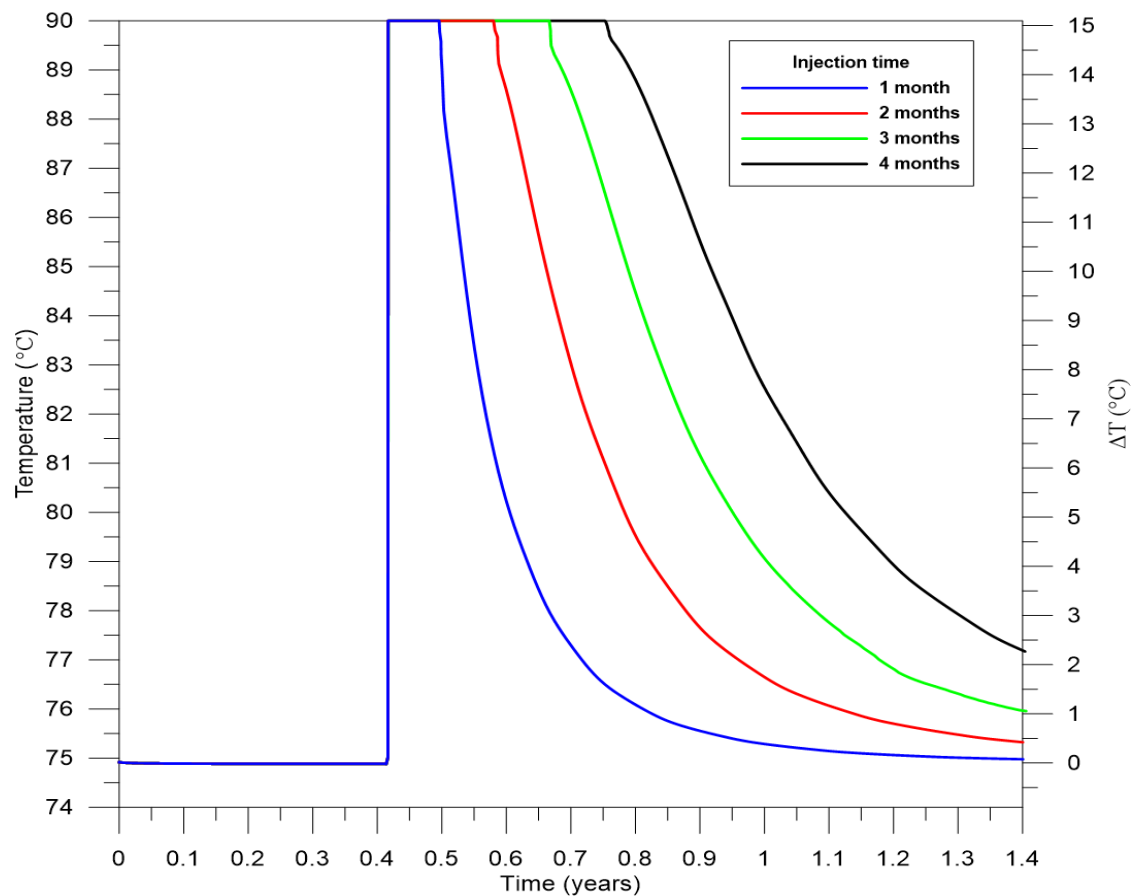
1 mdr.

4 mdr.



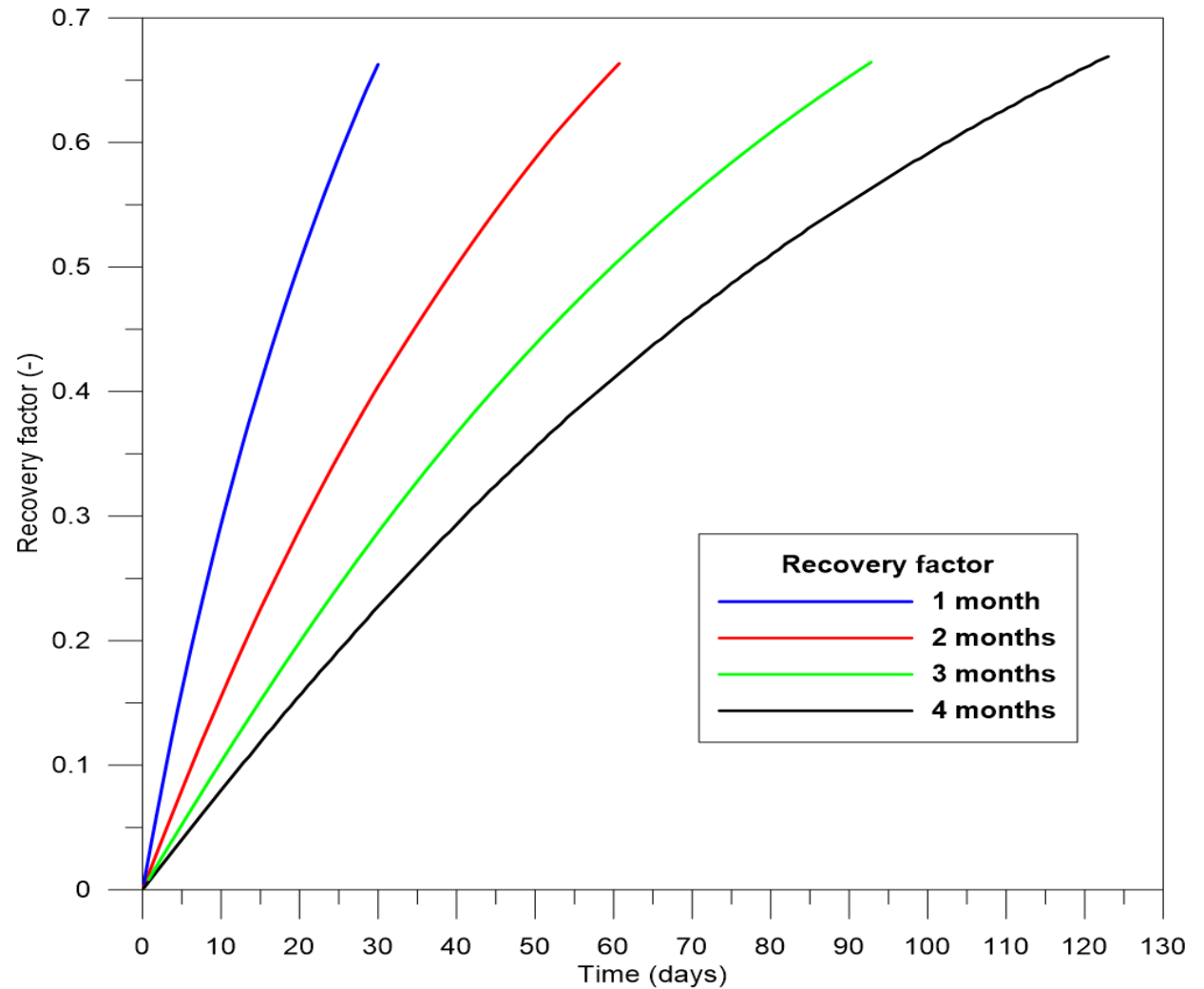
Kombineret geotermisk udnyttelse og varmelagring

Lagring i 1- 4 mdr.



Modelleret indvindingsfaktor

Forhold mellem
lagret og indvundet
energi



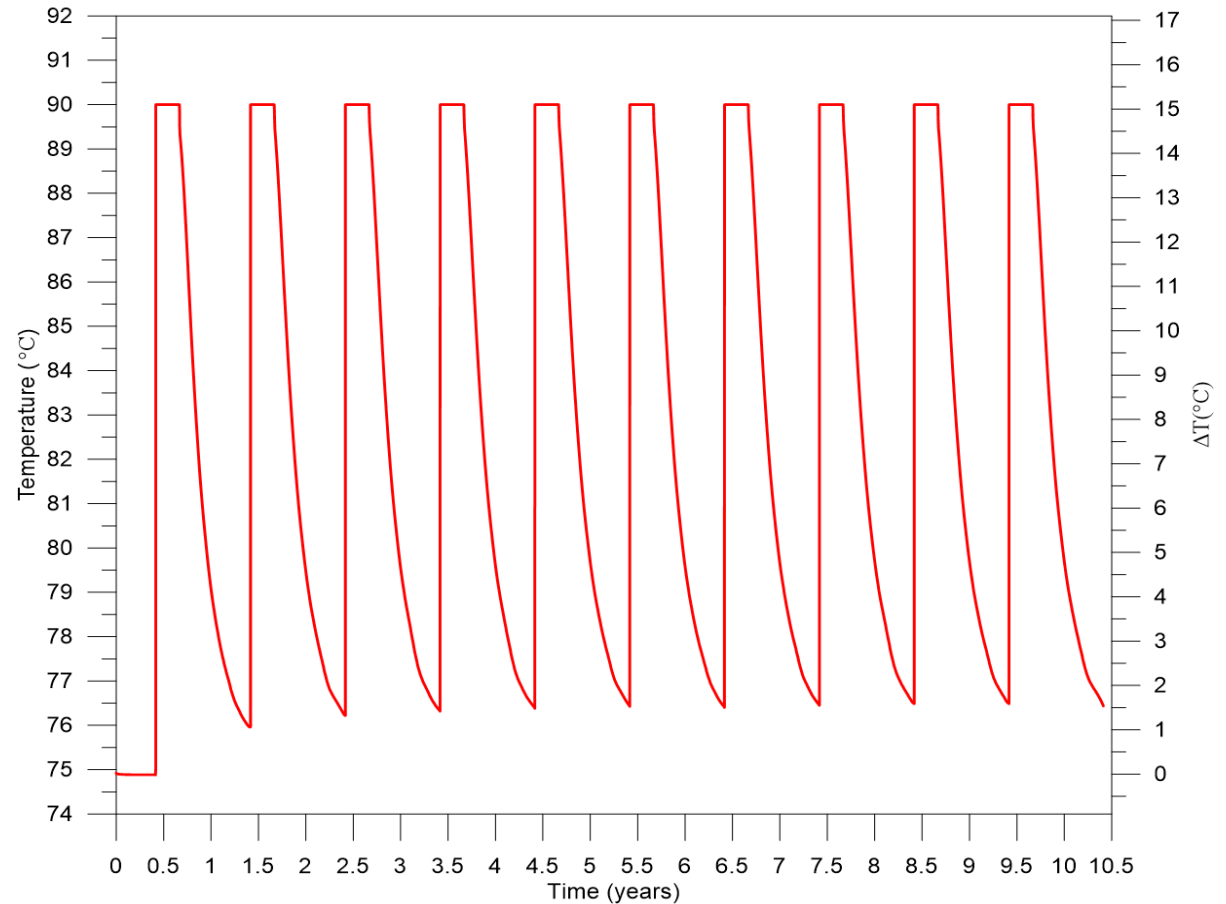
Kombineret energiidnyttelse og varmelagring

10 perioder

Lagring over 3 mdr.

Tilsvarende
indvindingsfaktorer

Ca. 0.7



Numerisk reservoir-simulering kan

Tilvejebringe væsentlig information om:

- Hvor meget energi fra et givet geotermisk reservoirsystem
Her vægt på meget lang 'termisk levetid'
- Bæredygtig og hensigtsmæssig produktion med forskellige reservoirforhold og anlægstyper
- Genindvinding/varmetab ved kombination med varmelagring



Tak for opmærksomhed!

