



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

**Bilag 1: Generelle forudsætninger for beregning af
geotermianlæg til screening**

Projekt:	Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne
Til:	Ea Energianalyse & COWI
Kopi:	GEUS
Fra:	Birte Røgen, Allan Mahler & Asger Løngreen Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab
Dato:	11. august 2015
Emne:	Generelle forudsætninger for beregning af geotermianlæg til screening

Geotermianlæggene beregnes med prospektmodellen geotermiPRO, og dette notat gennemgår de generelle forudsætninger for disse anlægsberegninger foretaget til screeningsprojektet for Energistyrelsen. For yderligere beskrivelse af metode og muligheder for geotermiPRO henvises til selvstændigt bilag om dette.

1 Forudsætninger om afsætning

Data om afsætningsmuligheder for et eventuelt geotermianlæg er baseret på beskrivelsen af de enkelte fjernvarmeområder foretaget af COWI. Fra COWI's beskrivelse er hentet data for varmebehov, anden varmeproduktion med forret, adgang til drivvarme samt det tilgængelige fjernvarmenets fremløbs- og returtemperaturer (distributions- eller transmissionsnet).

Afsætningsgrundlaget antages at følge en standardiseret varighedskurve, som geotermianlæggets ydelse optimeres efter.

Fjernvarmetemperaturerne frem og retur antages at følge et mønster, hvor vinter og sommer for året deles med hhv. 32 % sommer, 16 % vinter og resten betragtes som mellemliggende periode.

Affaldsvarme og evt. biogas samt solvarme betragtes som varme med forret. Da det er usikkert om den opgivne varmeproduktion baseret på affaldsforbrænding kommer fra kondensering af damp fra turbinen, vil der blive regnet med 20 % mindre varme som drivvarme til absorptionsvarmepumperne.

Modellen genererer en generaliseret varighedskurve på baggrund af det oplyste afsætningsgrundlag. Kurven tilpasses med det laveste varmeforbrug fra den pågældende by (drift time 8400).

2 Økonomiske forudsætninger

Alle økonomiske data er 2015 priser.

Omkostninger forbundet med seismiske forundersøgelser kan variere meget alt afhængig af historiske data. I områder hvor der tidligere har været olie/gas-efterforskning eller anden efterforskning i dyb undergrund kan detaljeringsgraden være høj, men da screeningen har sit udgangspunkt i en modelberegning for 28

områder anvendes et standardiseret tal på **10 mio. kr. for fase 1 til seismik**, hvor det ikke med sikkerhed vides om der eksisterer et godt datagrundlag for undergrunden.

Udledning af geotermiskvand er oftest forbundet med omkostninger og knytter sig til fase 2, hvor borerne testes, der regnes derfor med en udgift på **1 mio. kr. til udledninger og bassin**. Som det også var tilfældet for seismik er der her tale om et standardiseret budget overslag.

I anlægsberegningernes budgetter er der ikke medtaget tilslutningsomkostninger. Tilslutningsomkostninger er vurderet efter anlægsberegningerne, baseret på det optimerede anlægskoncept og anlægsstørrelse. Det drejer sig om omkostninger til tilslutninger uden for geotermivandskreds og varmepumpeanlæg (el, vand, afløb, fjernvarme og drivvarme samt ledning til havet for renskylning af borer), samt omkostninger til en eventuel forbindelsesledning mellem geotermivandskreds og varmepumpeanlæg ved opdelt anlæg.

Periodevise omkostninger som skift af dykpumpe fordeles jævnt over årene.

En kalkulationsrente på 3 % anvendes som forudsætning for det lån der tages med indgangen af den pågældende fase, hvilket kan listes som følgende:

1. For fase 1 vil der blive taget et byggelån løbende 4.0 år frem til at anlægget er færdigt.
2. For fase 2 vil der blive taget et byggelån løbende 2.5 år frem til at anlægget er færdigt.
3. For fase 3 vil der blive taget et byggelån løbende 0.75 år frem til at anlægget er færdigt.

2.1 Vejledende varmepriser

I figurerne med udskrifter fra programmet geotermiPRO, er der udregnet vejledende varmepriser, hvor følgende forudsætninger er lagt til grund:

Finansiering af anlægsinvesteringen antages som 25-årigt indekslån til 3 % realrente.

Proces el til pumper m.v. sættes til en fast pris på 750 kr./MWh.

El til varmepumper sættes til en fast pris på 1100 kr./MWh.

Driv-og eftervarme regnes omkostningsneutral. Der tages ikke hensyn til evt. tabte indtægter ved fortrængt el-produktion.

3 Forudsætninger om undergrunden

Data om det geologiske potentiale for et eventuelt geotermianlæg er baseret på beskrivelsen af de enkelte fjernvarmeområder foretaget af GEUS. Fra GEUS' beskrivelse er hentet data for reservoirdybde og – tykkelse, temperatur og transmissivitet (reservoirets samlede vandledningsevne).

Injektions- og produktionsboringen forudsættes afbøjet med en hældning på 40° fra lodret i reservoiret.

I modelberegningerne indregnes en modstand i injektionsboringen som benævnes skinfaktoren. Denne modstand bidrager til et tryktab, der vil belaste injektionspumpen. Skinfaktoren er erfaringsbestemt og antages ens for alle anlæg.

Vandkemien i reservoiret kan føre til udfældninger på overfladen og GEUS oplyser i sin rapport om muligheden for mættet salt. I modelberegningerne estimeres saliniteten på basis af dybde.

Terrænkoten for den valgte placering er angivet af GEUS. GeotermiPRO har en indbygget algoritme der kan estimere det statiske vandspejl ud fra terrænkoten.

Der er sat en begrænsning på dykpumpens effekt ved at dykpumpen i produktionsboringen ikke må trække det dynamiske vandspejl længere ned end 600 m fra brøndhovedet.

4 Forudsætninger om koncept

I anlægsberegningerne forudsættes det at der anvendes varmepumper og eventuelt varmevekslere til at overføre mest muligt energi fra geotermivandet til fjernvarmevandet. Varmepumperne kan vælges som enten varmedrevne absorptionsvarmepumper eller elektriske kompressorvarmepumper.

Det geotermiske anlæg kan konfigureres som en sammenbygget enhed på samme adresse, eller opdelt med en geotermivandskreds og en fjernvarmekreds på hver deres lokalitet. Ud fra oplysninger fra COWI og GEUS vurderes det i de enkelte fjernvarmeområder om det geotermiske anlæg skal opdeles.

Hvis undergrund og afsætning giver mulighed dertil, kan der regnes med flere boringer samlet i boringspar. Anlæg der konfigureres med flere boringspar vil i resultatfiguren i by-rapporten tage udgangspunkt i energiomsætninger fra ét boringspar. Den i rapporten viste tabel med anlægsdata vil vise hele energiproduktionen fra alle boringspar.

Det forudsættes, at det geotermiske anlæg vil have en rådighedsfaktor på 95 %.

Det forudsættes at absorptionsvarmepumper maksimalt kan varme fjernvarmevandet til 85 °C. Evt. yderligere nødvendig opvarmning sker med eftervarme. Drivvarme til absorptionsvarmepumper forudsættes at være til stede ved 160 °C.

Elektriske kompressorvarmepumper har ikke en øvre grænse for opvarmning af fjernvarmevandet, da der ved særligt høje temperature kan anvendes en hybridvarmepumpe.

For elektriske varmepumper antages virkningsgraden at være 96 %. De resterende 4 % betragtes som tab.

Injektionstemperaturen forudsættes at være ens, uanset om der benyttes absorptions- eller el-drevne varmepumper. Dette er ikke nødvendigvis optimalt, men gør resultaterne mere sammenlignelige.

Et geotermisk anlæg hvis anlægskonstellation er opbygget med en elektrisk varmepumpe, forudsættes kun at kunne konfigureres som et samlet anlæg.

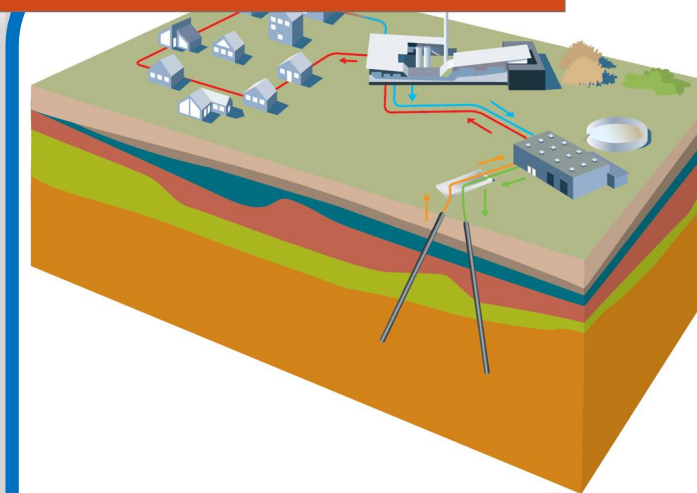
Det geotermiske anlæg som er konfigureret med en kombination af elektriske varmepumper og absorptionsvarmepumper forudsættes etableret på samme lokalitet, og ikke opdelt i geotermivandskreds og varmepumpekreds. Anlægget forudsættes at kunne køre skiftevis i de to driftsformer.

Antallet af seriekoblede varmepumper, såvel elektriske som absorptionsvarmepumper, vil være mellem 2 og 4 styks, afhængig af det geotermiske potentiale.

For produktionsbrønden er den øvre grænse for belastningen sat til et flow på 350 m³/hr, og den maksimale effekt må ikke overstige 600 kW.

Det antages at injektionspumpen maksimalt kan yde 80 bar på tryksiden.

geotermiPRO

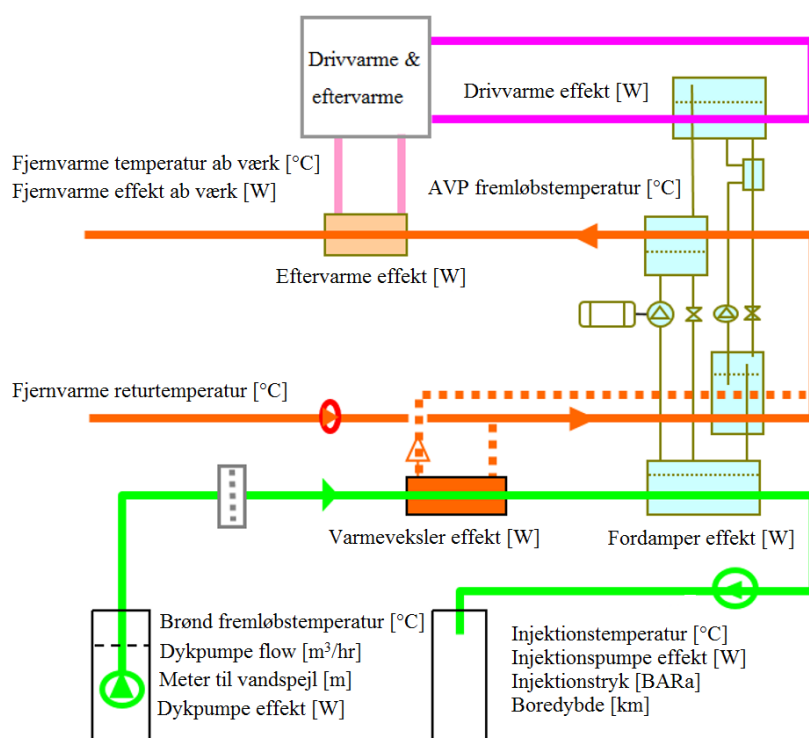


geotermiPRO

Prospektmodellen geotermiPRO har til formål at beregne energiomsætninger og omkostninger for geotermianlæg, der producerer fjernvarme. Modellen er udviklet til at kunne give et bud på varmeprisen baseret på få antagelser for undergrund og afsætningsgrundlag. Et videre formål er at kunne bruge modellen til at vælge anlægskoncept med opstilling af energibalancer, dimensionering af hovedkomponenter, investeringer og driftsomkostninger samt at kunne udføre følsomhedsberegninger.

geotermiPRO tager sit udgangspunkt i et geotermisk anlæg med en produktions- og injektionsboring, som vist på figuren på forsiden. Overførslen af energien fra geotermivandet til fjernvarmvandet sker i overfladeanlægget bestående af en eller flere varmevekslere og absorptionsvarmepumper. Princippet for det geotermiske anlæg i geotermiPRO er vist på figuren til højre.

For et projekt på et tidligt stadie er en typisk anvendelse af geotermiPRO at beregne varmepriser på den aktuelle lokalitet ved produktion fra mulige reservoirer med den produktionsrate, der giver den laveste varmepris. Modellen er historisk brugt til ressourceopgørelser og anlægsberegninger i alle faser af et geotermiprojekt. Den er herunder anvendt til udarbejdelse af beslutningsgrundlag før udførelsen af seismiske forundersøgelser, ved placering af borer og valg af



boreddybder, ved opfølgning på oprensning af boringer samt ved design og drift af geotermianlæg.

Beregning af varmepriser ved en valgt produktionskapacitet for det geotermiske vand er baseret på:

- Beregnet tryk i reservoir og anlæg
- Afkøling i varmevekslere samt absorptionsvarmepumper eller elvarmepumper
- Energiforbrug og varmeudtag fra geotermivand og varme tilført fjernvarmevand begrænset af afsætningsgrundlag
- Energiomsætninger og anlægskapaciteter, herunder beregnede kapaciteter for hovedkomponenter

Alt dette bruges til prissætning af anlægget samt beregning af årlige omkostninger inklusive ydelser på et annuitetsindeks-lån til betaling af anlægget. Der kan dermed beregnes en varmepris, der er fast i realpriser over anlæggets tilbagebetalingstid.

Modellen er udviklet siden 1981 i først DONG og senere Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab (DFG) af Allan Mahler.

Beregninger

Modellen kan bruges til at beregne energiomsætninger og omkostninger ved den produktionsrate, der giver den laveste varmepris begrænset af:

- En produktionsrate på ikke over 350 m³/h
- Et dykpumpe elforbrug på ikke over 600 kW
- Et injektionstryk på ikke over 80 bar
- Eventuelle begrænsninger for drivenergi til rådighed.

Modellen beregner omkostninger og produktion for anlæg med 1 produktionsboring og 1 injektionsboring med mulighed for indregning af besparelse på boringer og overfladeanlæg ved flere boringer.



Ved beregningerne forudsættes geotermivandet afkølet mest muligt med absorptionsvarmepumper eller til den ønskede injektionstemperatur med kompressorvarmepumper (elvarmepumper).

Varmedrevne absorptionsvarmepumper kan overføre varme gratis, når anden varme til fjernvarme har en tilstrækkelig temperatur til at drive varmepumperne. Drivvarmen genvindes som fjernvarme og kan f.eks. komme fra en biomassekedel med 120-180 °C fremløb, og der bruges meget lidt el til styring og interne cirkulationspumper. Er der ikke drivvarme til rådighed, kan der bruges elvarmepumper. Mulighed for eftervarme kan reducere varmepumpernes kondensatortemperatur og reducere elforbruget på en elvarmepumpe eller for absorptionsvarmepumper sænke fordampertemperatur eller drivvarmetemperatur.



Metode

geotermiPRO er som tidligere nævnt udviklet til at kunne give et bud på varmeprisen baseret på få antagelser om reservoirforhold og afsætningsgrundlag samt til følsomhedsberegninger og til at bidrage til en optimering af anlægsdesign med opstilling af energibalancer, investeringer, driftsomkostninger og varmeproduktionsomkostninger.

Ved beregningerne opdeles året i 3 perioder (vinter, sommer og mellemliggende periode) med henblik på at danne en varighedskurve. geotermiPRO beregner kapacitetsforholdene i det geotermiske anlæg, herunder varmepumpernes drivenergi divideret med fordampervarmen samt varme fra geotermivand divideret med elforbruget, som primært stammer fra dyk- og injektionspumperne. Kapacitetsforholdene (virkningsgraderne) bruges derefter til at beregne energiomsætninger ved produktion begrænset af varmebehov og anden produktion. Energiomsætninger og anlægskapaciteter, herunder beregnede kapaciteter for hovedkomponenter, bruges til estimering af priser for anlægget samt dets årlige omkostninger inklusive ydelser på et annuitetsindekslån, der finansierer etableringen af anlægget. Der kan dermed beregnes en varmepris, der er fast i realpriser over lånets tilbagebetalingstid.

Modellen tilpasser produktionen til afsætningsgrundlaget, og der kan tages højde for begrænsninger i varmepumpedrivvarme eller eftervarme til rådighed ved at begrænse valgte produktionskapaciteter for geotermivandet, så den af modellen beregnede drivvarme og eftervarme ikke overstiger, hvad der er til rådighed.

Reservoirberegning, herunder af nødvendig afstand mellem boringer samt reservoirtryk, er testet ved sammenligning med beregninger på kommercielle reservoirsimuleringsprogrammer som Eclipse. Øvrige beregninger er primært verificeret ved sammenholdning med data fra realiserede anlæg, herunder anlæggene i Thisted, København og Sønderborg.

Det geotermiske anlæg har 2 hovedelementer:

- Geotermivandskredsen med boringer, varmevekslere, filtre og pumper mm.
- Varmepumpeanlægget med absorptionsvarmepumper eller kompressorvarmepumper

Omkostninger og energiomsætninger beregnes separat for geotermivandskredsen og varmepumpeanlægget, der kan være placeret på samme grund eller adskilt. Placeres de adskilt, etableres der typisk en varmeveksler i geotermivandskredsen, der overfører al varme fra geotermivandet. Denne varmeveksler modtager typisk afkølet fjernvarmereturvand fra varmepumpeanlægget, som opvarmes ved varmeveksling med geotermivandet, inden det returnerer til varmepumpeanlægget for yderligere opvarmning i varmepumperne. Kompressorvarmepumperne vil typisk være elvarmepumper, men geotermiPRO er forberedt for alternativer som gasmotordrevne kompressorer.

Proces

geotermiPRO beregner baseret på data for sommer, vinter og mellemliggende perioder ved de valgte flow:

- Trykbidrag fra reservoir, skin faktor, friktion i boringer og statisk vandspejl
- Pumpeydeler
- Energiomsætninger i varmevekslere og varmepumper
- Virkningsgrader og andre kapacitetsforhold

Dette bruges videre til at beregne kapaciteter for hovedanlægskomponenter.





geotermiPRO opstiller en varighedskurve under hensyntagen til produktionskapaciteter, rådighedsfaktor samt varmebehov i 25 intervaller repræsenteret ved 26 endepunkter. For hvert af disse punkter beregner geotermiPRO det geotermiske anlægs varmeproduktion samt anden energiomsætning såsom elforbrug, drivenergi til varmepumper og evt. eftervarme. Produceret varme på et år opgøres som:

- Varme overført fra geotermivandet
- For kompressorvarmepumper: varme overført i kompressorerne
- For absorptionsvarmepumper: drivenergi (medregnes kun, hvis denne ikke er omkostningsneutral)
- Eftervarme (medregnes kun, hvis denne ikke er omkostningsneutral)
- Lagret varme som der normalt ville opnås betaling for hvis det kunne afsættes på produktionstidspunktet (typisk en andel af lagret varme med andel, der afhænger af tab ved lagring og dækning af lagringsomkostninger)

Produceret varme bruges til at beregne en varmeproduktionspris uafhængig af, om varmen sælges eller er til eget brug.

Anlægsomkostninger i det valgte års prisniveau beregnes/estimeres for komponenter i geotermivandskredsen og varmepumpeanlægget ud fra anlægskapaciteter og omkostninger i følgende 3 faser:

- Forundersøgelser med evt. seismik (inkluderer normalt indtastede bidrag for seismik)
- Boringer med planlægning og test mm.
- Overfladeanlæg med varmepumpeanlæg og geotermivandskreds ekskl. boringer

De faseopdelte omkostninger bruges til at beregne byggerenter for faserne frem til idriftsættelsen. De årlige omkostninger i realpriser beregnes baseret på kapaciteter og anlægsomkostninger og omfatter:

- Ydelse på indekslån
- Driftsomkostninger uden energikøb

- Køb af proces-el til pumper mm.
- Køb af drivenergi til varmepumper
- Køb af eftervarme

Periodevise omkostninger som skift af dykpumpe fordeles jævnt over årene. De årlige omkostninger inklusive ydelserne på indeklånet til betaling af anlægget er hermed faste målt i realpriser i hele indeklånets afviklingsperiode.

Modellen kan hermed beregne varmeprisen målt i det valgte års realprisniveau som de årlige omkostninger divideret med den producerede varme. Varmeprisen beregnes med opdeling i faste og variable omkostninger.

Input

De primære beregningsforudsætninger, som skal tages ind i geotermiPRO, er:

Afsætningsdata:

- Fremløbs -og returtemperatur på fjernvarmenettet
- Varmebehov, produktion med forret, adgang til drivvarme

Prisdata:

- Elpriser
- Varmepumpedrivvarme og eftervarme, hvis disse ikke er omkostningsneutrale
- Omkostningstillæg ved anlæg og drift (f.eks. tilslutningsomkostninger)
- Realrente og tilbagebetalingstid for anlægsomkostninger

Undergrundsdata:

- Temperatur og salinitet
- Transmissivitet (vandledningsevne)
- Reservoirdybde og -tykkelse



Konceptdata:

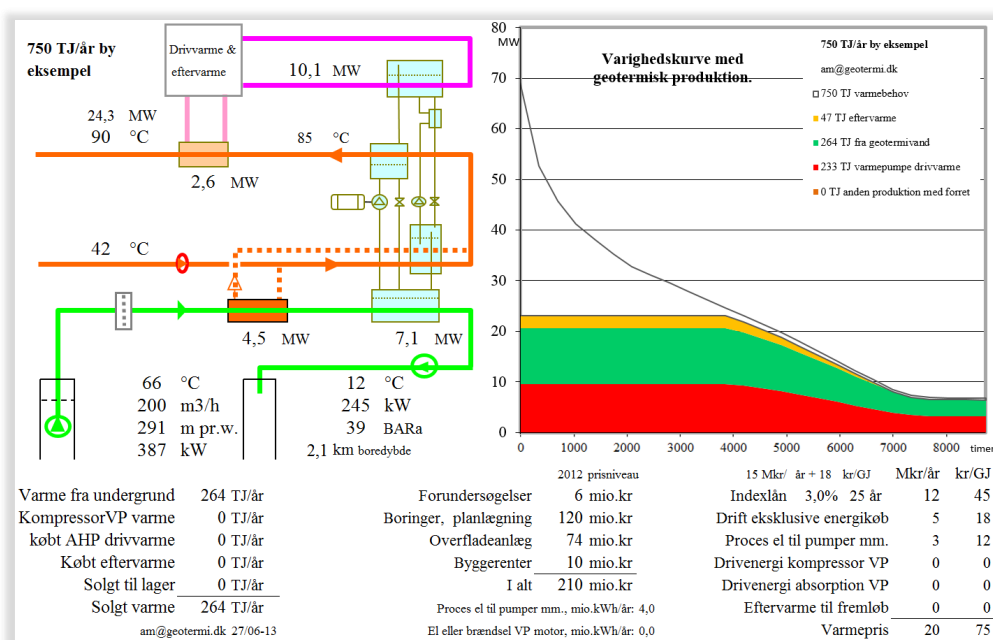
- Varmepumpetype og antal i serie
- Fremløbstemperatur fra varmepumper
- For absorptionsvarmepumper: LiBr-koncentration
- For kompressorvarmepumper (elvarmepumper): ønsket injektionstemperatur
- Anlæggets forventede rådighedsfaktor
- Om varmepumper tilføres geotermivand direkte eller køler fjernvarmevand til varmeveksler



Resultater og output

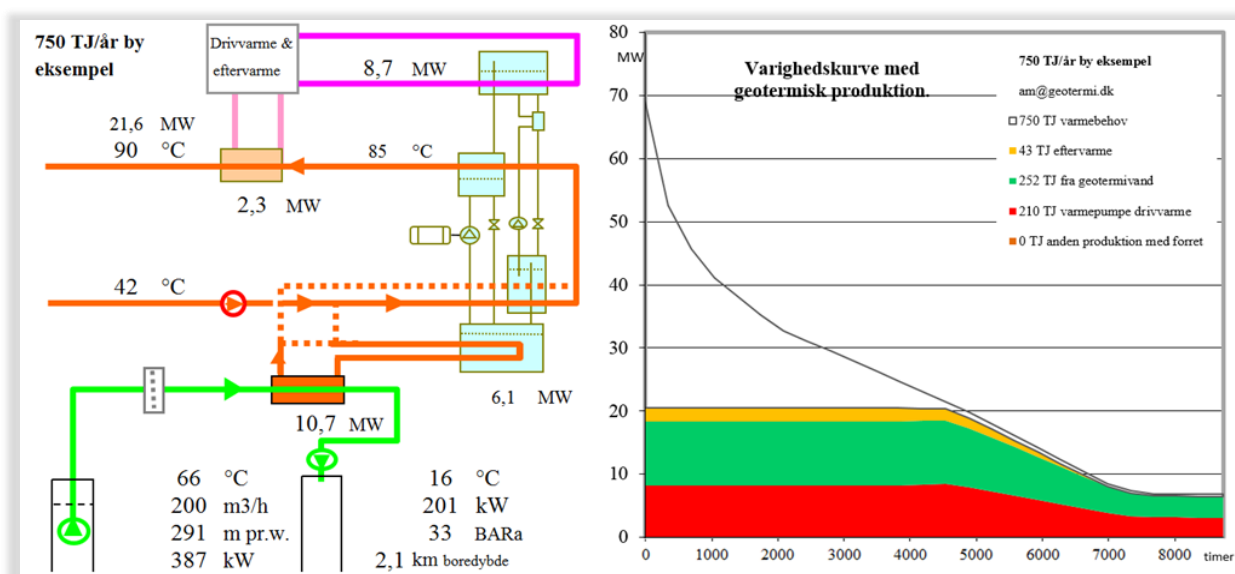
Eksempler på præsentationen af resultaterne fra geotermiPRO er vist neden for. De beregnede energimængder kan vælges vist i enhederne GJ eller MWh.

Geotermivandet er i eksemplet neden for forudsat afkølet i varmepumpenes fordampere med varmepumpeanlæg placeret på samme grund som geotermivandskredsen.

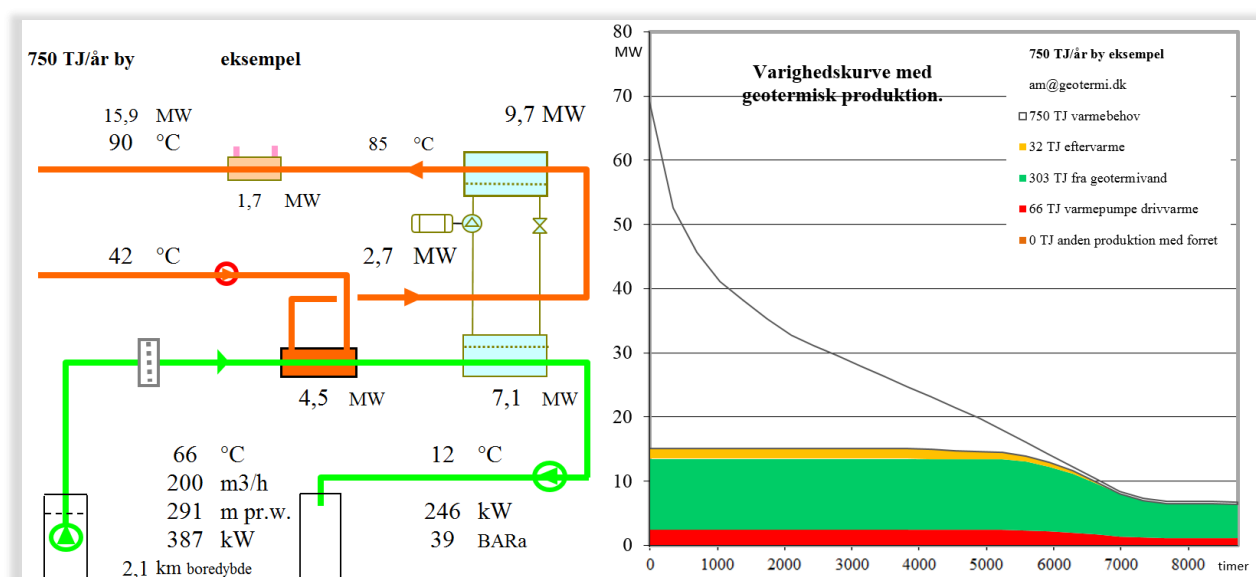


August 2013

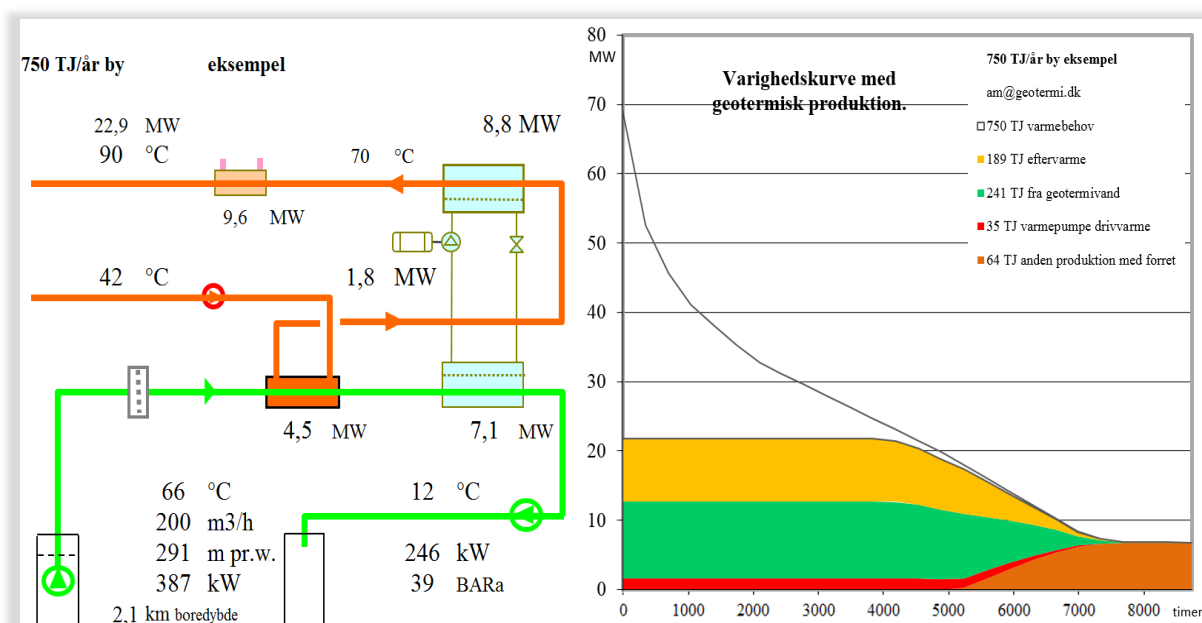
Nedenstående er der vist et eksempel på et geotermianlæg, hvor fjernvarmevand køles i varmepumper, inden det sendes til varmeveksler i geotermivandskredsen. Dette kan f.eks. være tilfældet, hvor varmepumperne på grund af tilslutningsmuligheder for drivvarme og fjernvarme placeres et andet sted end de geotermiske borer.



Et alternativ med et eldrevet varmepumpeanlæg placeret ved geotermivandskredsen er vist neden for. Elvarmepumper har i modsætning til absorptionsvarmepumper ikke en nedre grænse for injektionstemperaturen, men en sænkning af injektionstemperaturen reducerer elvarmepumpeeffektiviteten, og viskositetsforhøjelsen ved lavere temperaturer kan give for høje injektionstryk.



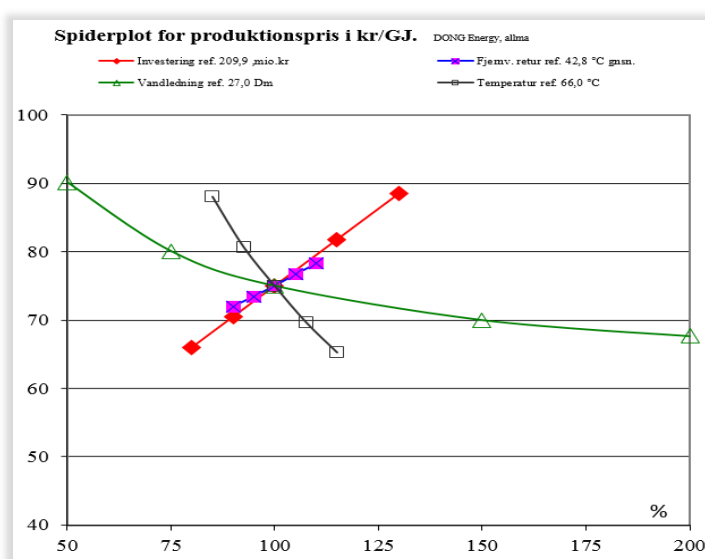
Producers anden varme til fjernvarmenettet, kan den evt. bruges som eftervarme, der reducerer varmepumpernes kondensatortemperatur. Et eksempel, hvor anden varmeproduktion med forret reducerer afsætningsgrundlag, men også bruges som eftervarme, der reducerer elforbrug på elvarmepumper, er vist nedenstående.



August 2013

Følsomhedsberegninger

geotermiPRO kan også bruges til følsomhedsberegninger. Der kan f.eks. udføres følsomhedsberegninger for kritiske antagelser som vandledende egenskaber, hvor produktionsrater optimeres til de aktuelle forhold, men modellen kan også selv generere "alt andet lige" følsomhedsberegninger i form af spiderplot som vist til højre.



Kontakt

geotermiPRO



Allan Mahler
am@geotermi.dk



Asger Løngreen
al@geotermi.dk

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab
Merkurvej 7

6000 Kolding

www.geotermi.dk

