

MODELLERING AV BRØNNPARKER

EED Earth Energy Designer

Bjørn Gleditsch Borgnes
Futurum Energi AS

VVS-dagene
Lillestrøm – 22. oktober 2014

Grunnvarme (fellesbetegnelse)

Geotermisk energi

Direkte utnyttelse av jordas indre geotermiske energi, uten bruk av varmepumpe

- Ofte dype brønner (> 2-3 km)

Direkte produksjon av varme og/eller elektrisitet

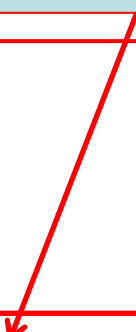
Geoenergi

Grunne systemer (< 500 meter) med bruk av varmepumpe

- **Lukkede systemer**
Sirkulerende frostvæske i lukkede kollektorsløyfer i vertikale fjellbrønner
- **Åpne systemer**
Oppumpet grunnvann fra fjellbrønner eller løsmassebrønner
- **Jordvarme**
Sirkulerende frostvæske i lukkede horisontale kollektorsløyfer i grøfter

Oppvarming og/eller kjøling

EED



Geoenergi – lukket system

- Boring av x antall energibrønner, i en gitt dybde og formasjon
- Lukkede kollektorsløyfer, fylt med frostvæske (vann/sprit)
- Utnytter oppmagasinert solenergi i øverste del av jordskorpa
- Varmekilde med stabil temperatur gjennom hele fyringssesongen
- Brønnparken produserer varme, frikjøling og kan være mottaker av kondensatorvarme fra kjølemaskiner
- Dimensjonering av brønnpark er avhengig av mange faktorer

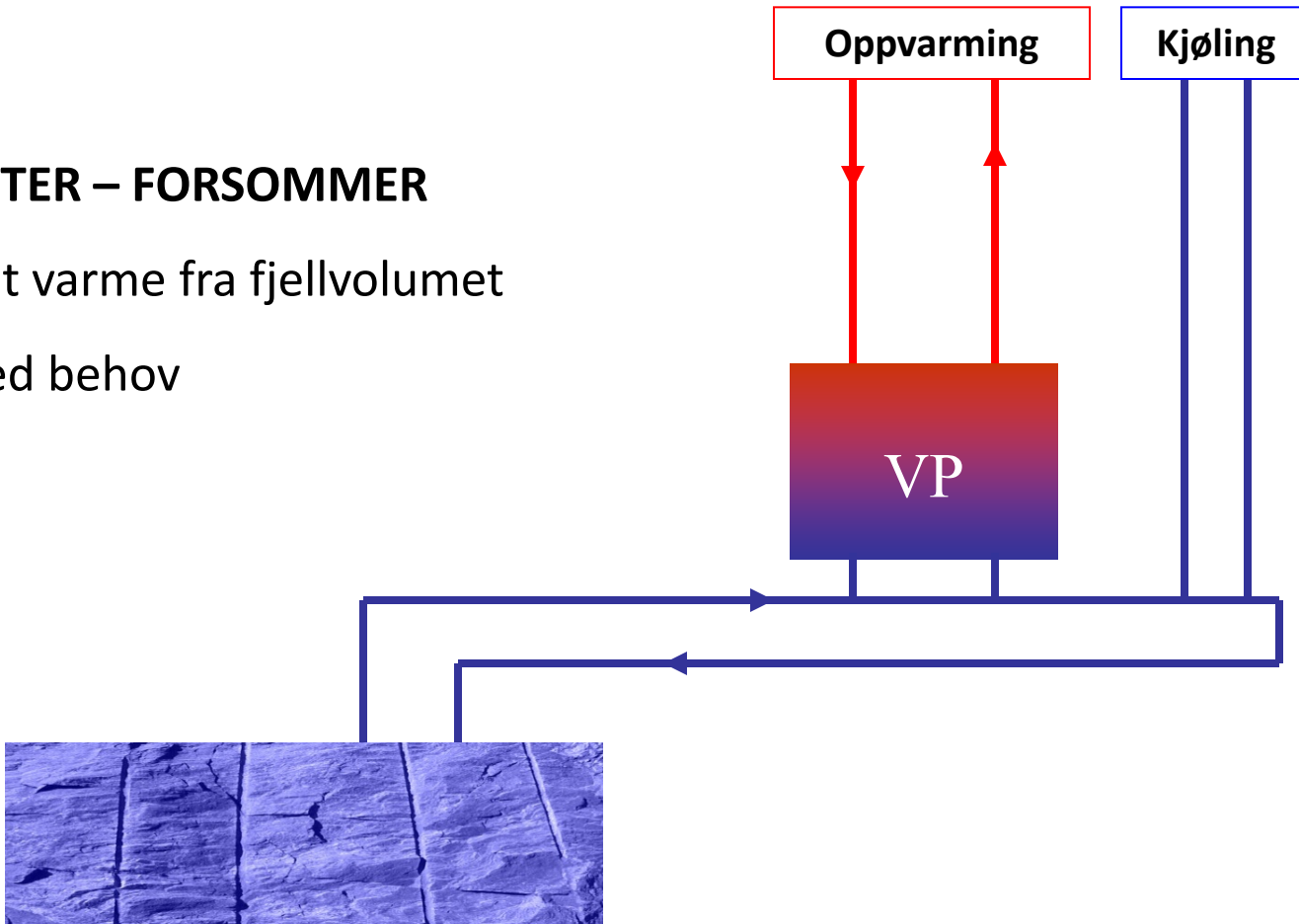


Prinsipp – geoenergi (lukket system)

HØST – VINTER – FORSOMMER

VP henter ut varme fra fjellvolumet

Frikjøling ved behov

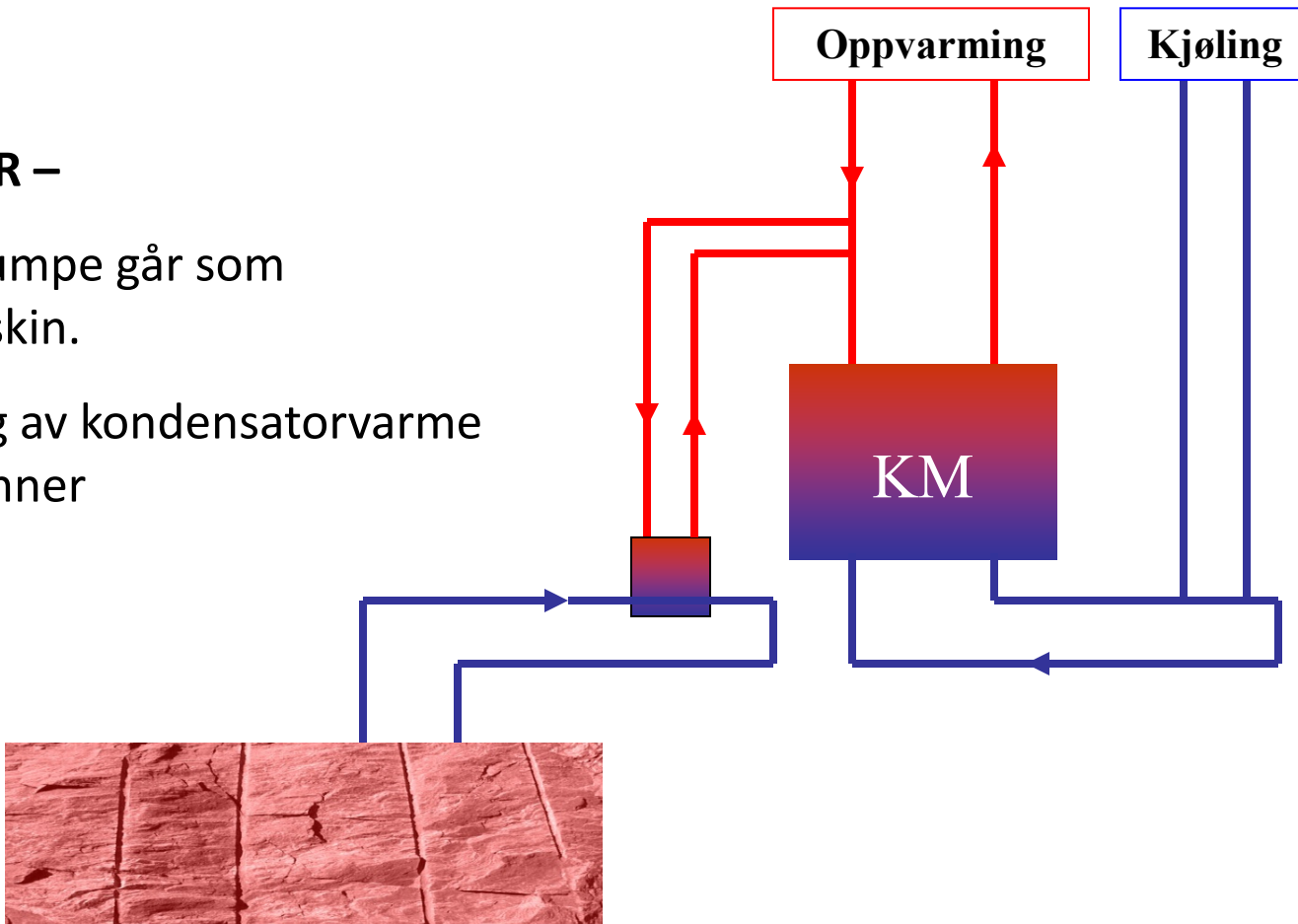


Prinsipp – geoenergi (lukket system)

SOMMER –

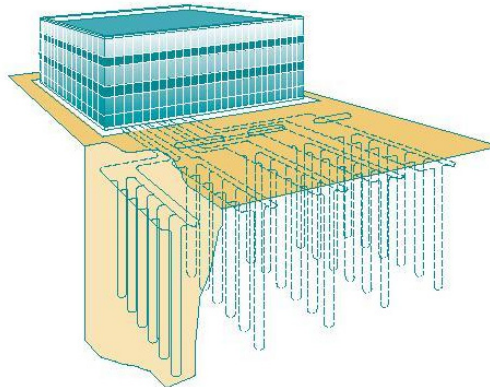
Varmepumpe går som
kjølemaskin.

Dumping av kondensatorvarme
mot brønner

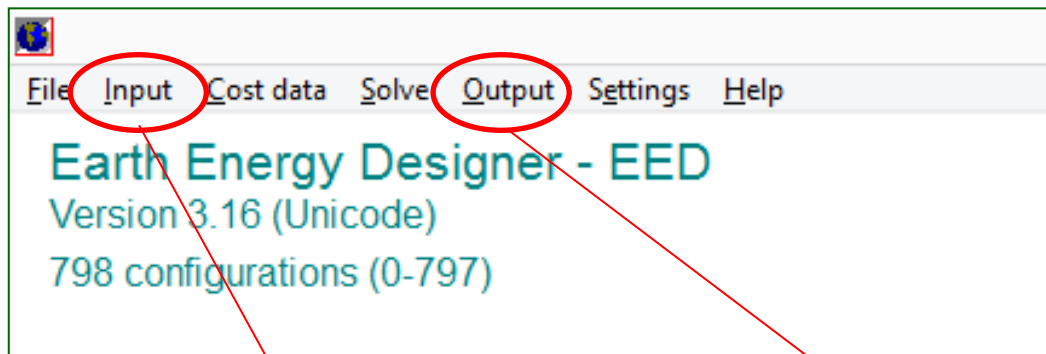


Hva er EED – og hvordan bruker vi programmet..?

- Simuleringsprogram for dimensjonering av geoenergianlegg med vertikale energibrønner og lukkede kollektorer
- Brukervennlig grensesnitt
- Relativt høy fleksibilitet, mht. inputverdier
- Database med nesten 800 ulike konfigurasjoner for brønnpark
- Simulerer temperaturutviklingen i kollektorvæsken gjennom inntil 25 år
- Muligheter for kostnadsoptimalisering – finner den rimeligste brønnparken som tilfredsstiller gitte krav



EED – praktisk bruk



Input	Cost data	Solve	Output	Settings
Ground properties			F1	
Borehole and heat exchanger			F2	
Borehole thermal resistance			F3	
Heat carrier fluid			F4	
Base load			F5	
Peak load			F6	
Simulation period			F7	

Output	Settings	Help
View design data		F5
Plot fluid temperatures		F6
Plot min-max temperatures		F7

Input Grunnforhold

Termisk responstest
(type bergart)

Type bergart

Gradientmåling
Termisk responstest
(Stedlige forhold)

Ground properties

Thermal conductivity	3.500	?	W/(m·K)
Volumetric heat capacity	2.160	?	MJ/(m ³ ·K)
Ground surface temperature	8.000	?	°C
Geothermal heat flux	0.06000	?	W/m ²

Close



Input

Energibrønn og kollektor

File Input Cost data Solve Output Settings Help

Borehole and heat exchanger

Borehole

Type: Single-U
Config: 283 ?
Depth: 110.0 m
Spacing: 10.0 m
Diameter: 114.300 ? mm
Contact resistance pipe/filling: 0.0000 (m·K)/W
Filling thermal conductivity: 0.600 ? W/(m·K)
Vol. flow rate Q:
☐ for all boreholes ☒ per borehole 0.700 l/s
Series factor (1=parallel): 1 Q_{bh}=Q=0.7 l/s

U-pipe

Outer diameter: 40.000 mm
Wall thickness: 2.300 ? mm
Thermal conductivity: 0.420 W/(m·K)
Shank spacing: 68.000 mm

Shank spacing: 74.3
40

Copy to clipboard Close

Diameter

Convert values:
☒ No ☐ SI => ENG ☐ ENG => SI

73.0 mm	2 7/8"
80 mm	
88.9 mm	3 1/2"
100 mm	
101.6 mm	4"
110 mm	
114.3 mm	4 1/2"
120 mm	
120.7 mm	4 3/4"
127 mm	5"
130 mm	
139.7 mm	5 1/2"
150 mm	
152.4 mm	6"
165.1 mm	6 1/2"
168.3 mm	6 5/8"
180 mm	

Config

Copy to clipboard 283 ("12 : 3 x 4, rectangle")

Input

Termisk borehullsmotstand

Borehole thermal resistance

☐ Calculate values
☒ Use constant values

☐ Account for internal heat transfer

Constant values
Borehole thermal resistance:

Fluid/ground	0.100	(m·K)/W
Internal	0.500	(m·K)/W

 Close

Termisk responstest
(Kalkulasjon, basert på inputdata)



Input

Energibelastning mot brønner

Base load

Base load (without DHW):

☐ Annual energy and monthly profile

☒ Monthly energy values

[MWh]	Heat	Cool	Ground
Annual	16.200	0.000	Update
SPF	99999.00	99999.00	
	☒ Direct	☒ Direct	
January	70.810	0.000	70.809
February	54.990	0.000	54.989
March	48.930	0.000	48.930
April	34.520	2.530	31.990
May	28.460	5.070	23.390
June	13.530	5.070	8.460
July	9.870	3.220	6.650
August	16.370	4.140	12.230
September	25.780	5.070	20.710
October	45.630	0.000	45.630
November	53.160	0.000	53.159
December	68.300	0.000	68.299
Sum:	470.35	25.1	445.24

Domestic hot water (DHW):

Annual SPF

Beregnet virkelig varme- / kjølebehov (MWh)
 Varmepumpens energidekningsgrad (%)
 Varmepumpens COP (-)
 System for kjøling → tilbakeført energi (MWh)
 Evt. annen overskuddsvarme (MWh)

= Netto energibelastning mot brønner (MWh)

Input

Effektbelastning mot brønner

Peak heat and cool power				
	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	120.000	24.000	0.000	0.000
February	120.000	24.000	0.000	0.000
March	120.000	24.000	0.000	0.000
April	120.000	24.000	85.000	4.000
May	60.000	8.000	170.000	6.000
June	60.000	6.000	170.000	6.000
July	60.000	6.000	170.000	6.000
August	60.000	6.000	170.000	6.000
September	60.000	6.000	85.000	4.000
October	120.000	24.000	0.000	0.000
November	120.000	24.000	0.000	0.000
December	120.000	24.000	0.000	0.000

Varmepumpens ytelse (kW)

Varmepumpens COP

= Netto effektuttak fra brønner (kW)

Beregnet dimensjonerende varmedump (kW)

Varighet for effektopper (h/døgn)

Config: 233 - 560 Optimize Automatic grid step Step: 2 m Sort: Total length Cost

Max land area: 120 x 120 m² Config: 334/334 "4 x 8, rectangle"

Borehole spacing: 10 - 20 m Spacing: 11 m

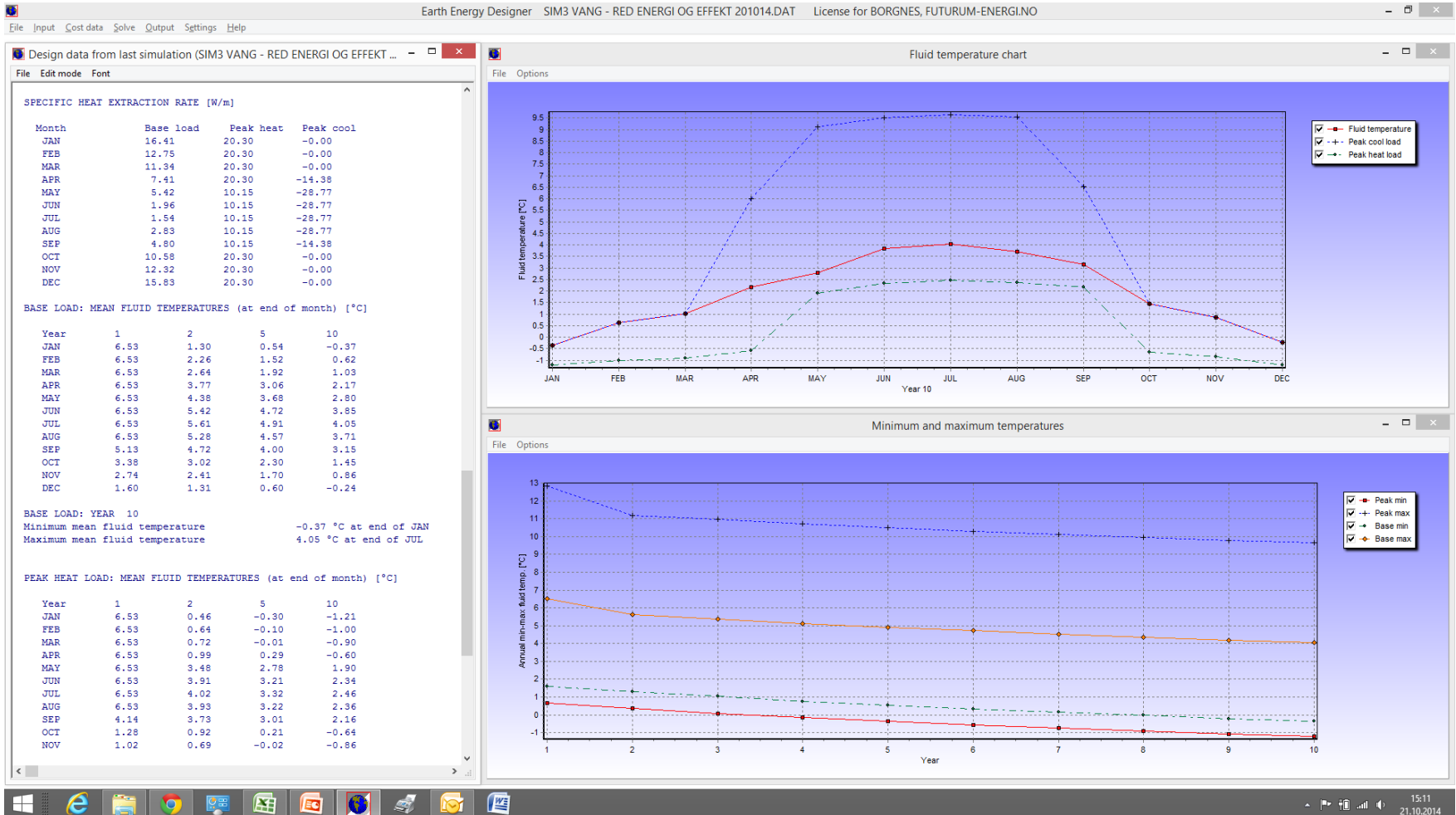
Borehole depth: 200 - 220 m Round off values Best configs: 287 289 378 334

Max no boreholes: 80 Solutions found: 10 Also list cases with warnings

Analysis started 15:13:38, stopped 15:13:43 time: 4s Double click on row for details

Config	No bh	Type	Spacing [m]	Depth [m]	Total length [m]	Land area [m²]	Length [m]	Width [m]	Comments	Cost [NOK]
287	24	3 x 8 rectangle	15	219	5258	3150	105	30	Detailed a...	1658069
287	24	3 x 8 rectangle	16	215	5153	3584	112	32	Detailed a...	1664516
287	24	3 x 8 rectangle	17	210	5039	4046	119	34	Chosen f...	1669343
287	24	3 x 8 rectangle	17	210	5039	4046	119	34	Detailed a...	1669343
289	30	3 x 10 rectangle	11	200	6000	2178	99	22	Detailed a...	1820754
289	30	3 x 10 rectangle	10	208	6252	1800	90	20	Chosen f...	1836370
378	30	5 x 6 rectangle	12	202	6058	2880	60	48	Detailed a...	1867118
378	30	5 x 6 rectangle	11	209	6271	2420	55	44	Detailed a...	1874964
378	30	5 x 6 rectangle	10	219	6561	2000	50	40	Chosen f...	1898106
334	32	4 x 8 rectangle	10	203	6496	2100	70	30	Chosen f...	1924458

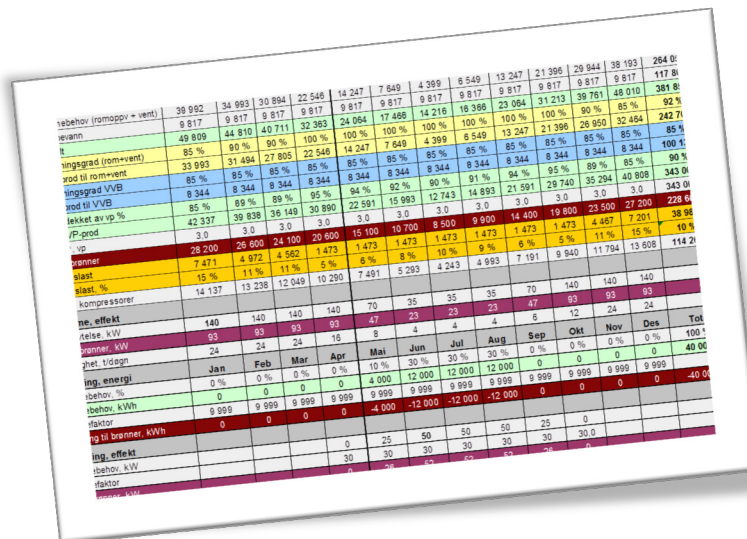
Output



Dimensjonering av større energibrønnparker

Underlagsdata

- Energi-/effektbelastning mot brønnpark
 - korrekt netto energi-/effektbudsjett for oppvarming og kjøling
 - kunnskap om energi-/effektdynamikken i bygget (varme og kjøling)
 - varmepumpens dekningsgrad og karakteristika
 - driftsstrategier
 - evt. kilder for lading/avlastning av energibrønner



	30 982	34 993	30 884	22 548	14 247	7 649	4 389	8 549	13 247	21 986	29 844	38 193	264 0
tebehov (romoppv + vent)	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	9 817	117 8
tebehov	49 809	44 810	40 711	32 383	24 064	17 468	14 216	16 386	23 064	31 213	39 761	48 010	381 8
tebehovgrad (rom+vent)	85 %	80 %	80 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	92 %
prod til rom+vent	33 993	31 484	27 805	22 548	14 247	7 649	4 389	6 549	13 247	21 986	29 844	38 193	242 7
tebehovgrad VVB	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %
prod til VVB	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	8 344	100 1
tebehovgrad av vp %	85 %	89 %	89 %	95 %	94 %	92 %	90 %	91 %	94 %	95 %	99 %	95 %	90 %
tebehovgrad av vp %	42 337	39 838	36 149	30 890	22 581	15 993	12 743	14 893	21 591	29 740	35 294	40 608	343 0
tebehovgrad av vp %	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	343 0
tebehovgrad av vp %	26 200	26 600	24 100	20 600	15 100	10 700	8 900	9 900	14 400	19 600	23 500	27 200	228 6
tebehovgrad av vp %	7 471	4 872	4 862	1 473	1 473	1 473	1 473	1 473	1 473	1 473	1 473	1 473	38 98
tebehovgrad av vp %	15 %	11 %	11 %	5 %	6 %	8 %	10 %	9 %	6 %	5 %	11 %	15 %	10 %
tebehovgrad av vp %	14 137	13 238	12 049	10 200	7 491	5 285	4 243	4 993	7 191	9 940	11 794	13 608	114 2
tebehovgrad av vp %	140	140	140	140	70	35	35	35	70	140	140	140	140
tebehovgrad av vp %	93	93	93	93	47	23	23	23	47	93	93	93	93
tebehovgrad av vp %	24	24	24	24	12	6	6	6	12	24	24	24	24
tebehovgrad av vp %	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Tot
tebehovgrad av vp %	0 %	0 %	0 %	0 %	10 %	30 %	30 %	30 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
tebehovgrad av vp %	0	0	0	0	4 000	12 000	12 000	12 000	0	0	0	0	40 00
tebehovgrad av vp %	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999	9 999
tebehovgrad av vp %	0	0	0	0	-4 000	-12 000	-12 000	-12 000	0	0	0	0	-40 00
tebehovgrad av vp %	0	0	0	0	0	25	50	50	50	25	0	0	0
tebehovgrad av vp %	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30
tebehovgrad av vp %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dimensjonering av større energibrønnparker

Underlagsdata

- Lokale muligheter og begrensninger
 - Tilgjengelige arealer for boring av brønner
 - Eksisterende eller planlagte installasjoner i grunnen (rør, kabler, tuneller, etc.)
 - Fremtidige utnyttelse/utbygging av eiendommen



Dimensjonering av større energibrønnparker

Underlagsdata

- Kunnskap om lokale geologiske og hydrogeologiske forhold
 - bergart / bergartens evne til å transportere energi
 - løsmassemektighet (dybde til fjell) og type løsmasse
 - starttemperatur i berggrunnen/grunnvannet
 - grunnvannsnivå
 - evt. grunnvannsbevegelse



Dimensjonering av større energibrønnparker

Basert på underlagsdata skal det tas stilling til:

- Om det skal utføres forprosjekt med boring av testbrønn og termisk responstest
 - Optimal plassering av brønnpark
 - Optimal dybde pr. energibrønn
 - Innbyrdes plassering, optimal formasjon for brønnpark
 - Valg av kollektortype
 - System for sammenkobling av brønner mot samlestokker /samlekummer, samt hovedrør fra samlestokker/samlekummer mot varmesentral/varmepumpe.
-
- ✓ For de fleste prosjekter i vårt kalde klima vil det være energi-/effektuttaket (*varmebehovet*) som vil være dimensjonerende for brønnparken.
 - ✓ For enkelte nyere næringsbygg kan kjølebehovet ofte være dimensjonerende for design av brønnparken.

Dimensjonering av større energibrønnparker

Kunnskap om lokale geologiske forhold

Fjellvolumets varmeledningsevne

De geologiske forholdene varierer fra sted til sted, og de termiske egenskapene (evne til å transportere og lagre energi) vil også variere innenfor tilsynelatende samme type bergarter.

Termisk responstest

- Måling av den virkelige varmeledningsevnen i volumet rundt en energibrønn
- Anbefalt av IEA for større prosjekter (fra ca. 2.000 brønnmeter og større)
- I tillegg gjøres også målinger av grunnvannsnivå og temperaturgradient i brønnen i forbindelse med en termisk responstest.



Dimensjonering av større energibrønnparker

Løsmassemektighet

- Dybde til fast fjell påvirker dimensjoneringen og kostnadene, da boring med foringsrør er 3-4 ganger dyrere enn boring i fjell
- Boring av færre og dypere brønner ved høy løsmassemektighet.
- Det kan for eksempel være god lønnsomhet i å bore 10 brønner à 300 meter i stedet for 15 brønner à 200 meter.

Løsmassenes kvalitet

- Løsmassenes kvalitet må også tas i betraktning. Leirholdige masser vil kunne gi alvorlige setningsskader dersom anlegget driftes med kollektorrøsketemperaturer under frysepunktet.



Setningsskade i leire som følge av inkompetent dimensjonering

Dimensjonering av større energibrønnparker

Dimensjonering basert på "tommelfinger" (FRARÅDES!!)

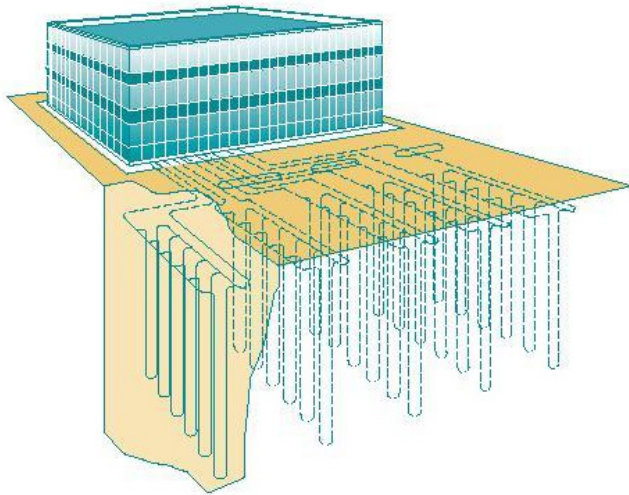
Alt for mange benytter nøkkeltall for hvor mye effekt som kan trekkes ut av en meter energibrønn (W/lm). Ved å kun dimensjonere etter tommelfingerverdier (mange bruker 40 W/lm brønn) gjøres bla. følgende feil:

- Det tas ikke hensyn til energiuttaket fra fjellvolumet over tid.
- Det tas ikke hensyn til hva slags bergart man opererer i.
- Innbyrdes plassering og konfigurasjon (brønnpark-geometri) hensyntas ikke.
- Påvirkning som følge av evt. lading/kjøleenergi er ikke kalkulert inn.

Dette har ført til mange underdimensjonerte anlegg. Dette gir

- redusert energibesparelse
- et anlegg som må stoppes etter få års drift (permafrost!)
- redusert teknisk levetid for varmepumpen
- i verste fall fatale setningsskader, med store følgekostnader og et ubrukelig varmepumpeanlegg som resultat for anleggseier.

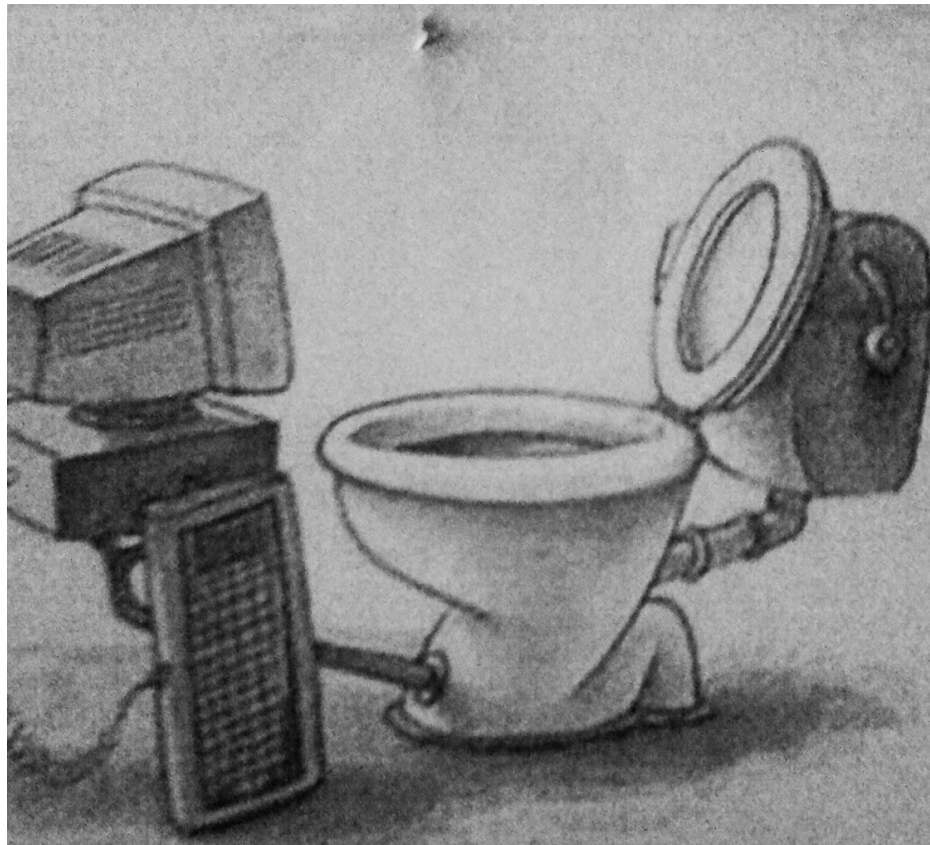




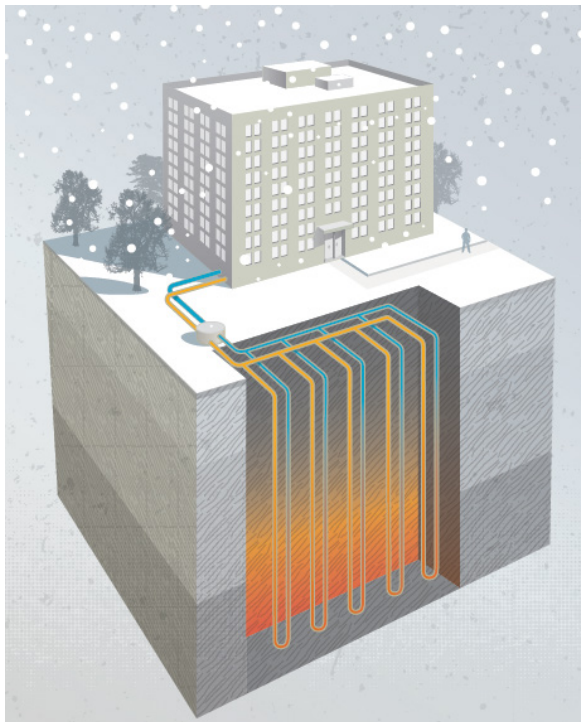
Mer info om EED:

www.buildingphysics.com

SHIT IN = SHIT OUT



Takk for oppmerksomheten



Futurum Energi AS

Bjørn Gleditsch Borgnes
siv.ing. – daglig leder

Epost. bgb@futurum-energi.no

Tlf. 97 47 25 78