



Soojuspuurkaevude ja -aukude projekteerimisel tehtavad arvutused

Argo Jõelet

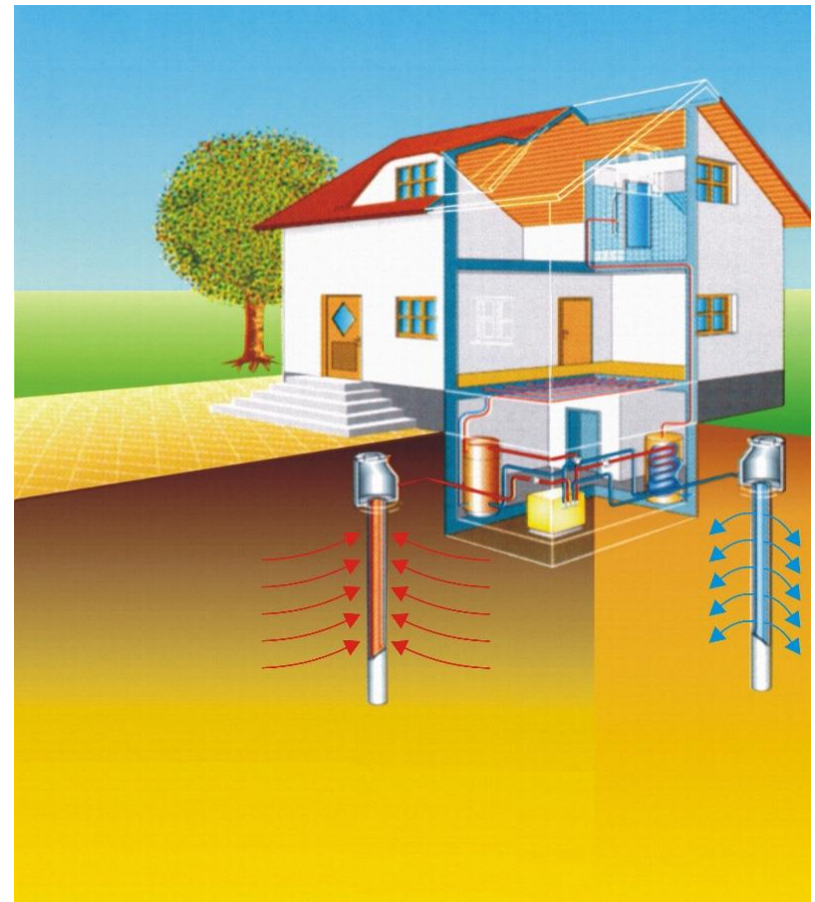
argo.joeleht@ut.ee



Eesti seadustes soojuspuurauk / -kaev

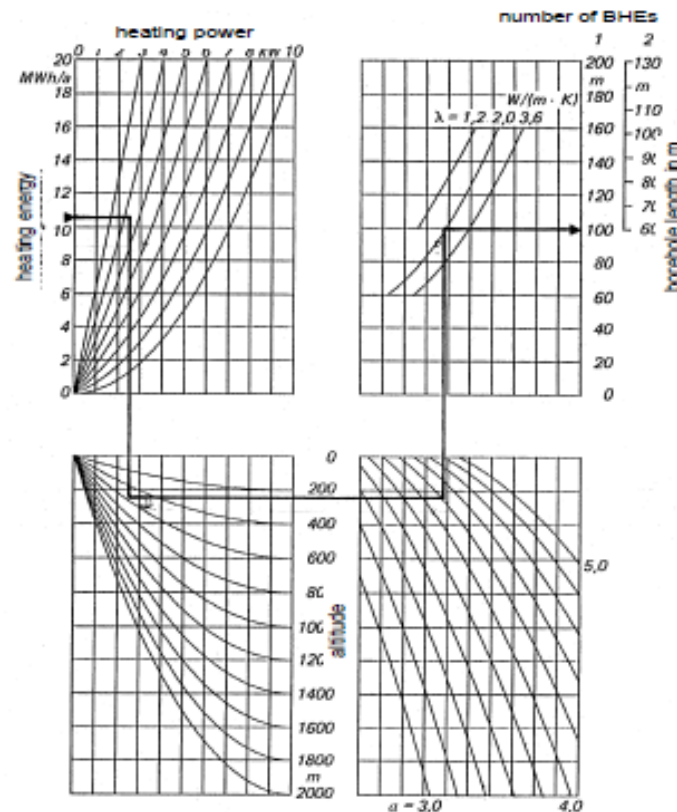
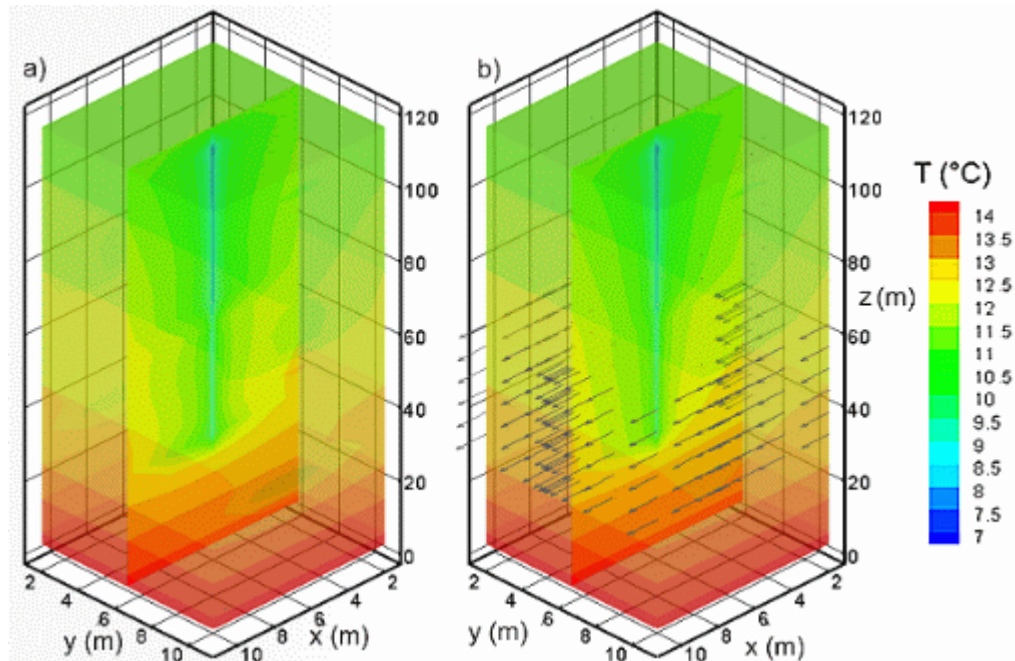
Kinnine süsteem

Avatud süsteem





Mida arvutada?



Eestis väiksemate süsteemide puhul:

- kinnise soojussüsteemi puhul soojuspuuraukude sügavust
- avatud süsteemi puhul vajalikke pumpamismahtusid



Kinnine süsteem

Vajalikud algandmed tellijalt:

Soojuspumba võimsus

Aastane kütte/jahutuse vajadus

(tippkoormusel töötamise tundide arv)

Muu info:

Geoloogiline läbilõige

Puuraukude arv ja omavaheline asend



MAJA AASTASE KÜTTEKULU ARVESTUS

Üldpind m ²	Ühik	ENERGIAKLASSID						
		D	C	B	A	A+	A++	Passiivmaja
		KWh/m ² a	190	150	130	120	45	35
80	KWh/a	15200	12000	10400	9600	3600	2800	1200
100	KWh/a	19000	15000	13000	12000	4500	3500	1500
120	KWh/a	22800	18000	15600	14400	5400	4200	1800
150	KWh/a	28500	22500	19500	18000	6750	5250	2250
175	KWh/a	33250	26250	22750	21000	7875	6125	2625
200	KWh/a	38000	30000	26000	24000	9000	7000	3000
250	KWh/a	47500	37500	32500	30000	11250	8750	3750
300	KWh/a	57000	45000	39000	36000	13500	10500	4500



Erivõimsus topelt U torustikuga

Kivim	1800 h/a *	2400 h/a *	3000 h/a
kuiv setend ($\lambda < 1,5$ W/m/K) Eestis sinisavi	25 W/m	20 W/m	16 W/m
tavaline küllastunud kivim ($1,5 < \lambda < 3,0$ W/m/K) Eesti enamik kivimeid	60 W/m	50 W/m	40 W/m
kõrge soojusjuhtivusega kivim ($\lambda > 3,0$ W/m/K) Eestis puhtad dolomiidid	84 W/m	70 W/m	55 W/m

* vastavalt Saksamaa standardile VDI 4640

Ühekordse U torustikuga

-10%

Palju puurauke lähestikku

-10% ... -20%

Põhjavee voolamise korral

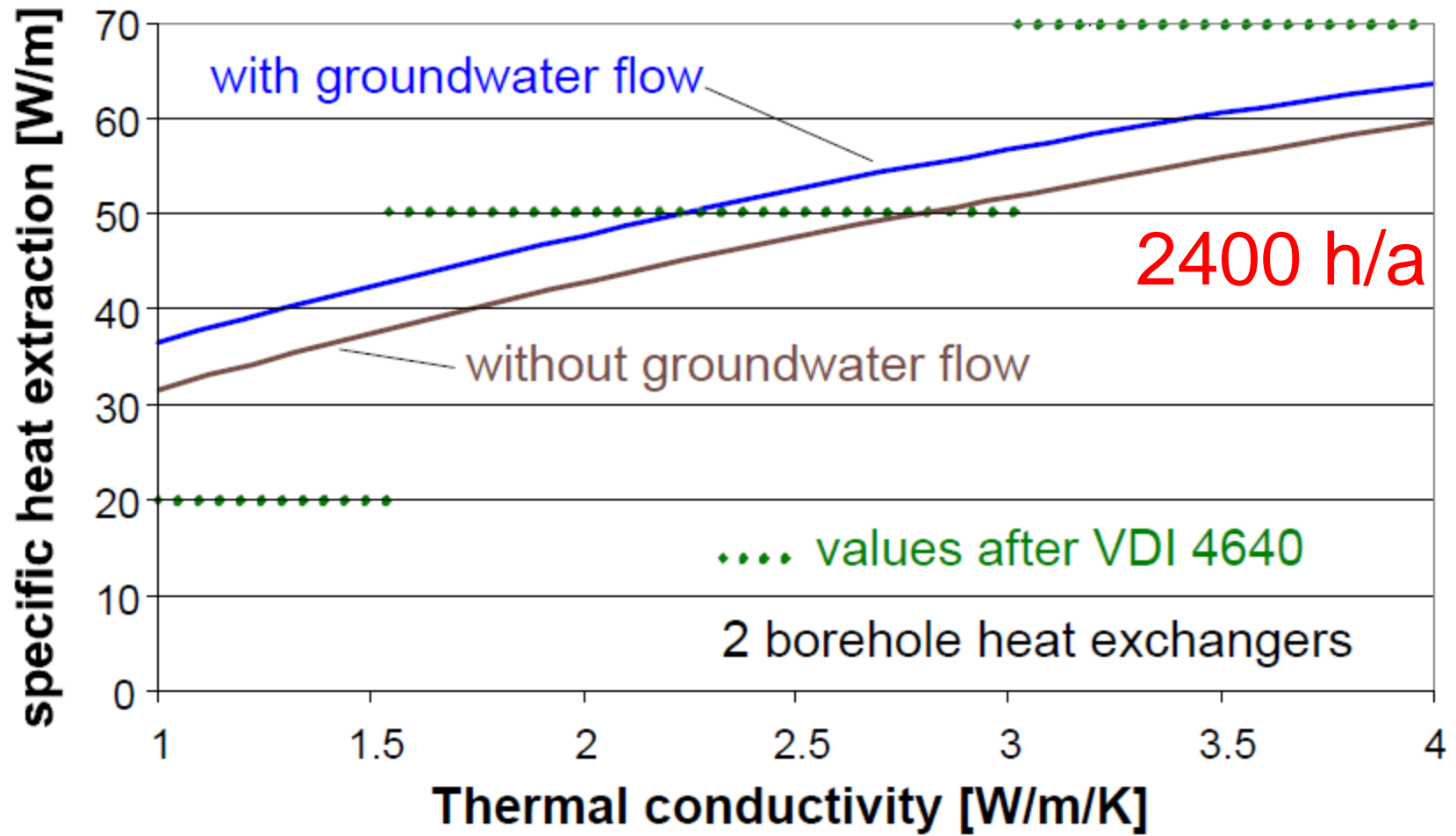
+10% ... +20%

Hoone kütmisel ja jahutamisel

vaata üle töötundide arv



Single family house, 10 kW heating demand

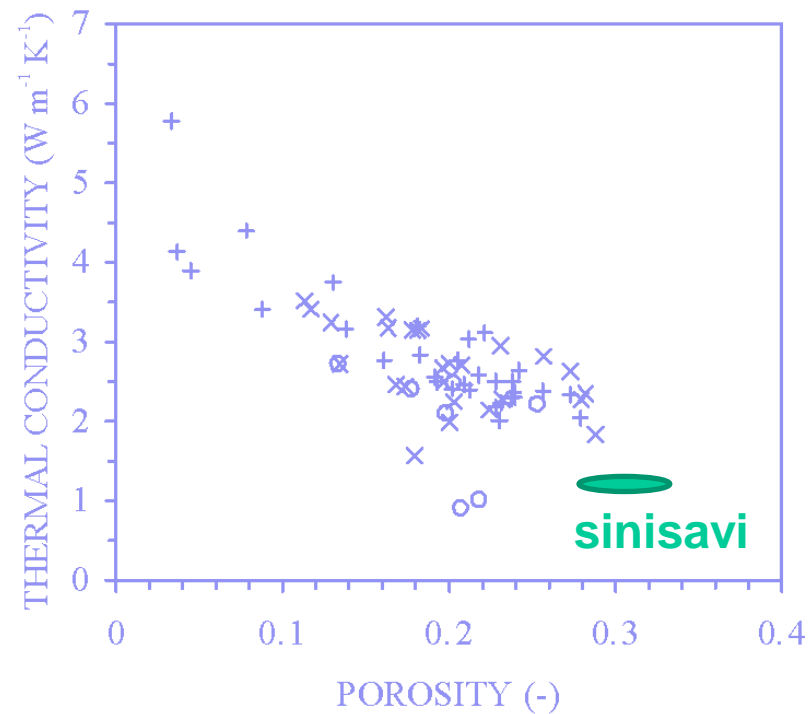
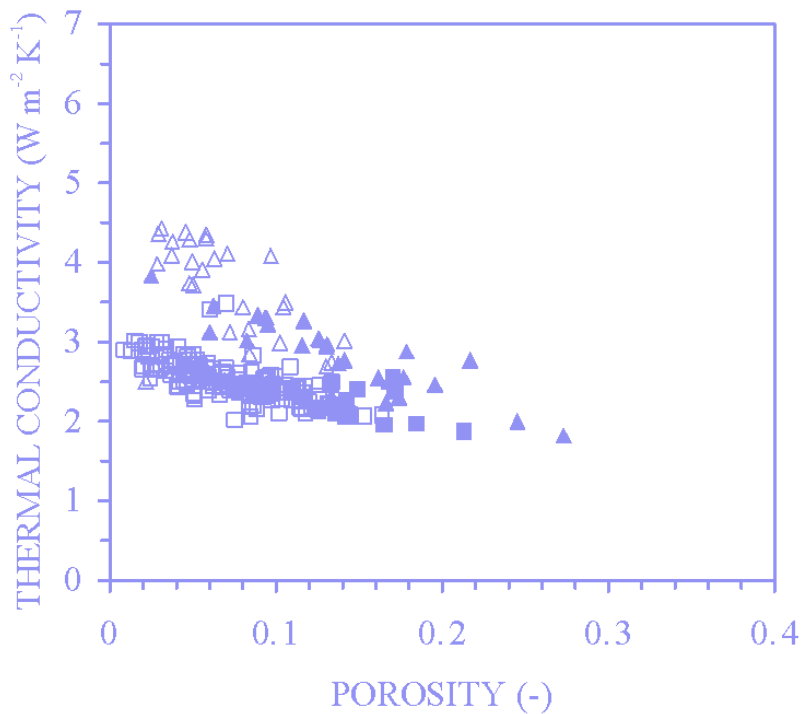


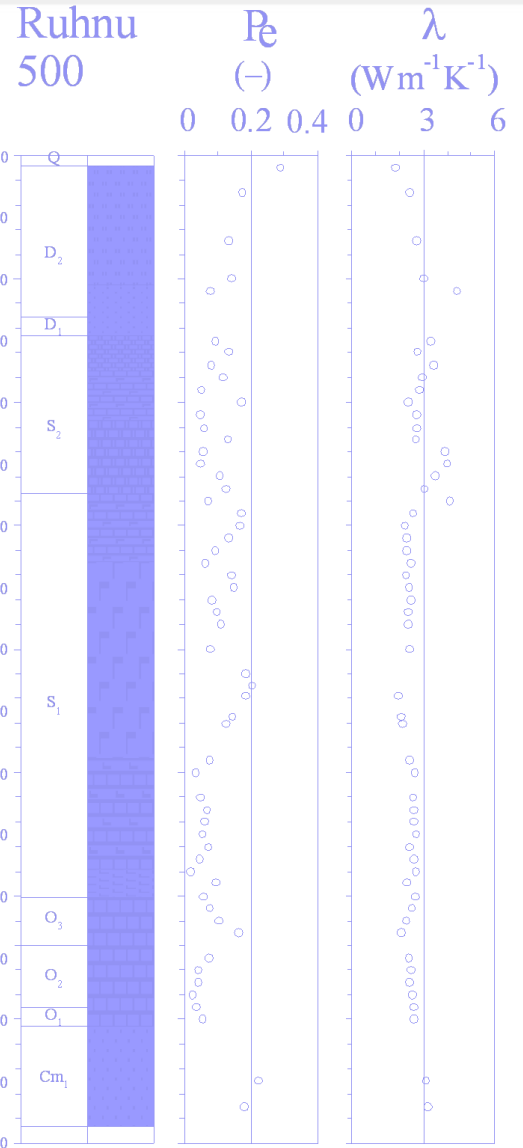
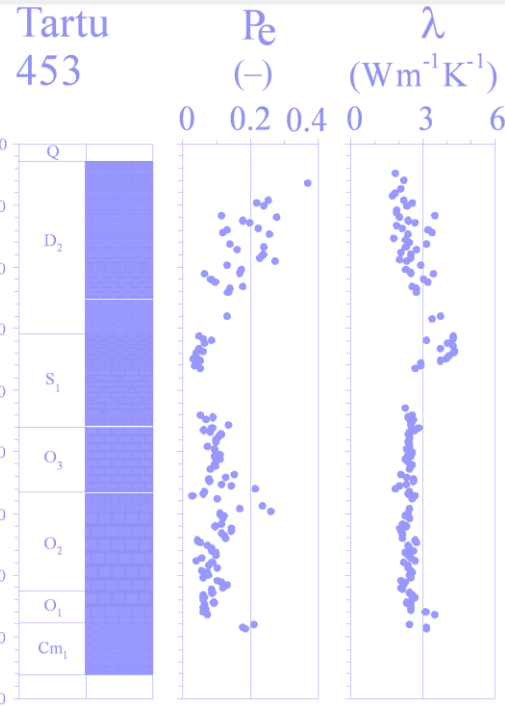


Eesti kivimite soojusjuhtivustegur

Lubjakivi, dolomiit

Liivakivi, savi

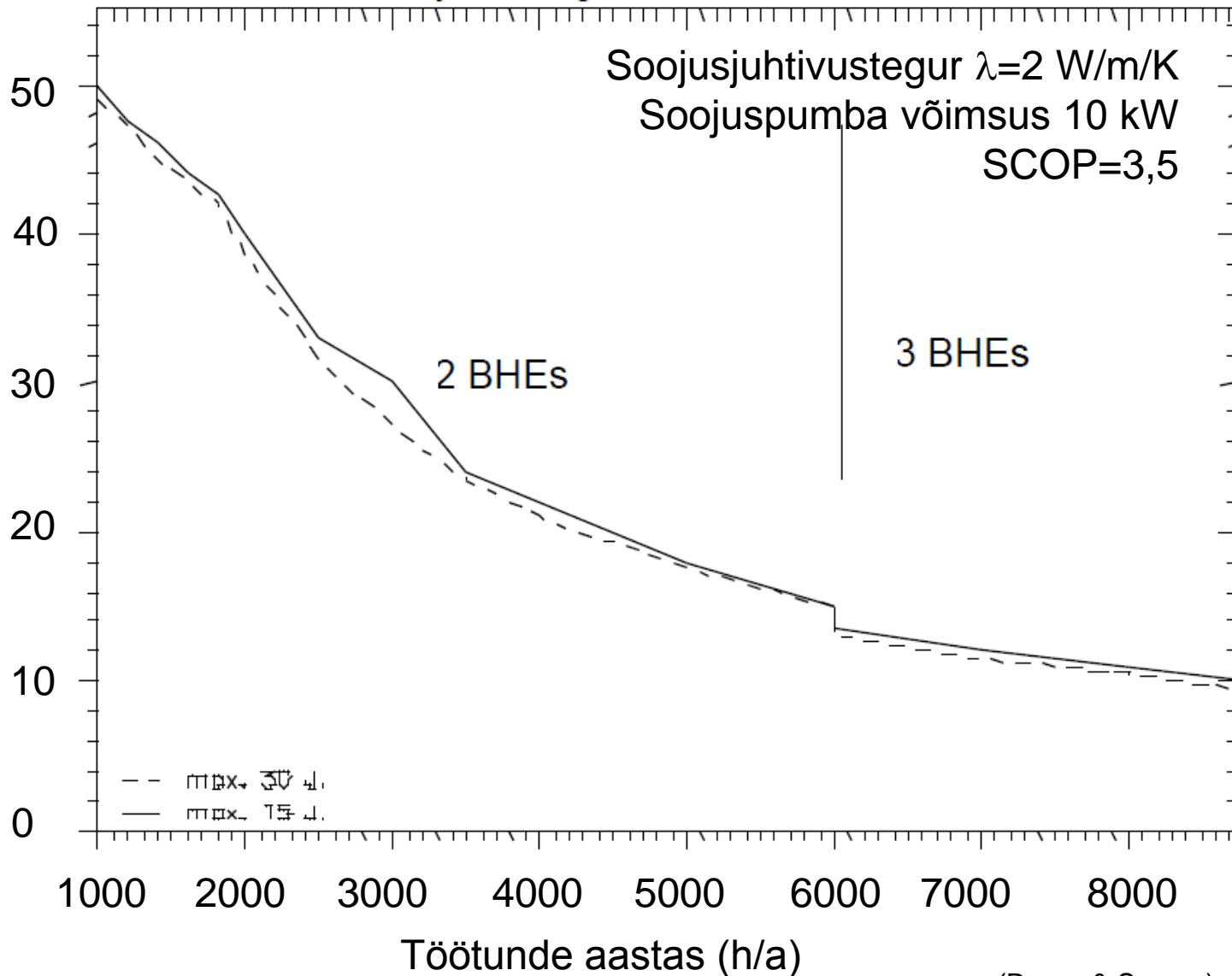


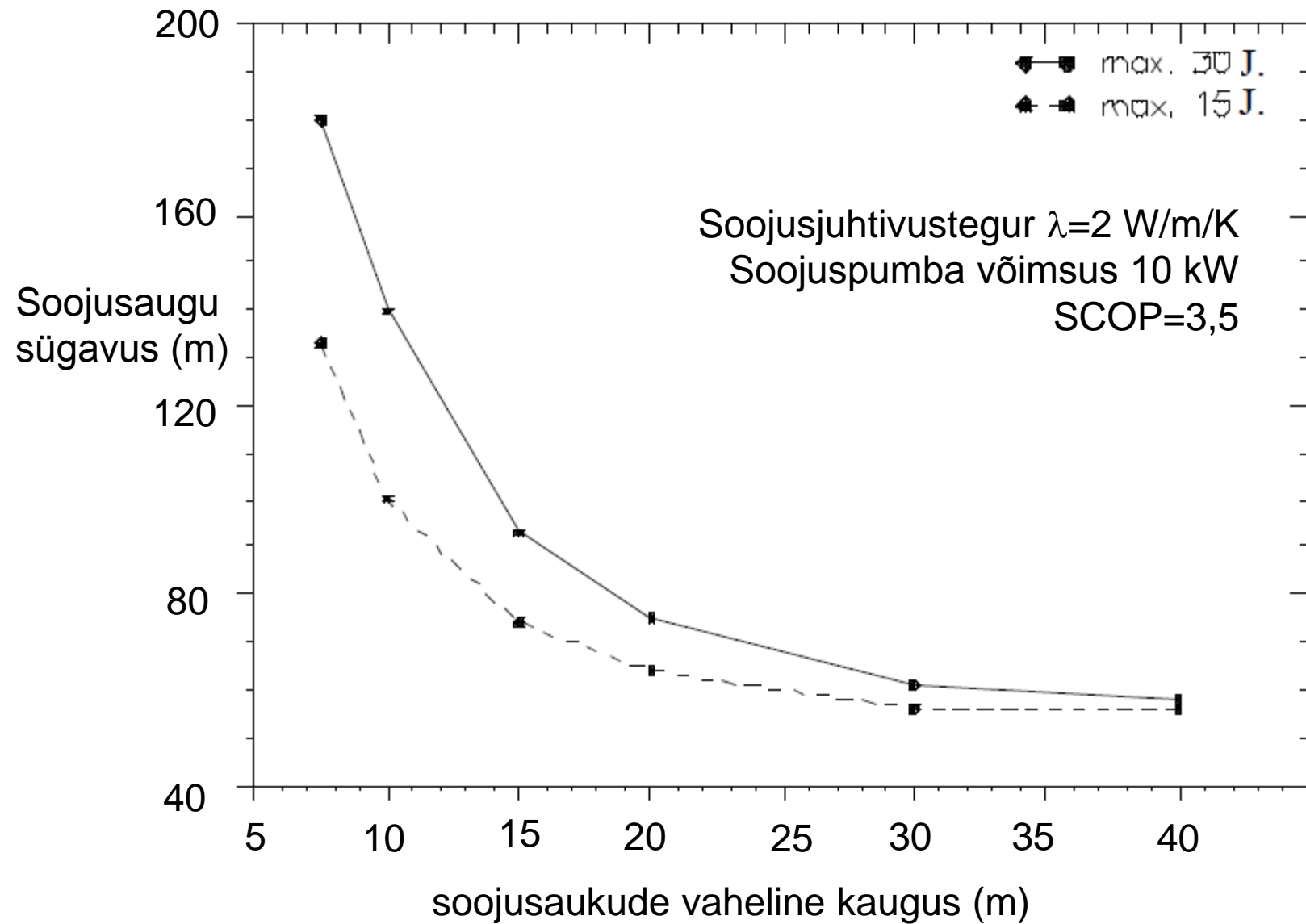


Eesti kivimite soojusjuhtivustegur



Erivõimsus (W/m)







Kinnise süsteemi näide 1 (1/3)

Eramu 160 m², B-energiaklass, tarbevesi 4 inimest

- soojuspump 8 kW
- aastane küttevajadus 20 000 kWh
(küte 125 kWh/(m² a) = 14 W/m²)
- soe tarbevesi 4000 kWh

⇒ täiskoormusel töötunde

$$24\,000 \text{ kWh/a} / 8 \text{ kW} = 3000 \text{ h/a}$$



Kinnise süsteemi näide 1 (2/3)

Soojuspumba võimsus 8 kW

Kavandataav SCOP = 3,5

⇒ Aurusti võimsus (maa seest võetav)

$$P_{\text{aurusti}} = P_{\text{SP}} * (\text{SCOP}-1) / \text{SCOP}$$

$$P_{\text{aurusti}} = 8 * (3,5 - 1) / 3,5 = \mathbf{5,7 \text{ kW}}$$



Kinnise süsteemi näide 1 (3/3)

Läbilõikes lubjakivid

ühe soojuspuuraugu sügavus

$$L = 5700 \text{ W} / 40 \text{ W/m} \Rightarrow 145 \text{ m}$$

või

kaks puurauku kuni 10 m teineteisest

$$L = 5700 \text{ W} / 36 \text{ W/m} \Rightarrow 2 \times 80 \text{ m}$$

või

kolm puurauku kuni 10 m teineteisest

$$L = 5700 \text{ W} / 32 \text{ W/m} \Rightarrow 3 \times 60 \text{ m}$$



Kinnise süsteemi näide 2

Klindiesine läbilõige

10 m liivakivi 50 m sinisavi peal

Soojuspuuraugud teineteisest kaugel

$$L = 5700 \text{ W} / 16 \text{ W/m} \Rightarrow 360 \text{ m} \sim 6 \times 60 \text{ m}$$

või

puuraugud kuni 10 m teineteisest

$$L = 5700 \text{ W} / 12 \text{ W/m} \Rightarrow 480 \text{ m} \sim 8 \times 60 \text{ m}$$



Avatud süsteem

Vajalikud algandmed tellijalt:

Soojuspumba võimsus

Aastane kütte/jahutuse vajadus

(mõjutab puurkaevude vahekaugust)

Muu info:

Hüdrokeoloogiline läbilõige



Pumpamismaht ja soojushulk

- Vee erisoojus 4,2 kJ/(kg K)
- Pumpates vett 1 liiter (1 kg) sekundis ja jahutades 1 kraadi võrra saame “veesoojust”
 $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * 1 \text{ kg/s} * 1 \text{ K} = 4,2 \text{ kJ/s} = 4,2 \text{ kW}$

NB! SP väljundvõimsus = veesoojus + elektrikulu



Avatud süsteemi näide

Soojuspumba võimsus 8 kW

Kavandata SCOP = 4

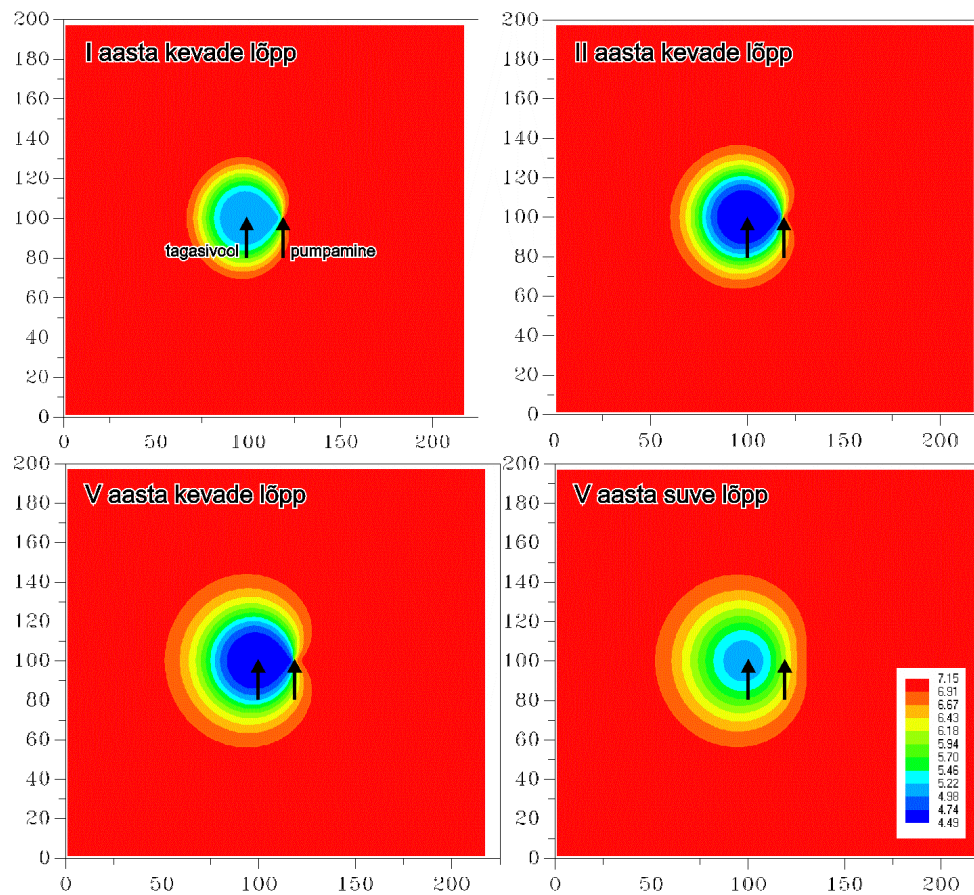
⇒ Aurusti võimsus (põhjaveest võetav)

$$P_{\text{aurusti}} = P_{\text{SP}} * (\text{SCOP}-1) / \text{SCOP}$$

$$P_{\text{aurusti}} = 8 \text{ kW} * (4 - 1) / 4 = \mathbf{6 \text{ kW}}$$

Jahutades vett 1,5 kraadi on vajalik pumpamismaht

$$Q = 6 \text{ kW} / (4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * 1,5 \text{ K}) = 0,95 \text{ l/s} = 3,4 \text{ m}^3/\text{h}$$



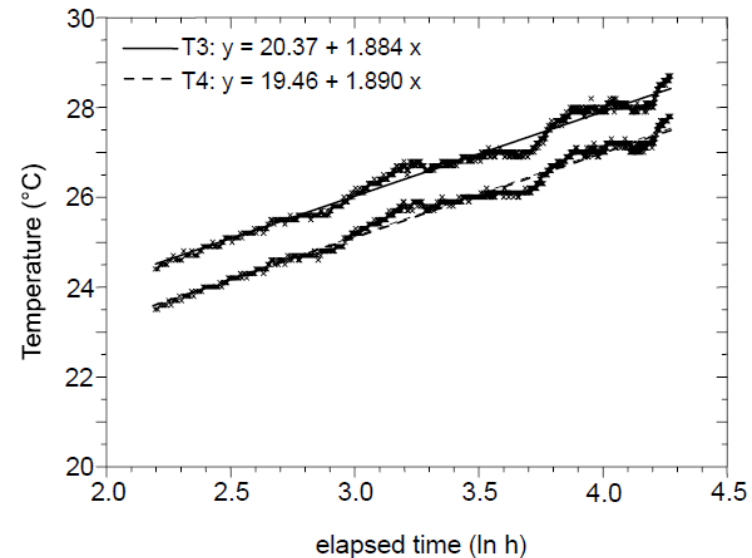
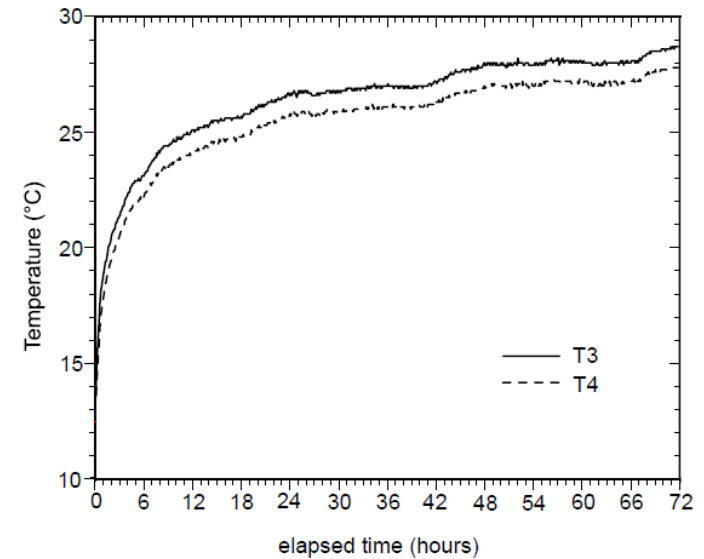
(Gaškov & Jõelet, 2012)

Väiksemate avatud süsteemi kaevude soovituslik
vahekaugus 10 – 20 m



Järelmõtted

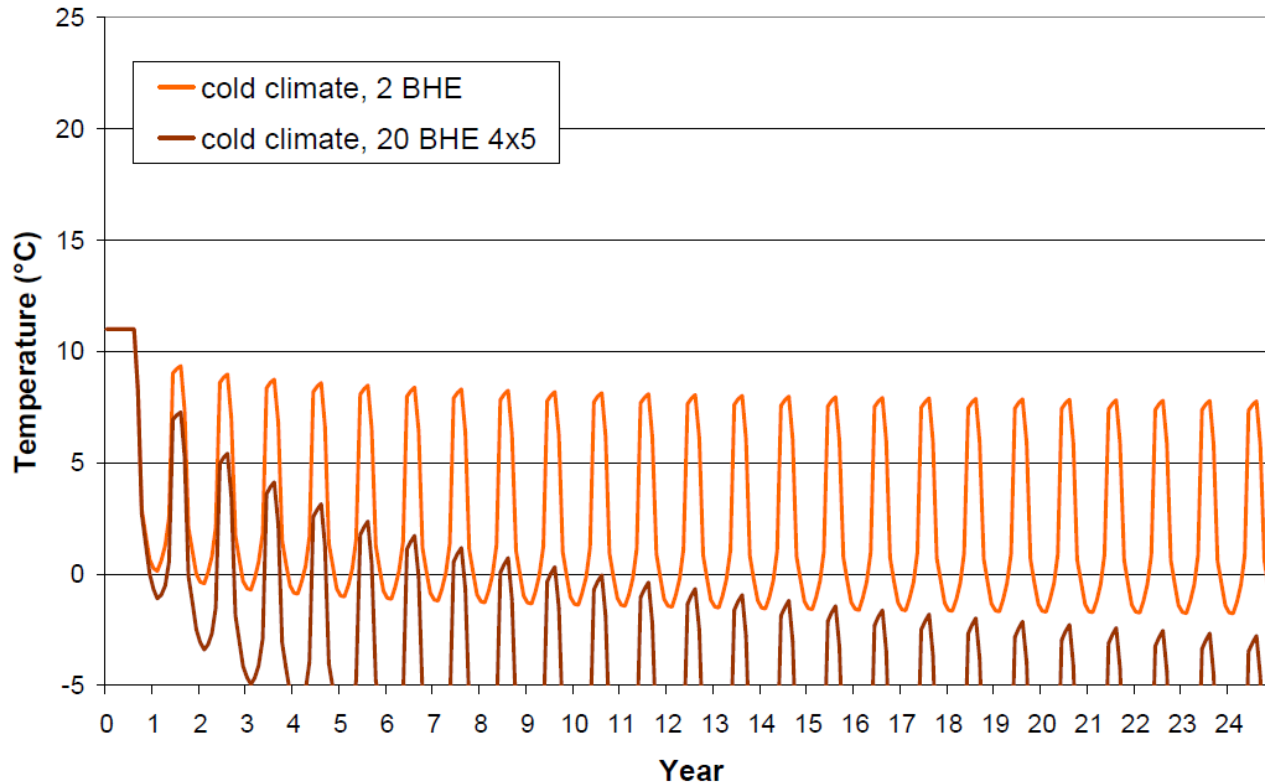
Soojuspuuraukude toimivuse paremaks hindamiseks => thermal response test





Mis saab siis, kui liiga palju sooja välja võtta ...

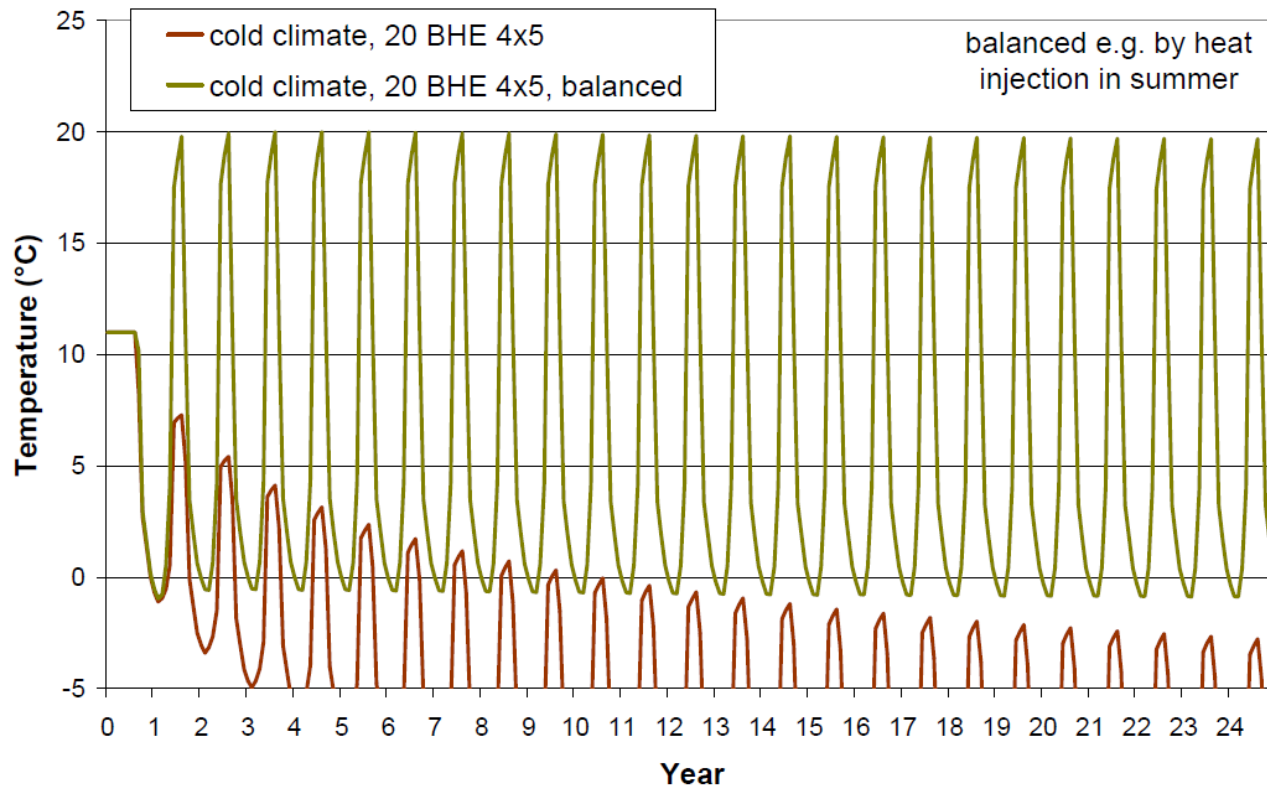
Temperature inside BHE, small system (10 kW) and medium system (100 kW) in cold region

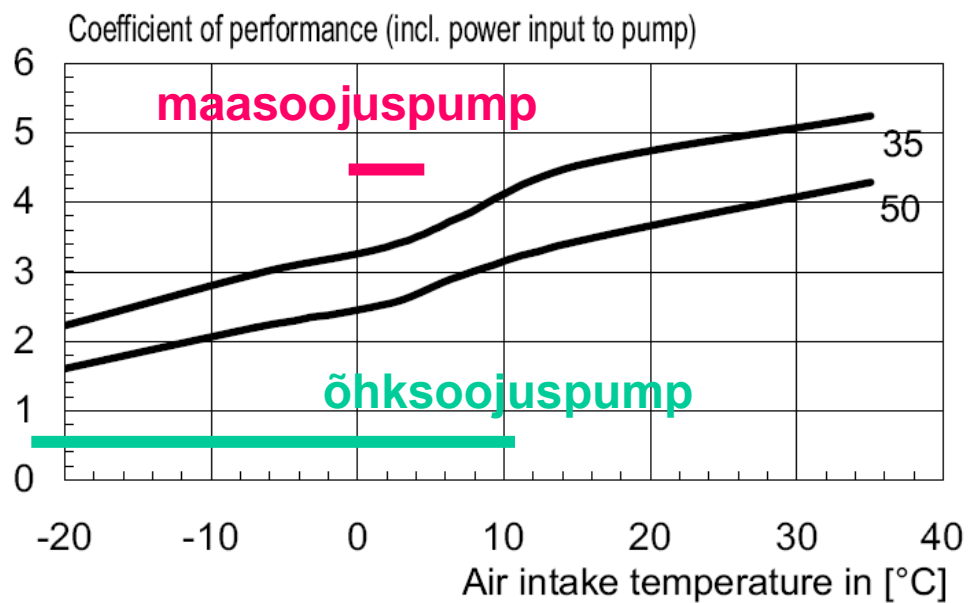




... siis tuleb mõelda sooja tagasipanekule

Temperature inside BHE, medium system (100 kW)
in cold region, unbalanced / balanced





Mudel Dimplex LI16ASR
<http://www.dimplex.de>



Soovituslikku lugemist

D10 GEOTRAINER DRILLERS MANUAL

<http://www.geo-zs.si/UserFiles/1/File/Geo.Power/D10%20Geotrainer%20Drillers%20Manual.pdf>

DESIGN OF CLOSED LOOP HEAT EXCHANGERS

https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/ISS/2003Germany/II/6_1.reu.pdf

Soojuspuuraukude mõju keskkonnale

http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1084431/aruanne_soojuskaevud.pdf

Soojussüsteemi puurkaevu ja -augu mõju põhjavee ja pinnase füüsikalistele omadustele ning põhjavee keemilisele koostisele Eesti tingimustes

<http://www.keskkonnaministeerium.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1181491/SoojuspuuraukudeAruanne2012.pdf>

Täna kuulamast!