

Megújuló energiaforrások I.

Geotermikus energia

**Dr. Ivelics Ramón PhD.
egyetemi adjunktus**

**PTE MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Környezetmérnöki Tanszék**

Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
 - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
 - fission, fusion,
- *geotermikus energia*
- exothermic reactions

Megújuló energiahordozók

- **napenergia:** napsugárzás, fotoszintézis, szél, hőfokkülönbségek, stb.
- *szél,*
- *bioenergia: izomerő, biomassa, mikrobiológiai reakciók,*
- gravitáció: árapály.

Geotermikus energia

Geo (Föld) Thermal (Hő)

Jelentése, fogalmai

A geotermikus energia forrása a Föld belsejében keletkező hő (Föld mélyében lévő kőzetek radióaktív bomlása).

A föld hőjének energetikai célú hasznosítása.

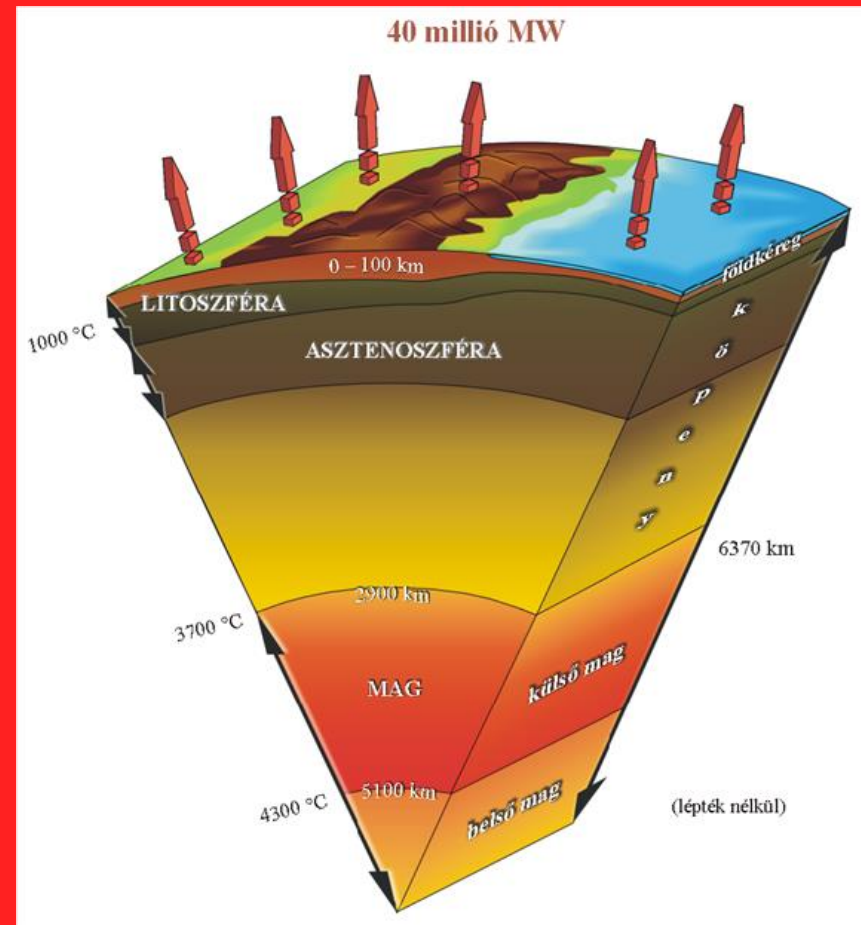
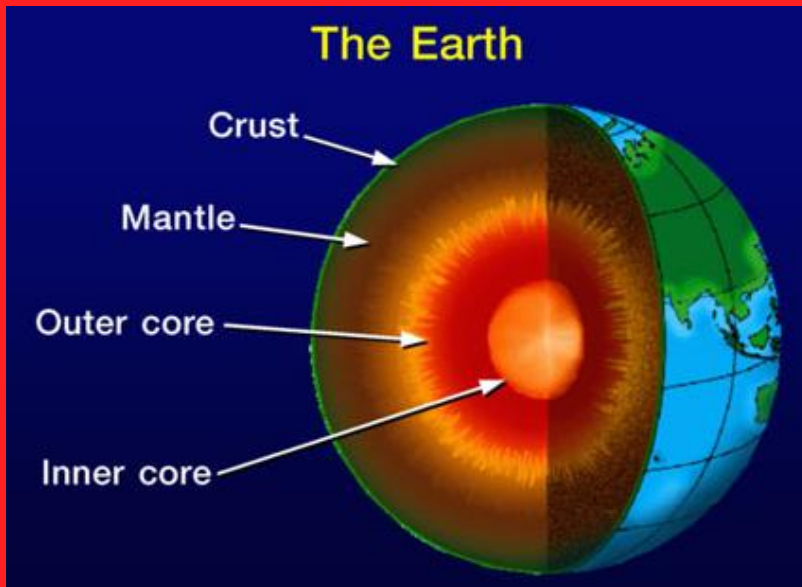
Évszaktól, időjárástól független, $6 \cdot 10^{22} \text{ J} = 6 \cdot 10^4 \text{ EJ}$

Geotermikus = földhő?

Geotermia. EU irányelv: Légtermikus, geotermikus, hidrotermikus.

Kína. Római birodalom. Balneológia, padlófűtés.

Hasznosíthatósága: elektromos energia, közvetlen hőenergia, balneológia, hőszivattyúzás, egyéb.

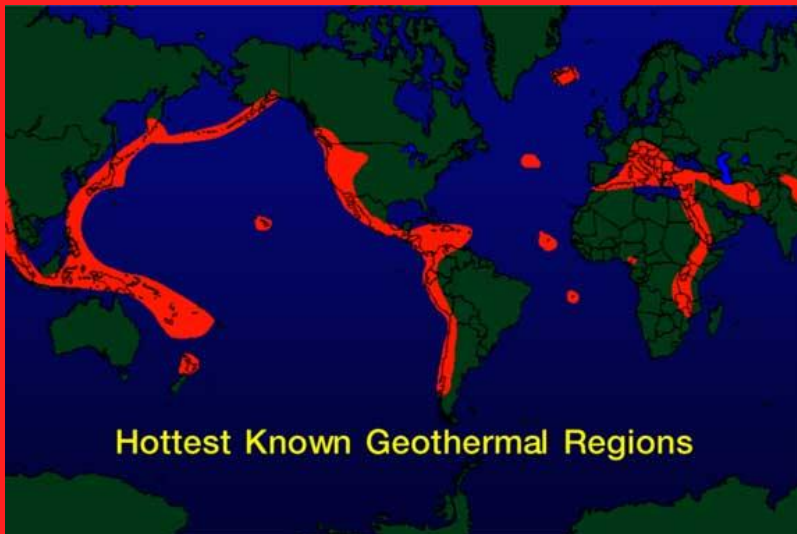
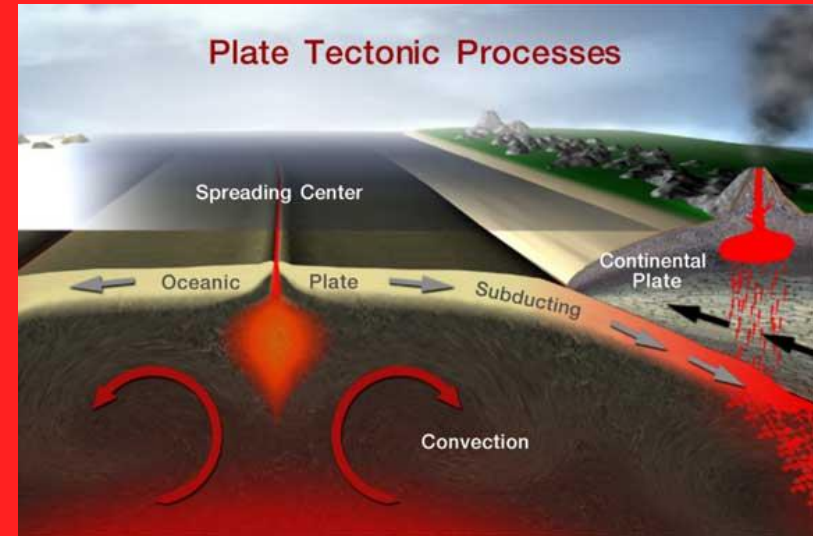
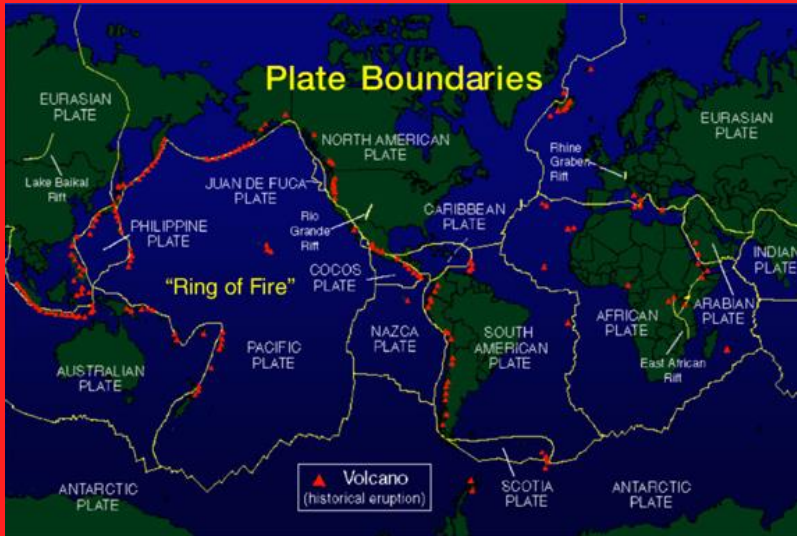


A Föld rétegei

Rétegek belülről kifelé:

- belső tömör mag
(átmérő 2600 km; 1300 km; Fe, Ni; 3000-6000 Celsius fok),
- cseppfolyós külső mag
(2100 km, Föld mágneses mezeje, 2500-3000 Celsius fok),
- köpeny (2900 km, 1000-2500 Celsius fok),
- kéreg (0-100 km, 15-1000 Celsius fok).

Lemeztektonika



A kéreglemezek állandó mozgásban vannak. (néhány cm/év)

Az ütközések és morzsolódások következtében hegyek, vulkánok, gejzírek alakulhatnak ki.

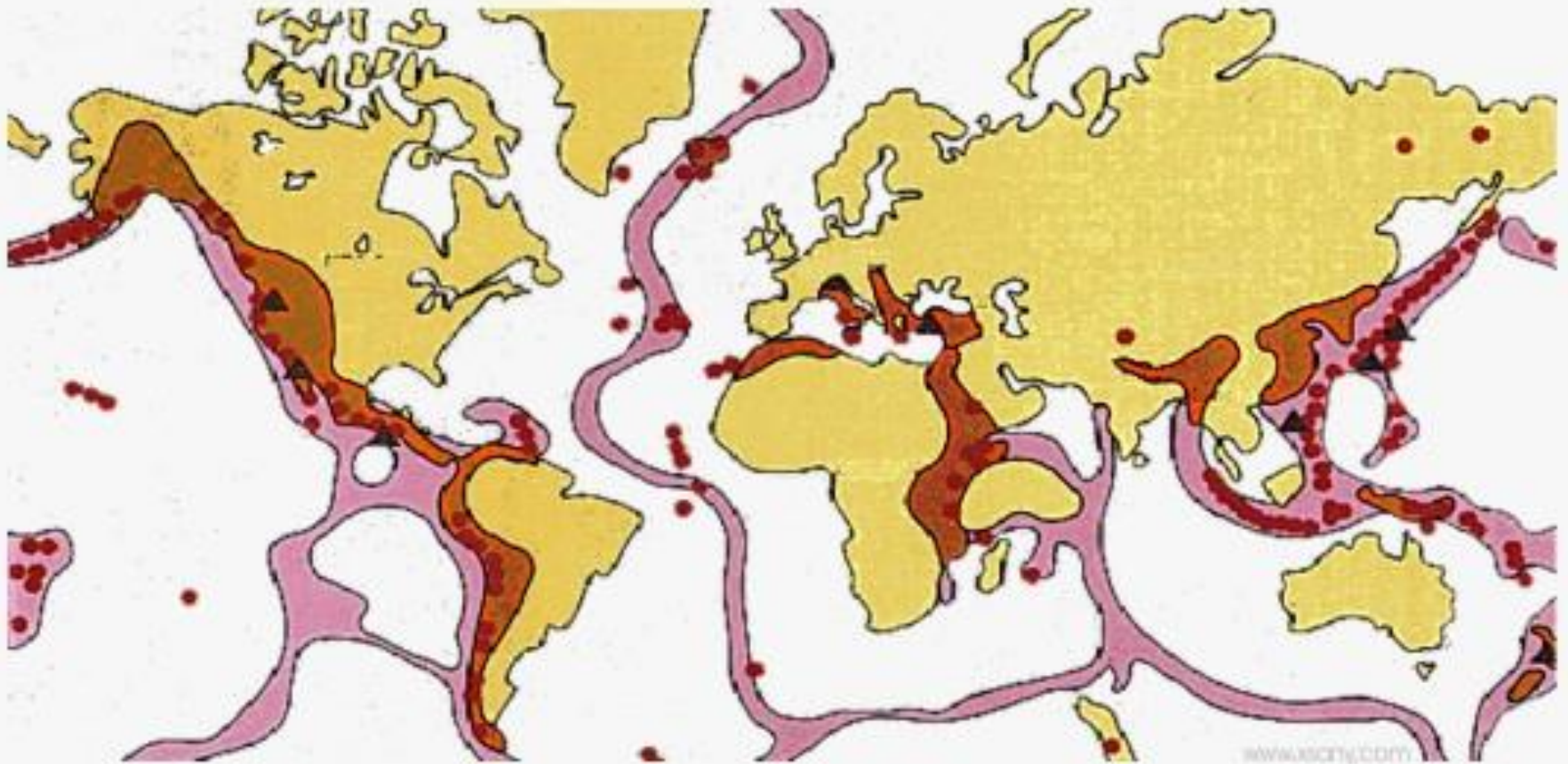
Elegendő?

- Átlagos földi hőáramsűrűség a Föld felszínén: $= 0,057 \text{ W/m}^2 = 57 \text{ kW/m}^2$
- Geotermikus hőfokgradiens (átlag 30; 15-200; Mo.: $45 \text{ }^\circ\text{C/km}$)
- Felületi hőáramsűrűség (átlag 57, 50-200; Mo.: $90\text{-}100\text{kW/km}^2$)
- Földfelszín: $4\pi R^2 = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$
- Teljes geotermikus potenciál: 30-40 TW
- Csak ~30% szárazföld: $0,3 \cdot 30 = 9 \text{ TW}$
- A jelenlegi igény: 25 TW (világ, össz. en.).
→ **elvileg sem elegendő**

Geotermikus energia potenciál

- *Világ:* csak nagyon kis hányada hasznosítható. A földkéreg felső 3,5 km-es héjának hőtartalma 10^{22} - 10^{23} J. A hővezetéssel felszínre kerülő, szárazföldre jutó teljesítmény 9 TW, de ezt az igen kis gradiens miatt nem lehet hasznosítani. A hőhordozókban feljutó teljesítmény (6 GW) pedig ennek elenyésző hányada, s ennek is csak nagyon kis része hasznosítható, s csak lokálisan. A becsült potenciálok szórnak, felső határuk 1,15-0,30 TW (5-10 EJ/év).
- *Magyarország:* A 3 km-es mélységen belül fellelhető $2,5 \cdot 10^3$ km³-nyi hévizeink hőtartalmát 500 EJ-ra becsülik, de termálvizeink átlagos hőmérséklete (68 °C) alacsony, ezért ennek töredéke hasznosítható.
- Magyarország a Pannon-medencében fekszik; ennek megfelelően különösen nagy a geotermikus potenciálja. Ez az itt vékony litoszférának és az ennek megfelelően magas földi hőáramnak, valamint a medence üledékeiben elhelyezkedő gazdag hidrotermális készleteknek köszönhető.

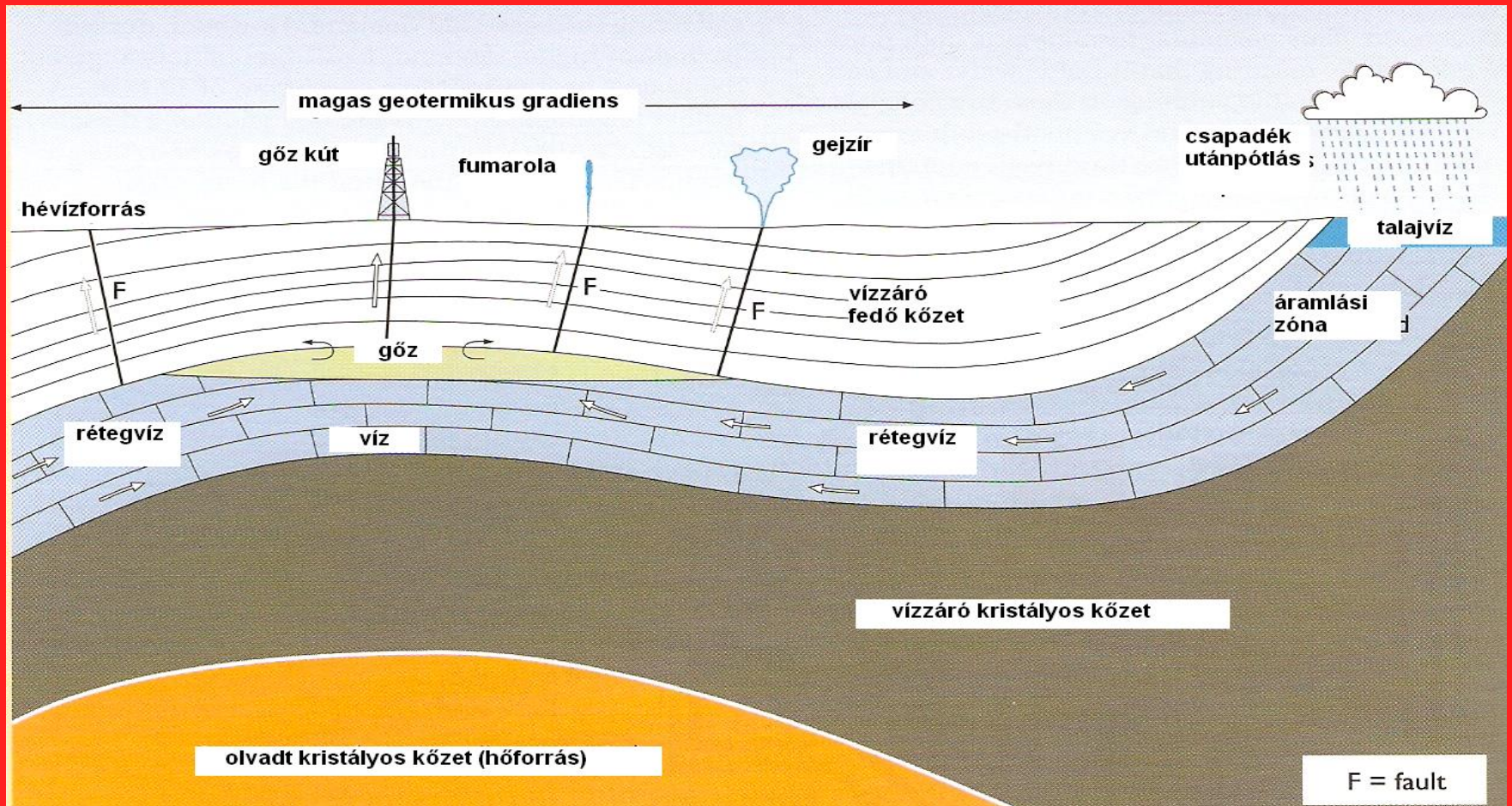
A világ geotermikus zónái



A világ geotermikus zónái

www.xcity.com

Vulkáni utóműködésekhez kötött geotermikus területek jellemzői



Geotermikus kutak

Meddő CH kutak

Kutak potenciálját jellemző adatok:

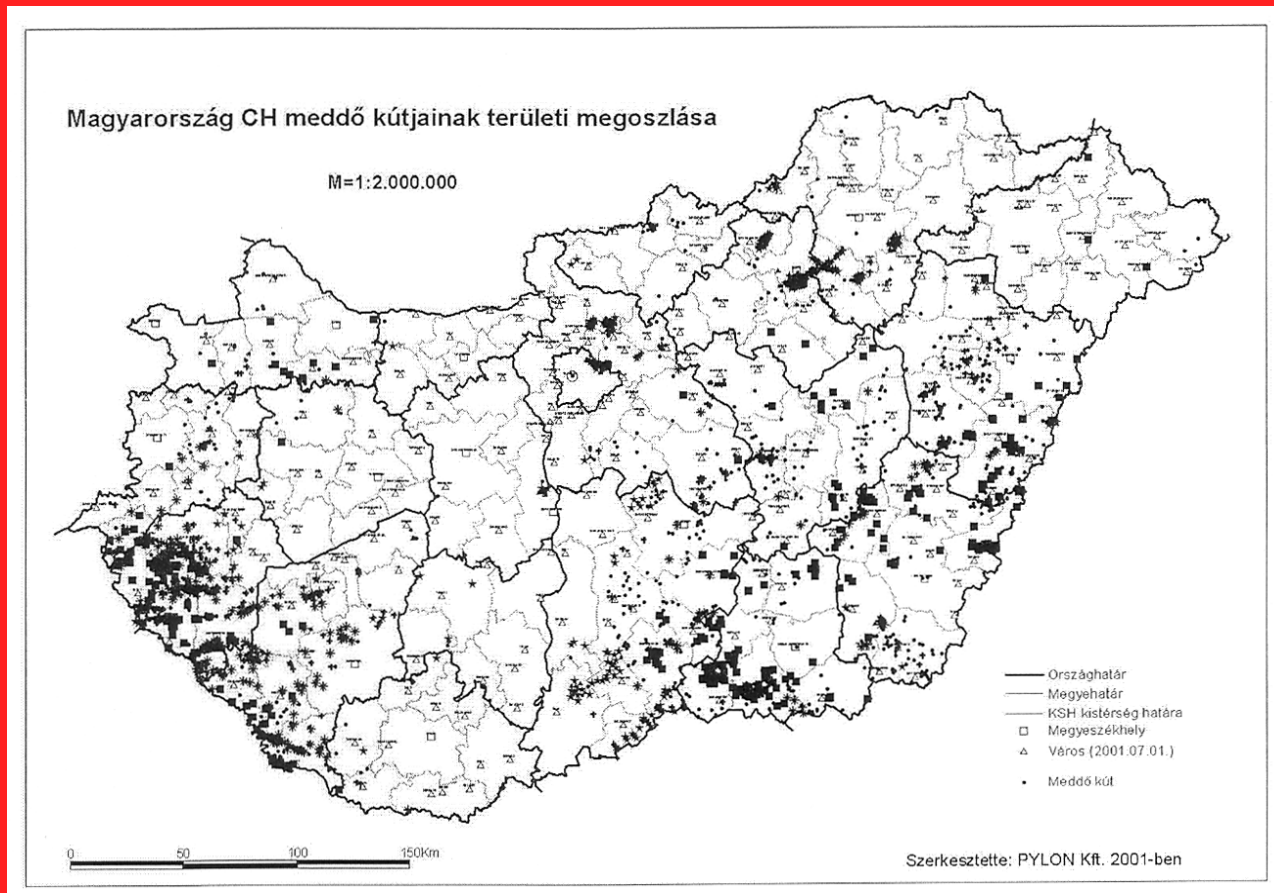
- vízhozam,
- hőmérséklet,
- negatív vagy pozitív kút.

(A kutak mélysége főleg gazdasági szempontból fontos.)

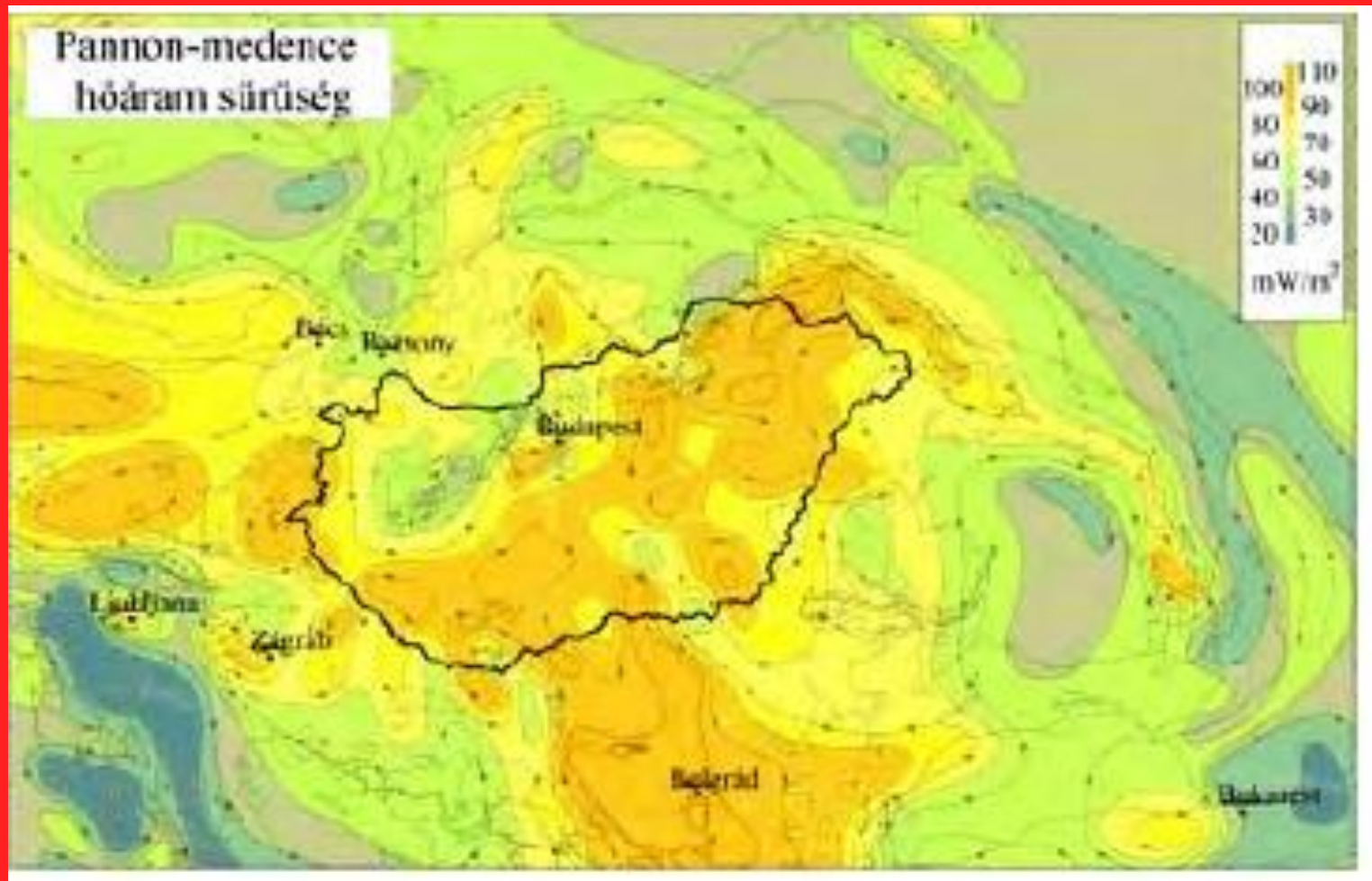
(Sótartalom, gáztartalom!)

Hazai viszonyok

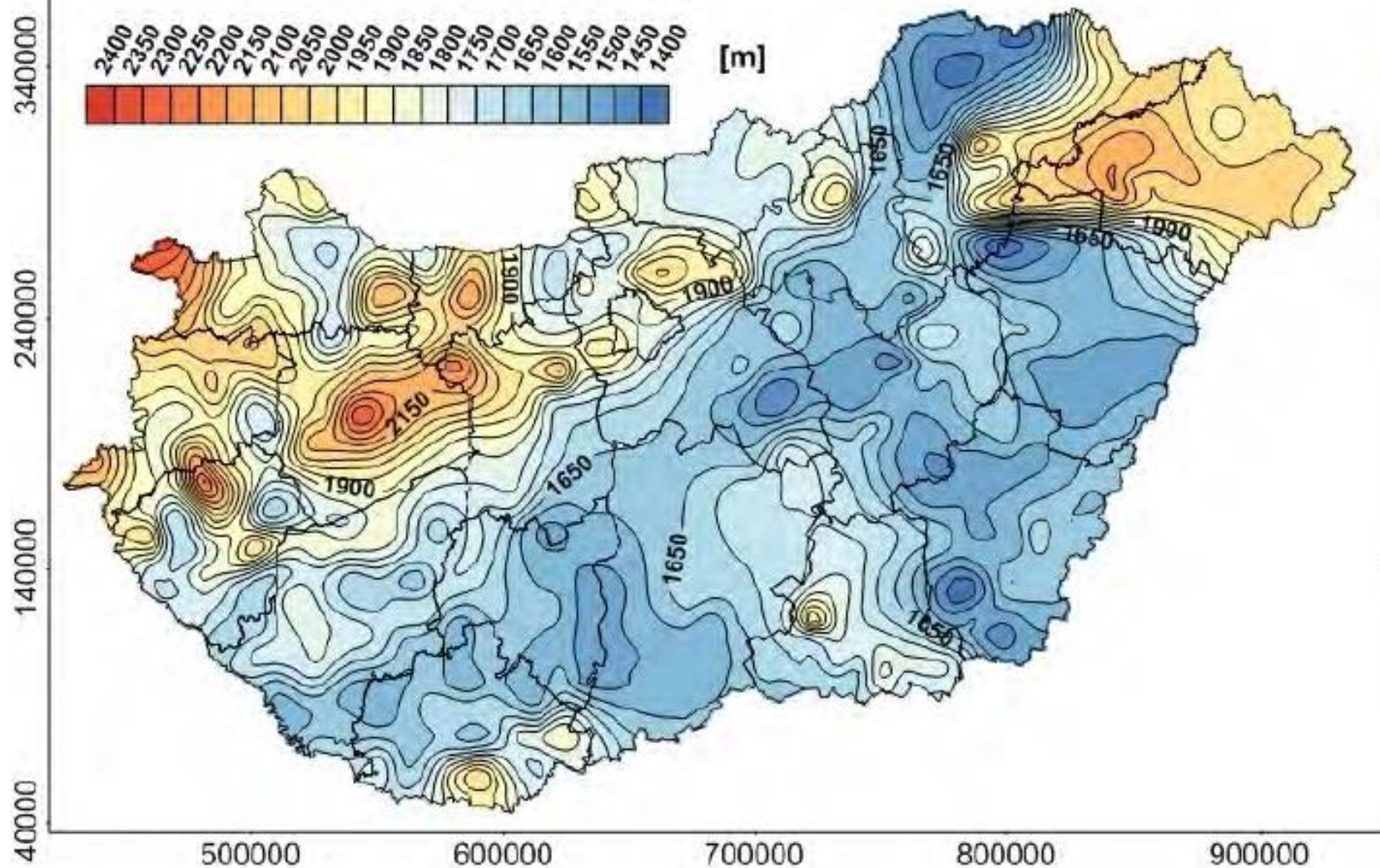
Magyarország CH meddő kútjainak területi megoszlása (5 km²/ fúrás)



Hazai hőáram sűrűség mW/m²

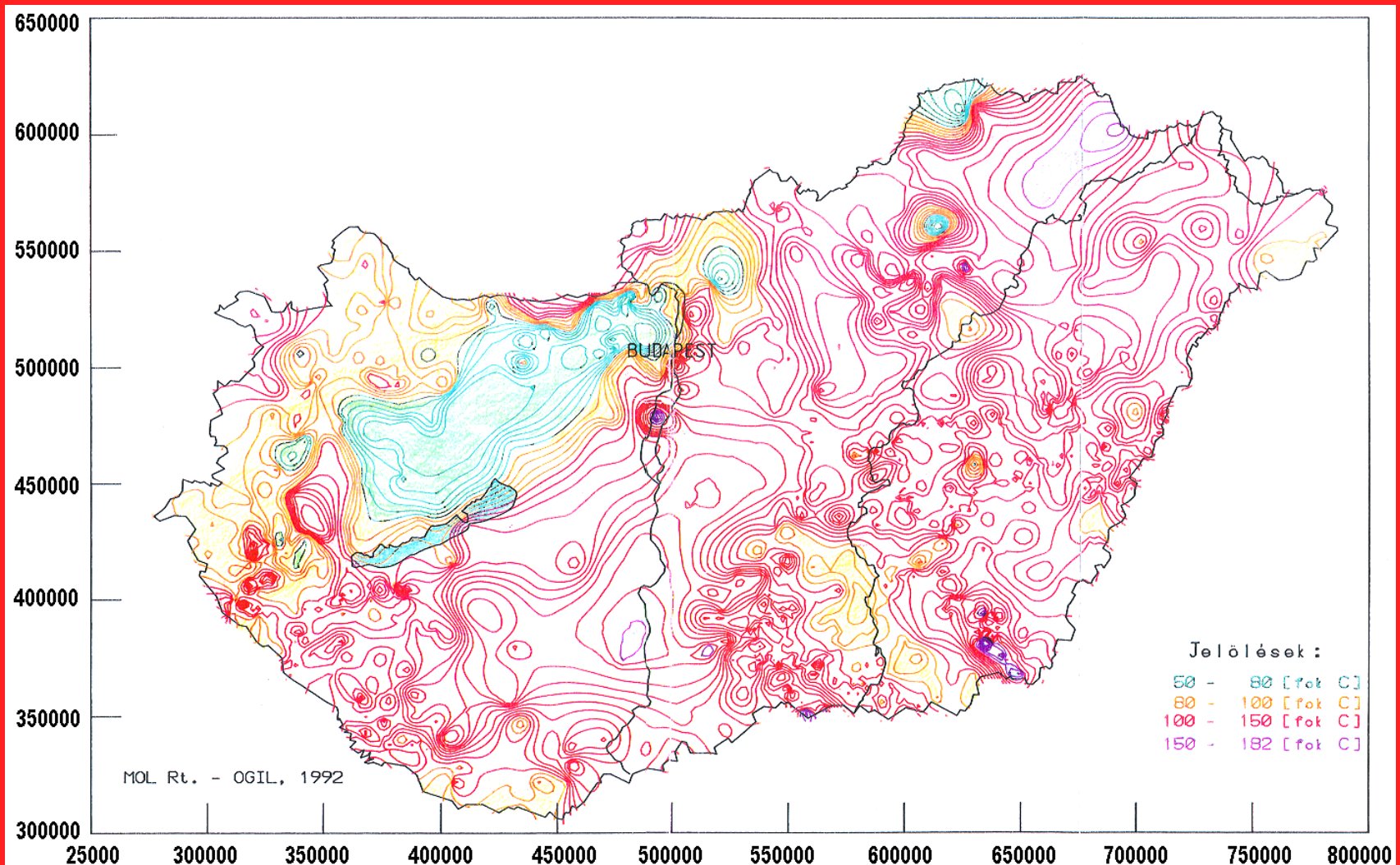


Magyarország 90°C-os geizoterma mélységeloszlás térképe



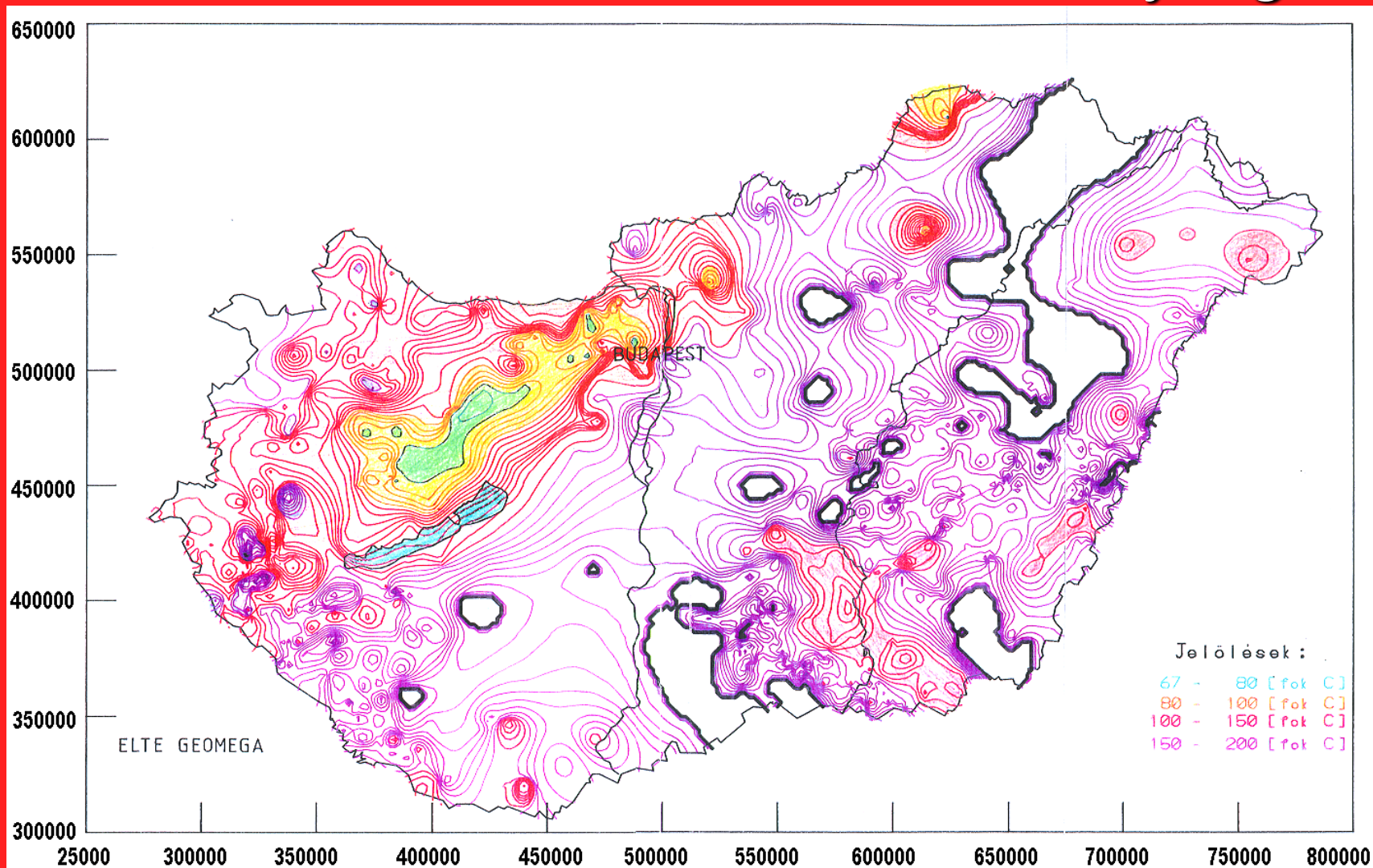
Hazai viszonyok

Hőmérséklet eloszlás 2000 méter mélységben



Hazai viszonyok

Hőmérséklet eloszlás 3000 méter mélységben



Geotermikus energiatermelés Magyarországon

■ Hévízkutak

- A hévízkutak száma az országban 1622 (2015), A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (2016) adatközlése alapján 2015-ben a kitermelt hévíz mennyisége 24,608 millió m³/év. A termelt hőmennyiség 2.509 TJ.

■ Balneológia

- A balneológia célú kutak elméleti termál kapacitása 352 MWt , ami 3.912 TJ/év jelent. Ez mintegy 40 millió m³ víz kitermelésével jár.

■ Mezőgazdaság

- Üvegházak és fóliasátrak termálvízzel történő fűtése a geotermikus energia hazai felhasználásának második legrégebbi és igen jelentős ága. 493 kútból minegy 11 millió m³ vizet termelünk ki, mellyel több, mint 70 hektár üvegház és 260 hektár talajfűtésű fóliasátor hőellátása biztosított. A mezőgazdasági célra kitermelt hévizeink becsült kapacitása 306 MWt, mely 3.413 TJ.

■ Távfűtés, helyiségfűtés

Geotermikus energia termelés Magyarországon

■ Távfűtés, helyiségfűtés

- PannErgy Nyrt. Győri Geotermikus Projektje két termelő és két visszasajtoló kútból, 24266 lakás geotermikus energiával történő ellátását, továbbá az AUDI gyáregység fűtési energiájának legalább 60%-át fedezni.
- Jelenleg Barcs, Bóly, Budapest, Cserkeszőlő, Csongrád, Debrecen, Gárdony, Győr, Hódmezővásárhely, Jászkisér, Kistelek, Makó, Mezőberény, Miskolc, Mórahalom, Mosonmagyaróvár, Nagyatád, Szarvas, Szeged, Szentes, Szentlőrinc, Szigetvár, Szolnok, Tamási, Törökszentmiklós, Vasvár, Veresegyház településeken, több mint 70 geotermikus kút érintésével (termelő, visszasajtoló, megfigyelő) – hasznosítják a termálvizet fűtési célra.
- A kutakból kitermelt hévíz becsült hőkapacitása 219 MWt azaz 2.352 TJ/év.

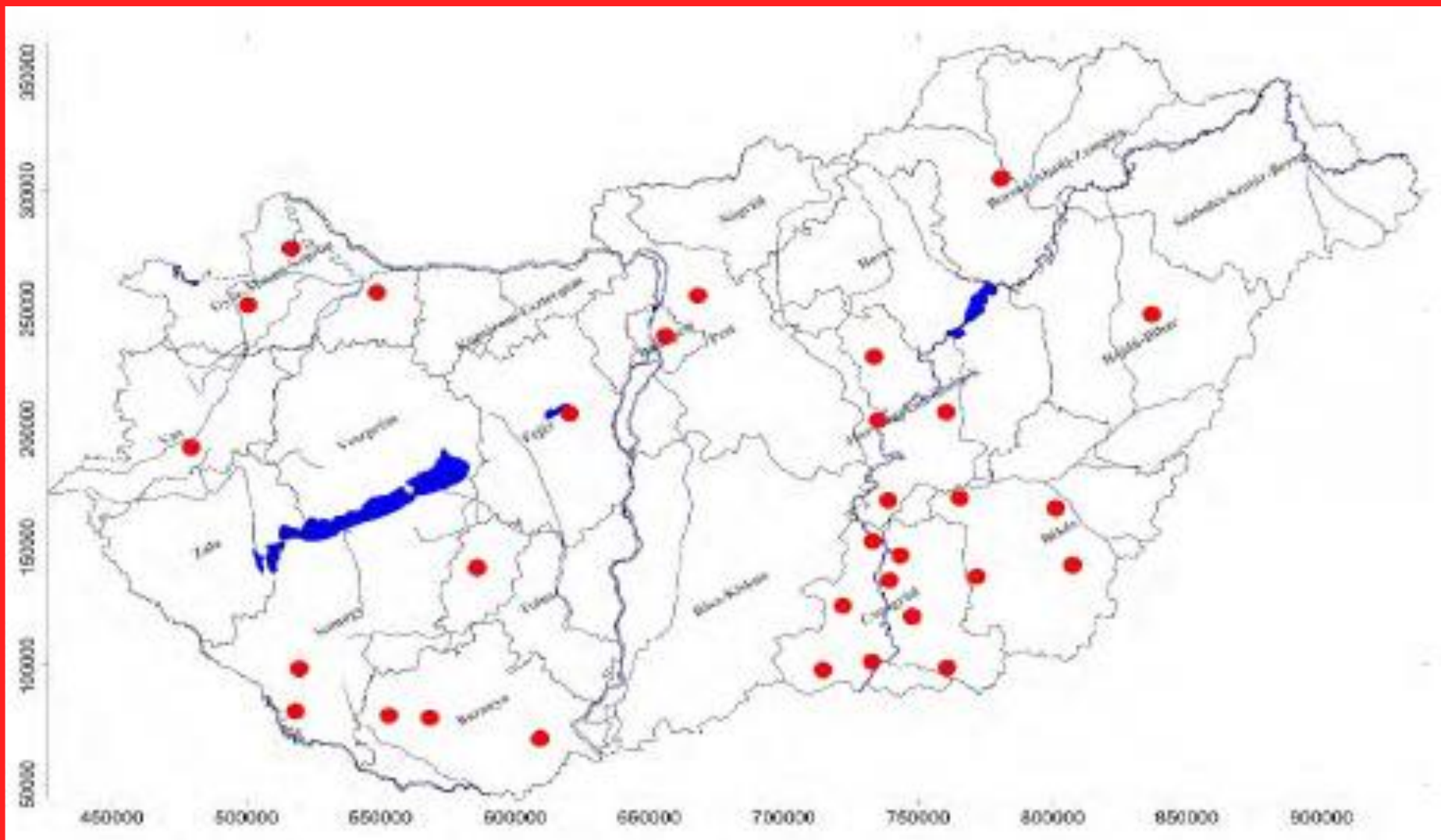
■ Villamosenergia termelés

- A Turawell erőmű Tura város mellett, Budapesttől 50 km-re keletre található; 7 MWth, illetve 3 MWe teljesítménnyel működik. Remélhetőleg hamarosan több más erőművet is létesítenek a Pannon-medencében.

Geotermikus alapú távfűtés sematikus rajza



Geotermikus és fosszilis alapú távfűtés és egyedi fűtés Magyarországon



Közvetlen hőhasznosítás alakulása Magyarországon (2015)

Épületek fűtése	33,02 MWt – 326,05 TJ/év
Távfűtés	186,56 MWt – 2.026,21 TJ/év
Üvegházak fűtése	271,0 MWt – 3.024,12 TJ/év
Halgazdálkodás	6,0 MWt – 61,51 TJ/év
Allattenyésztés	4,0 MWt – 31,34 TJ/év
Mezőgazdasági termények szárítása	25,0 MWt – 297,13 TJ/év
Ipari célok	19,0 MWt – 220,62 TJ/év
Balneológia	352 MWt – 3.912,03 TJ/év
Geotermikus hőszivattyúk	42,0 MWt – 695,0 TJ/év
OSSZESEN:	905,58 MWt – 10.268,06 TJ/év

1. táblázat. A különféle közvetlen geotermikus hőhasznosítások beépített teljesítménye (MW_{th}), mely (> 400 m) készletekből, az élenjáró tíz európai országban (ETIP, 2018).
További 16 más európai országban is van kisebb hasznosítás

Ország	Távfűtés	Mezőgazdaság, haltenyésztés	Hévízfürdés	Egyedi épületfűtés és egyéb	Összesen
Törökország	1032	794	1016	413	3255
Izland	1873	57	64	111	2105
Olaszország	127	222	428	603	1380
Magyarország	127	318	254	29	728
Franciaország	450	30	20	–	500
Németország	270	–	45	3	318
Románia	159	7	9	–	175
Szlovákia	14	28	86	20	148
Hollandia	–	118	–	–	118
Szerbia	45	15	38	12	110

10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C	160 °C	
						Távfűtés										
				Használati melegvíz												
						Légkondicionálás										
Fűtés hőszivattyúval												Hűtőházak				
						Üvegházak fűtése										
Allattartó telepek fűtése						Terményszárítás										
			Gomba farm			Cukorgyártás										
			Faszárítás, bútortipar													
		Pellet gyártás				Papírgyártás										
						Építőanyagipar										
		Dohány fermentálás						Gyógyszeripar								
		Gyógyfürdők					Textilipar									
		Haltenyésztés				Sörgyártás										
		Üdítőitalok														
				Vágóhidak, húsipar												
						Konzervgyártás										
	Jégtelenítés					Tejipar										
10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C	160 °C	

Módosított Lindal diagram

2. táblázat. Geotermikus erőművek eloszlása világszerte és az országonként beépített teljesítmények (MW_e). Az adatok a 2014. év végi helyzetet mutatják. Azóta van fejlődés, 2017 végén a globális összteljesítmény elérte a 14 GW_e értéket (ThinkGeoEnergy, 2017).

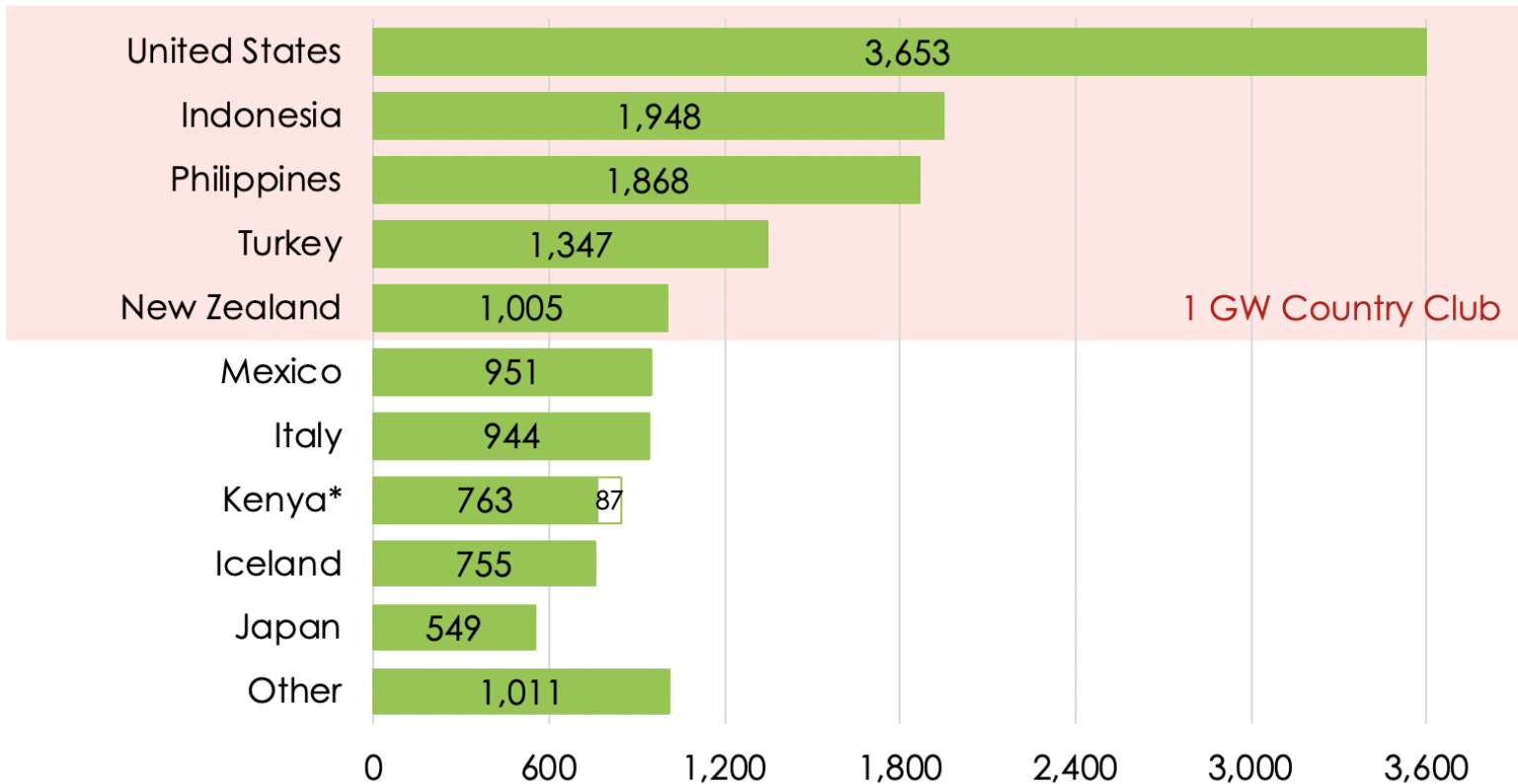
Az erőművek voltaképpen mind hidrotermális készletekből termelnek

(Bertani, 2015 alapján)

Észak-Amerika		Közép-Amerika		Afrika		Európa		Ázsia		Óceánia	
USA	3450	Mexikó	1017	Kenya	594	Olaszo.	916	Fülöp-szigetek	1870	Új-Zéland	5
		Costa Rica	207	Etiópia	7	Izland	665	Indonézia	1340	Pápua-Új-Guinea	50
		Salvador	204			Portugália	29	Japán	519	Ausztrália	1
		Nicaragua	159			Németo.	27	Töröko.	397		
		Guatemala	52			Franciao.	16	Oroszo.	82		
						Ausztria	1	Kína	27		

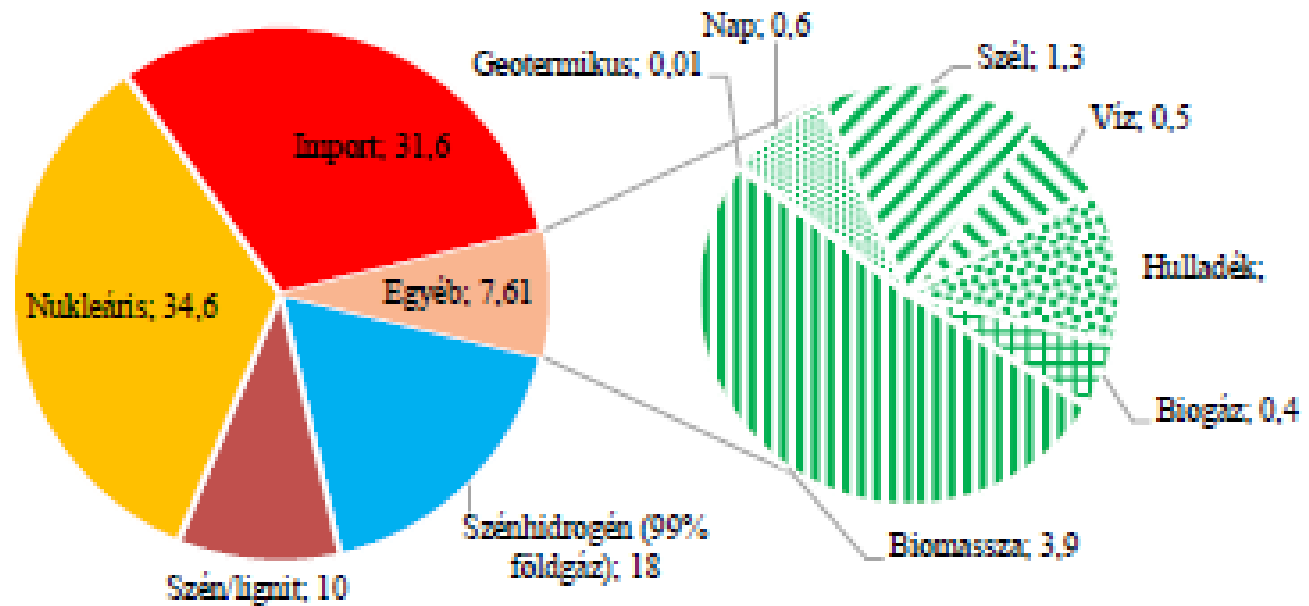
TOP 10 GEOTHERMAL COUNTRIES

INSTALLED CAPACITY - MW (JULY 2019) – 14,900 MW IN TOTAL



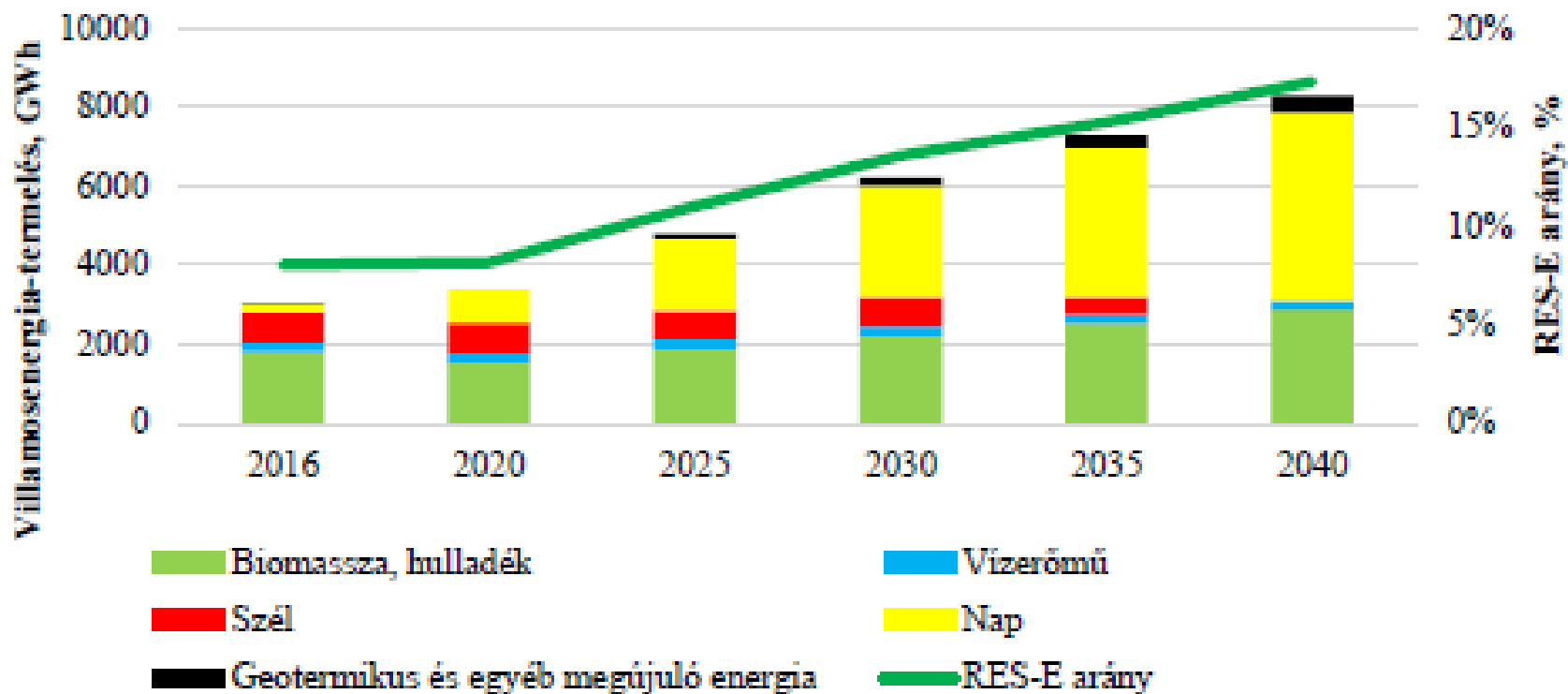
* Kenya – Olkaria V Unit 1 online, Unit 2 in commissioning - Source: TGE Research (2019), GEA (2016), IGA (2015)

Teljes bruttó villamosenergia felhasználás 2018-ban Magyarországon (%)

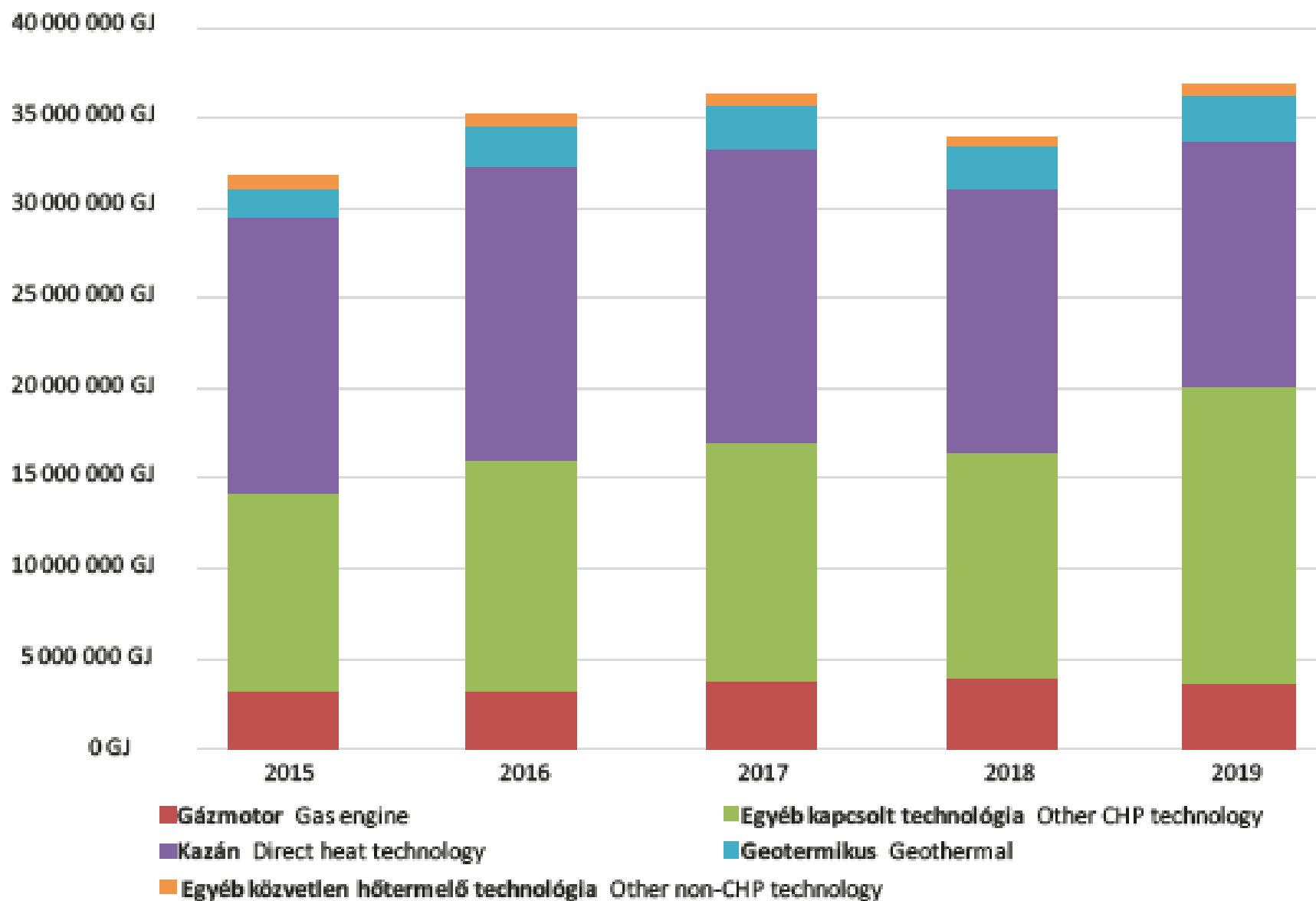


Teljes bruttó villamos energia felhasználás: 45,1 TWh

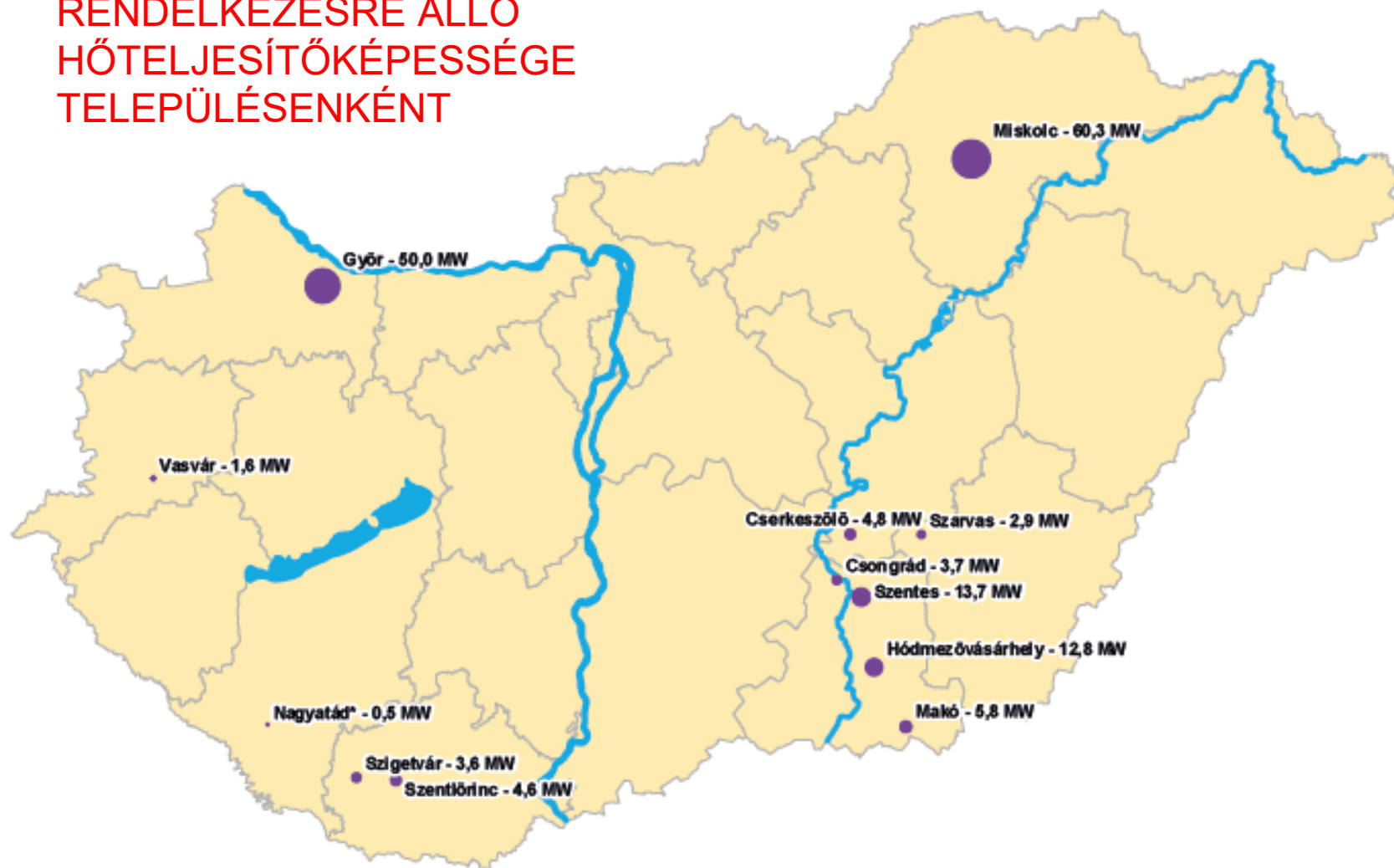
Megújuló energiafelhasználás a villamosenergia termelésben (ktoe), megújuló energia részarány (%)



HŐTERMELŐ TECHNOLÓGIÁK RÉSZESEDÉSE A TÁVHŐTERMELÉSBEN

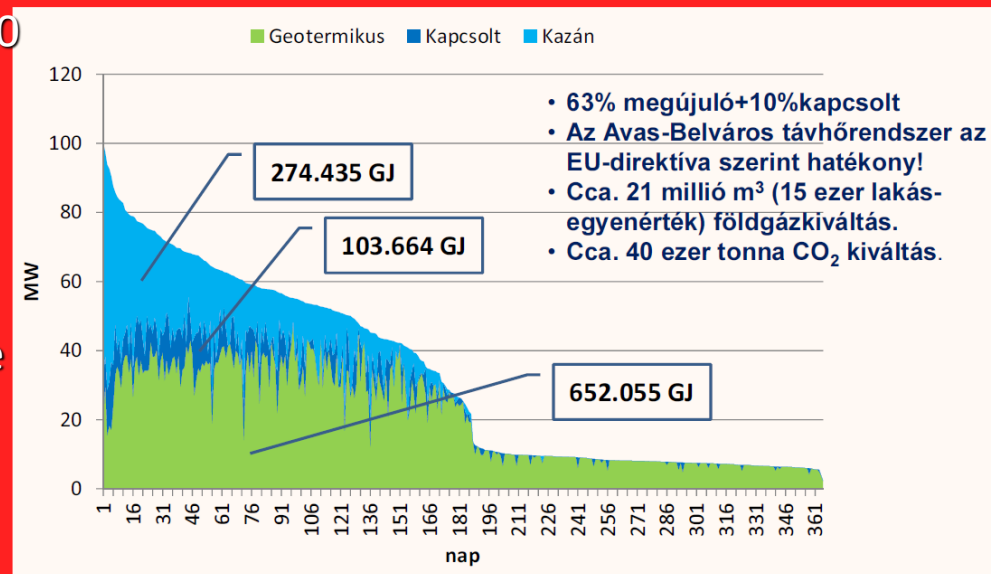
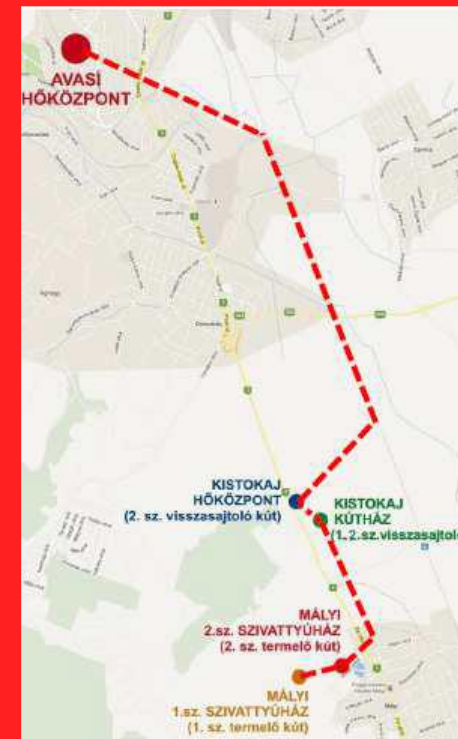


GEOTERMIKUS TÁVHŐTERMELŐK RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ HŐTELJESÍTŐKÉPESSÉGE TELEPÜLÉSENKÉNT

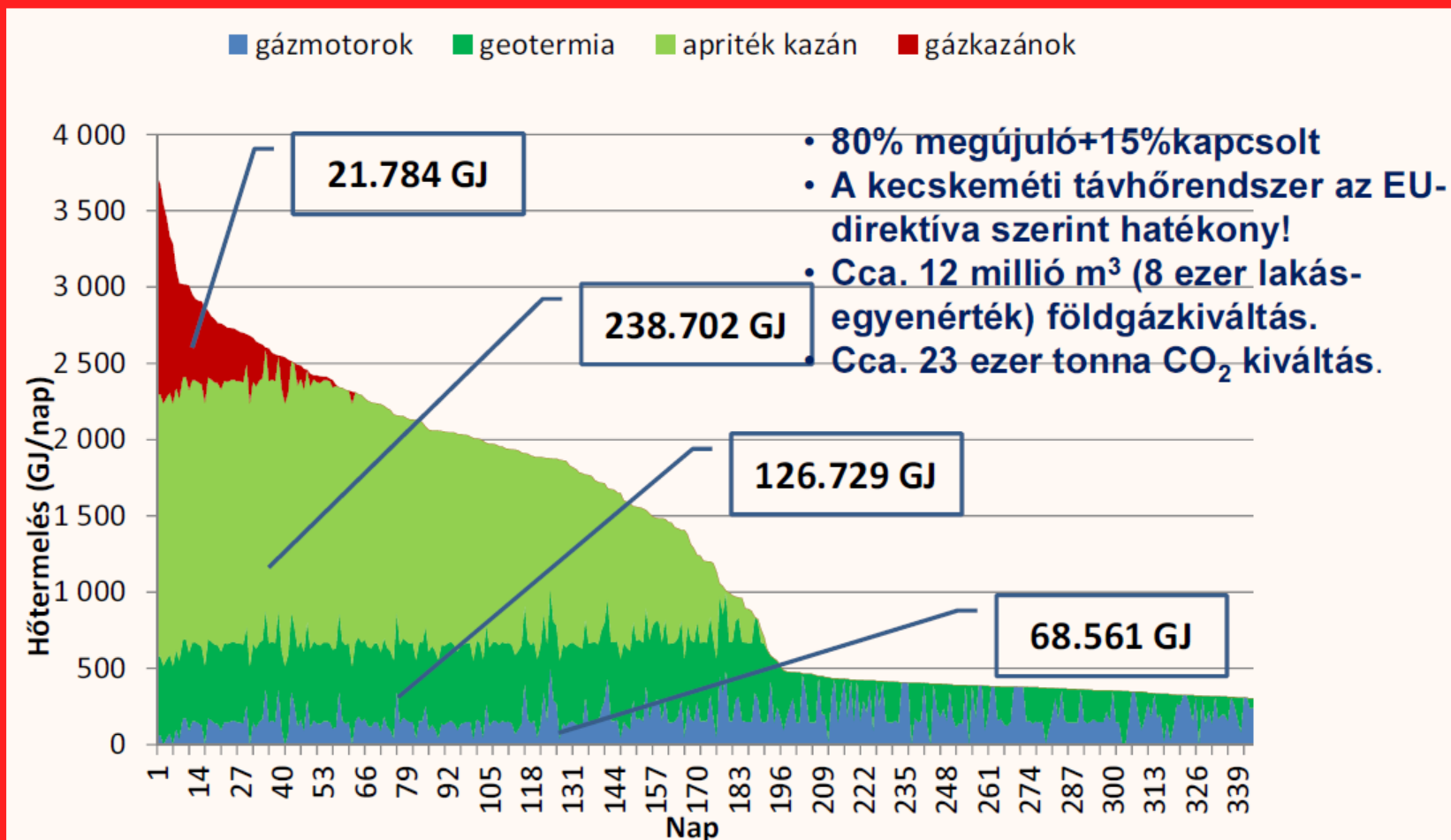


Miskolci geotermikus projekt

- 2009. augusztus – 2013. május
- Mályi-Kistokaj HKP csőhossz 6.280 m
- Kistokaj HKP-Avasi hőátadó csőhossz 17.900 m
- I. fázis beruházási költsége 28 millió €
- Beépített szivattyú teljesítmény 2.200 kW (!)
- 1.sz.termelőkút 2.305 m, >100 oC, 200-450 m³/h
- 2.sz.termelőkút 1.514 m, 90 oC, 0-600 m³/h
- Visszasajtoló kutak 1.sz. 1.737 m, 1b.sz.1.093 m, 2.sz. 1.058 m, összesen 1.200 m³/h
- II. fázis – Belvárosi rendszer bekötése (4.000 m csővezeték, hőátadó, keringtetés)



Kecskeméti biomassza + geotermikus projekt



Hazai viszonyok

Villamosenergia termelés

Előrejelzések alapján, a következő 10-15 évben építendő geotermikus erőművek beépített kapacitása az egész országra nézve sem fogja meghaladni a 20-25 MW-ot.

Hőenergia termelés

Előjelzések szerint a hazai távhőellátásban jelentősen nőni fog a geotermikus energia részaránya.

Geotermikus energia kihozatala

Geotermikus hőfokgradiens (átlag 30 °C/km; 15-200)

Felületi hőáramsűrűség (átlag 57 kW/km², 50-200)

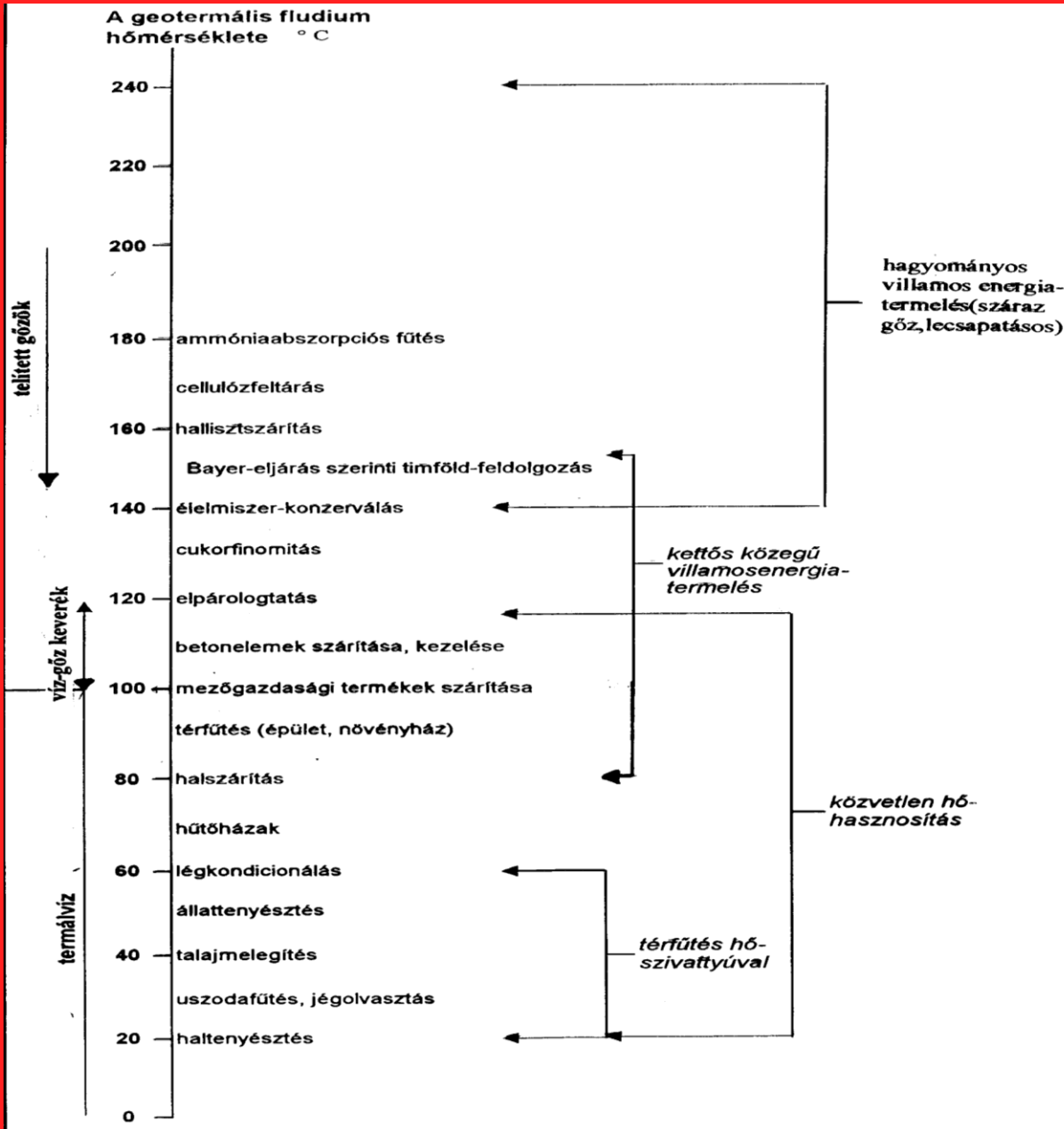
Egykutas vizes rendszer (közvetlen, közvetett)

Kétkutas vizes rendszer (közvetlen, közvetett)

Zárt rendszerek (vízszintes, függőleges
csövezéssel)

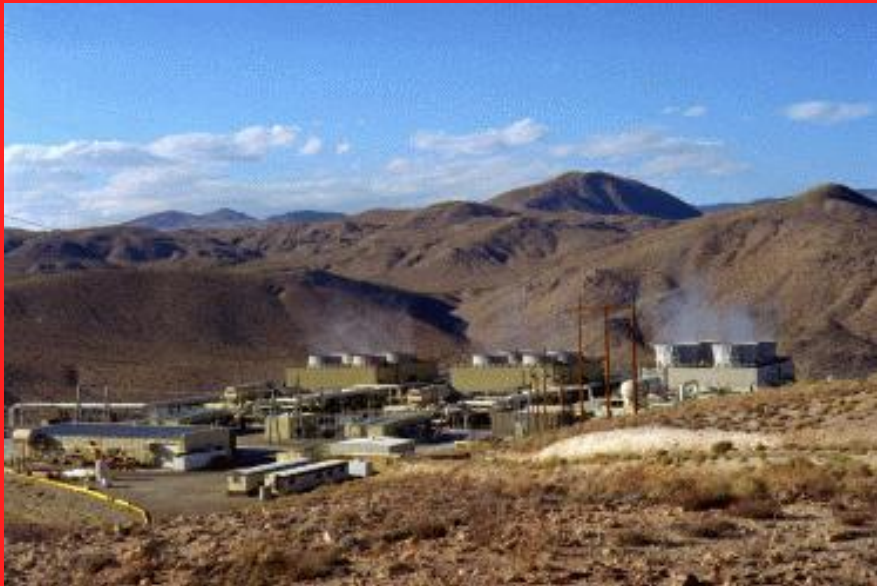
Nagyhőmérsékletű rendszerek (HDR: Hot Dry Rock,
EGS: Enhanced Geothermal System)

LINDAL- féle diagram



A Lindal diagram a műszakilag megvalósítható technológiákat tárgyalja, azoknak gazdaságosságát nem vizsgálja.

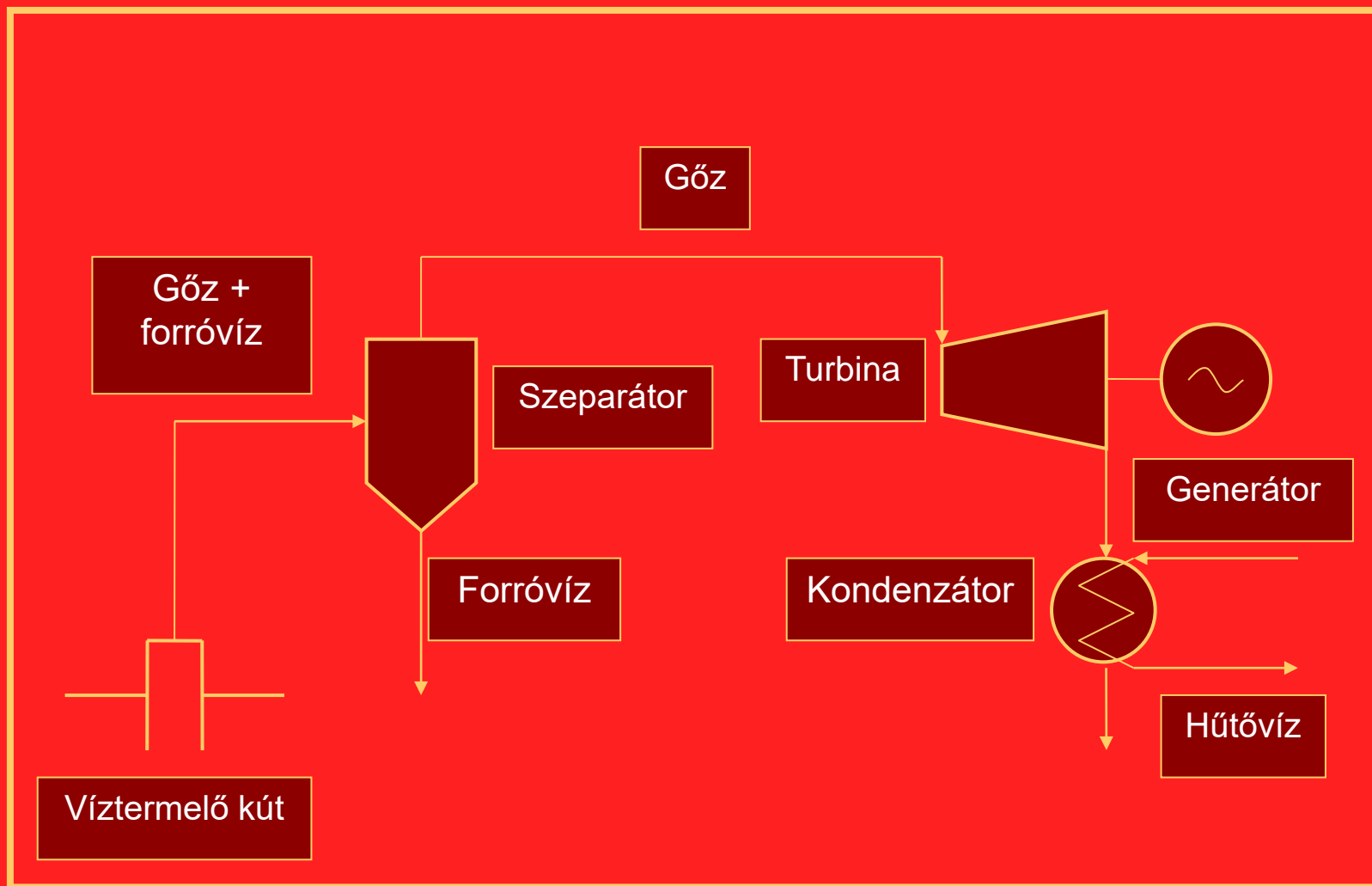
Technológiai megoldások



- Szárazgőzös eljárás
- Nedvesgőzös eljárás
- Kétközeges (bináris) rendszerek

Műszaki megoldások

Kigőzöltetési technológiájú geerőmű



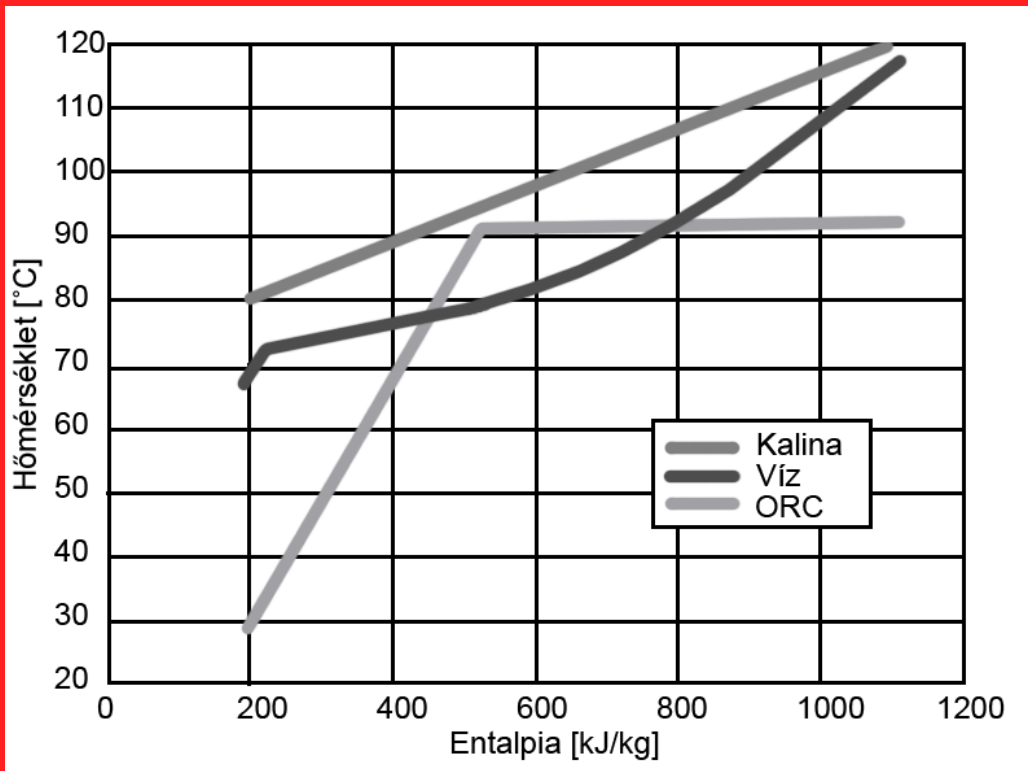
Műszaki megoldások

Nedvesgőzöket termelő kutakra telepíthető kettős közegű (bináris) áramfejlesztő az úgynevezett ORC (Organic Rankine Cycle) technológia



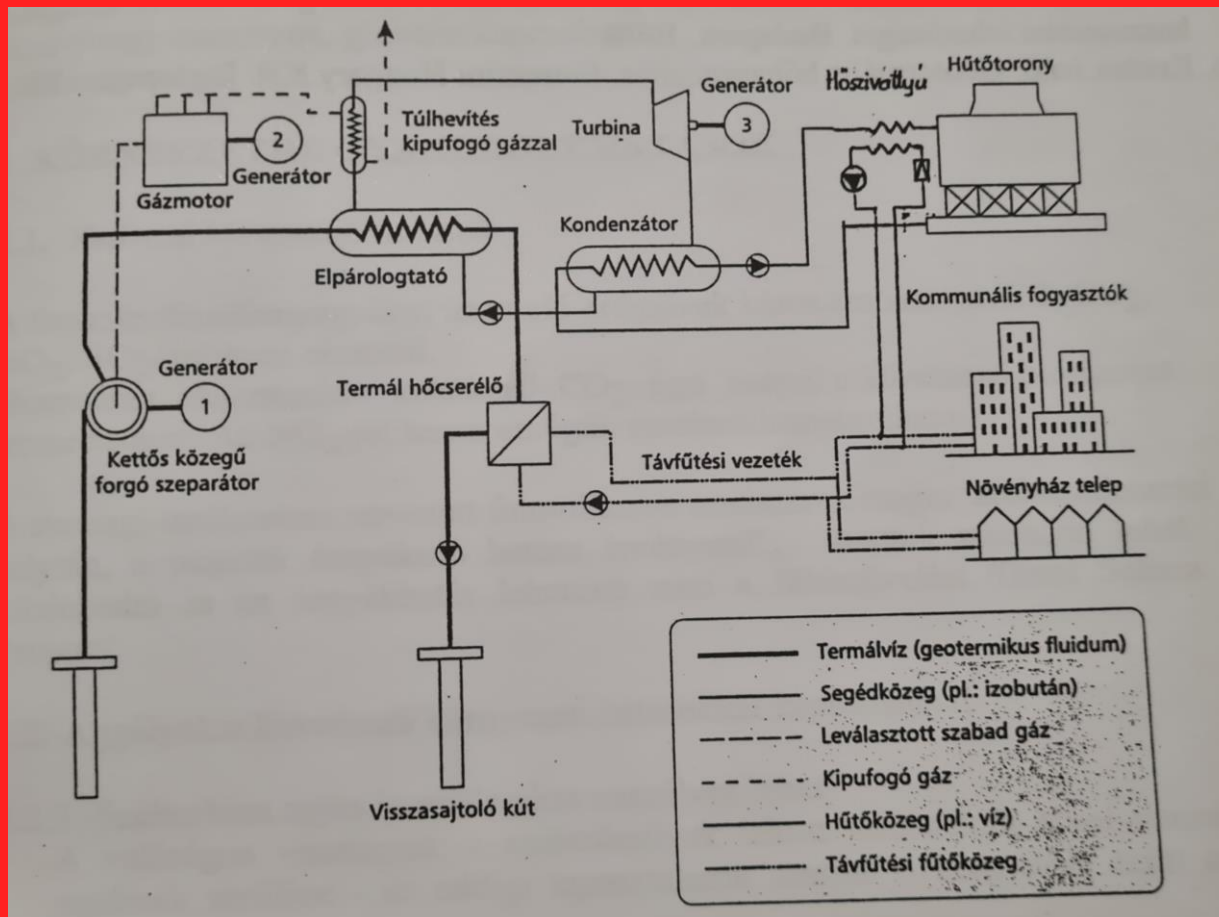
Műszaki megoldások

Kalina ciklus (NH₃-H₂O)



NH₃-H₂O forrási hőmérséklete a primer folyadék hőmérsékletének függvényében nő, így nagyobb villamos teljesítményt tud produkálni

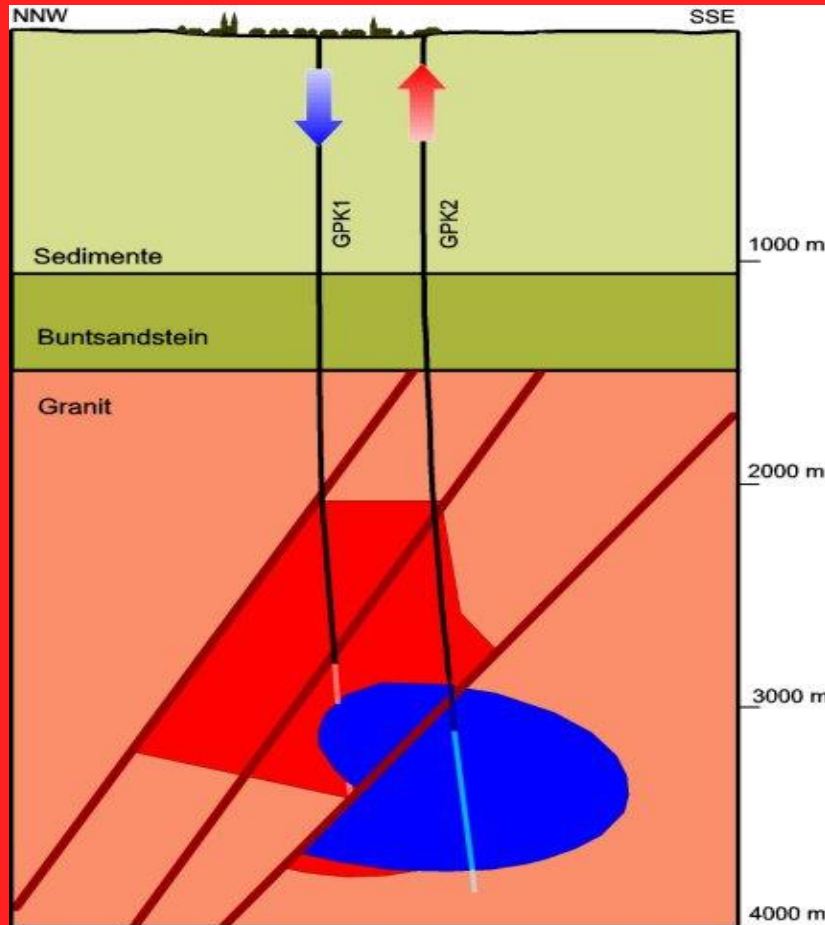
Komplex termálhőt hasznosító erőmű kapcsolási vázlatja



1. forgó szeparátor: nagynyomású, metánt tartalmazó termálgőz-generátor
2. gázmotor: metánnal – generátor
3. szekunder közeget melegíti az elpárolgatóban a termálgőz - generátor
4. hőcserélő távfűtés
5. kondenzátor – hűtőtorny – hőszivattyú – távfűtés

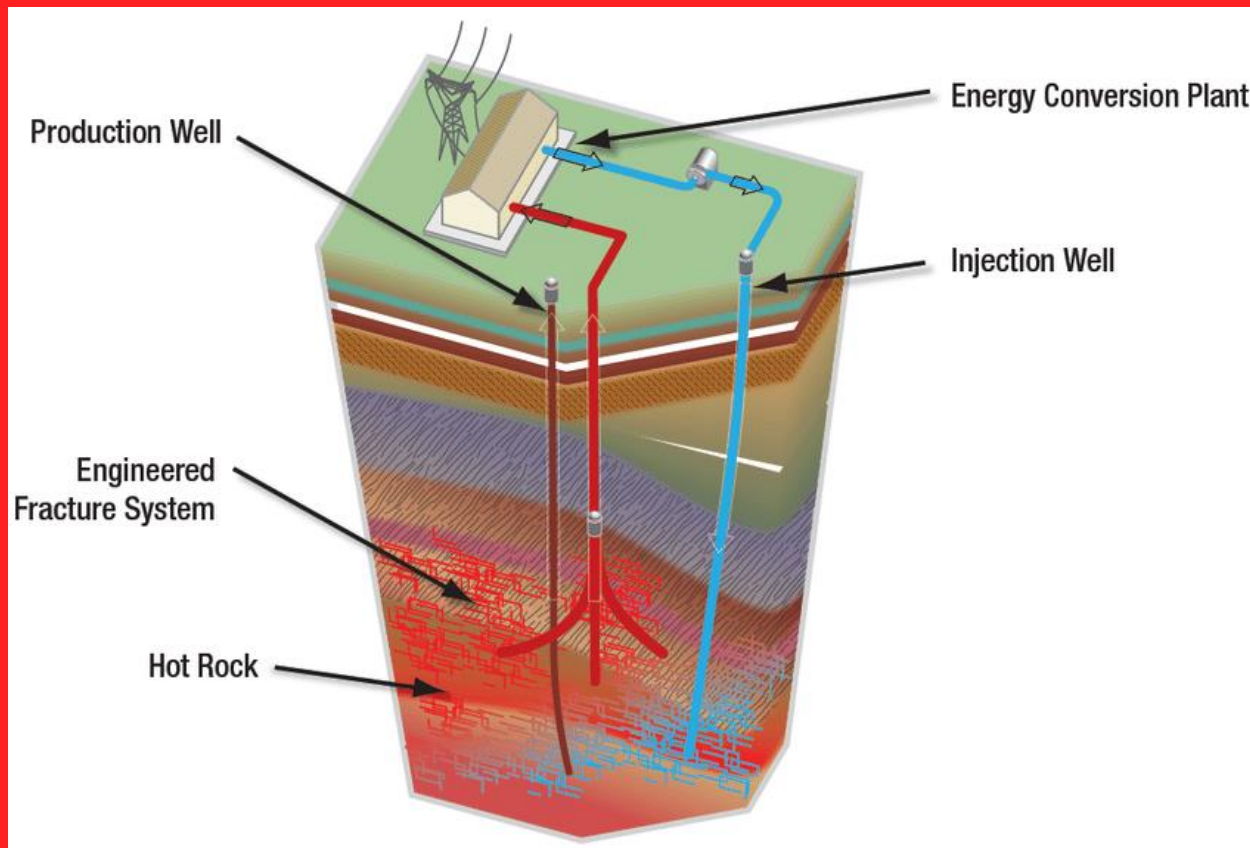
Műszaki megoldások

HDR (hot dry rock) úgynevezett forrószikla technológia



Műszaki megoldások

EGS: Enhanced Geothermal System:
repedésrendszert alakítanak ki.



Geotermikus erőmű

Termásvizes erőmű főbb rendszerei

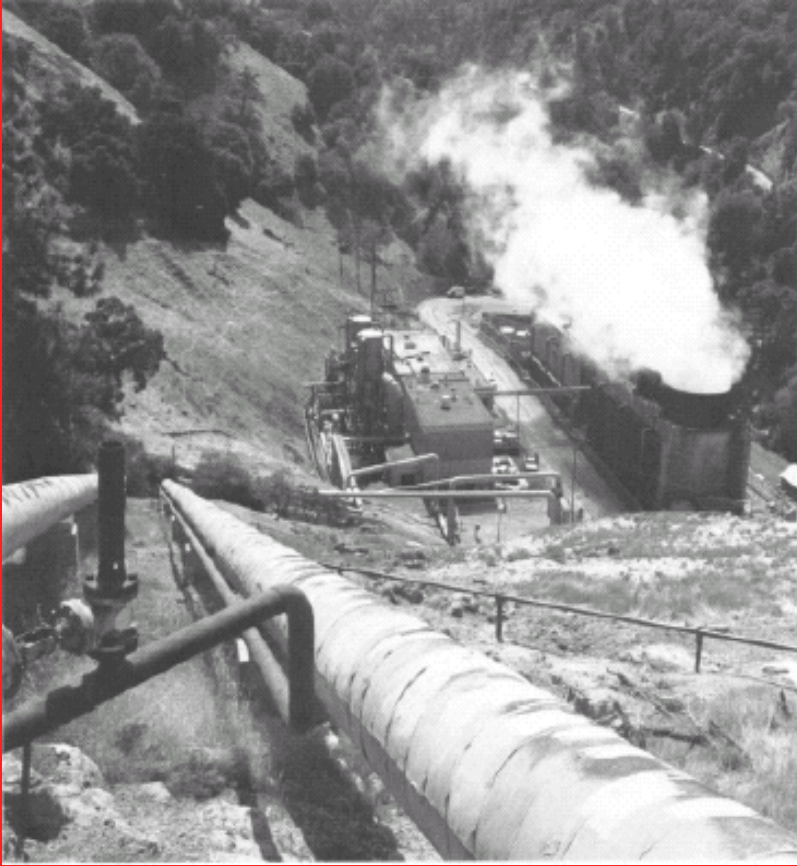
- geotermális forrás (tározó)
- kigőzölögtető és gőztisztító
- energetikai berendezések (turbina, gen. stb.)
- ásványi anyag hasznosítás

Geotermális energia előnyei



- környezetbarát technológia,
- fogyasztóközeli energiaforrás,
- lokális fejlődés elősegítése,
- időjárás független,
- egyéb

Geotermális energia hátrányai



- lokális szennyező (zaj, bűdös gáz (H_2S), stb),
- fogyasztóközeli energiaforrás,
- talajsüllyedés,
- csökkenhet a geotermális bázis,
- egyéb.

Hőszivattyús rendszerek

A technológia révén a természetes hőforrások és bármilyen rendszer hulladék hője, bizonyos energiabefektetések árán, magasabb szintre emelhető, azaz a kis hőmérsékletű hőforrások energiája is hasznosítható, primerenergia-megtakarítást lehetővé téve.

Hőszivattyús rendszerek

Természetes energiaforrások:

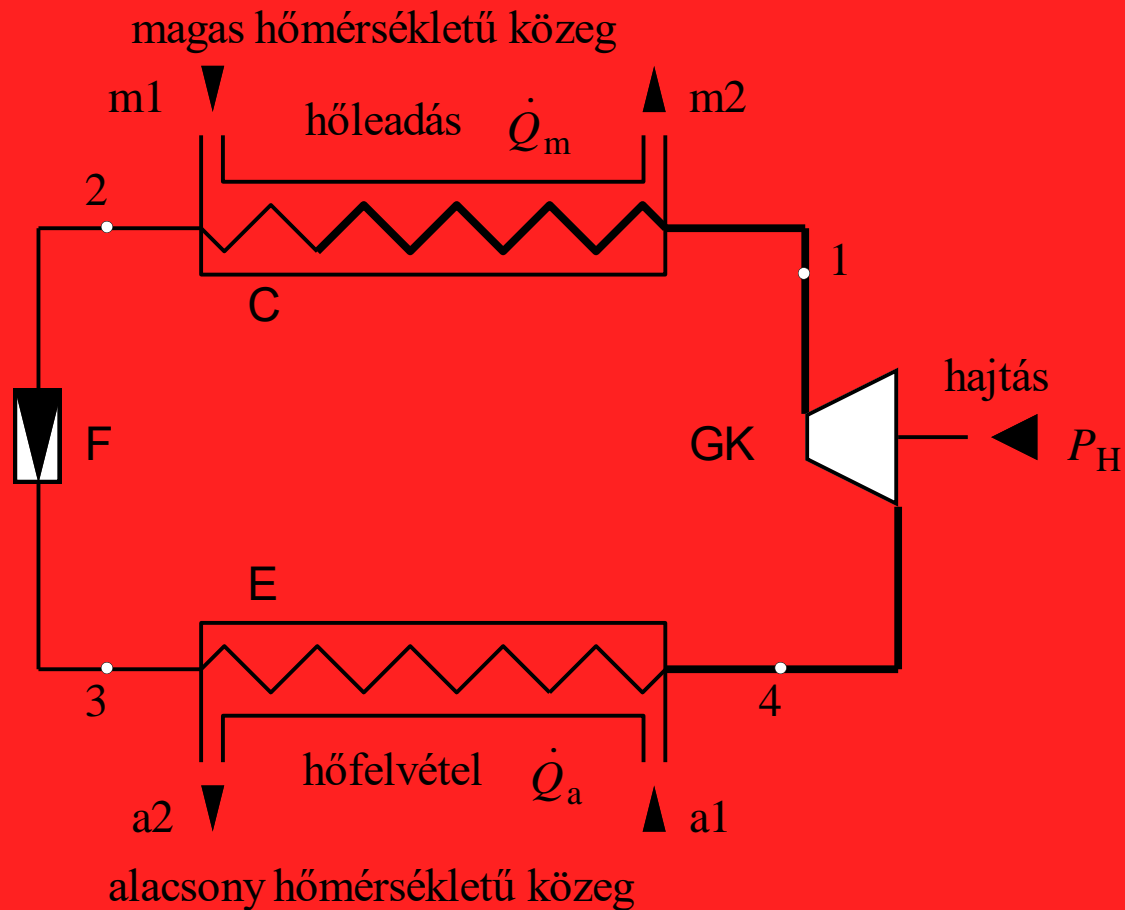
- levegő,
- talaj,
- napsugárzás,
- felszíni vizek,
- talajvíz,
- geotermikus energia,
- elfolyó termálvizek hőtartalma,
- egyéb.

Hőszivattyús rendszerek

Hulladékhő :

- elfolyó víz,
- használt levegő,
- technológiai folyamatok hulladékhője,
- csatornák szennyvize,
- villamosenergia átvitel,
- transzformátorok,
- olajrendszerek,
- egyéb.

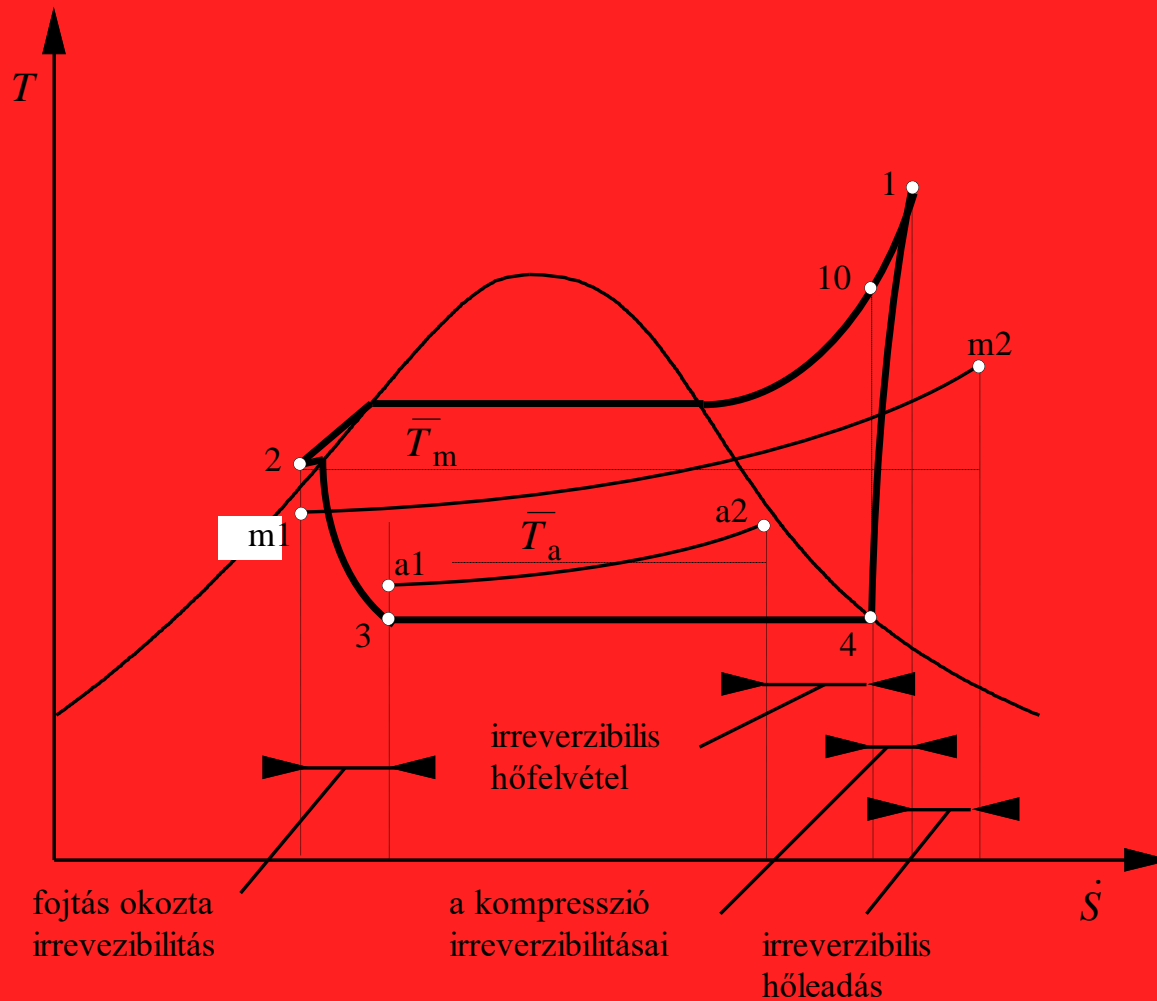
Hőszivattyús hőtermelés



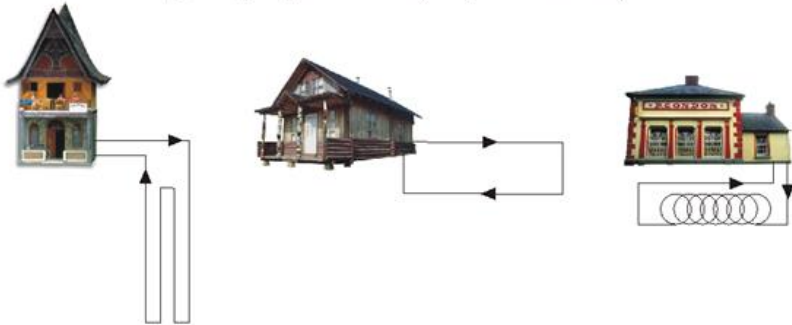
Földhő+hőszivattyús hőtermelés

- **Elpárologtató (E):** a földhő (Q_a) hasznosítása a kisnyomású (p_E) hűtőközeg elgőzölögtetésével.
- **Kompresszor (K):** a gőzfázisú hűtőközeg nyomásának növelése a kondenzátor nyomására (p_K). A kompresszor hajtása:
 - villamos,
 - gázmotoros (további hőhasznosítás).
- **Kondenzátor (K):** a gőzfázisú p_K -nyomású hűtőközeg kondenzációja, a kondenzációs hő elvonása fűtési vízzel.
- **Fojtószelep (FSZ):** a p_K -nyomású, folyadékfázisú hűtőközeg nyomásának csökkentése p_E -nyomásra, s eközben a hűtőközeg nagy része gőzfázisba kerül.

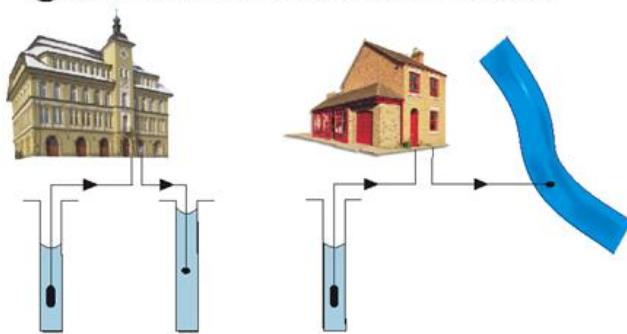
Hőszivattyús (hűtő) hőkörfolyamat



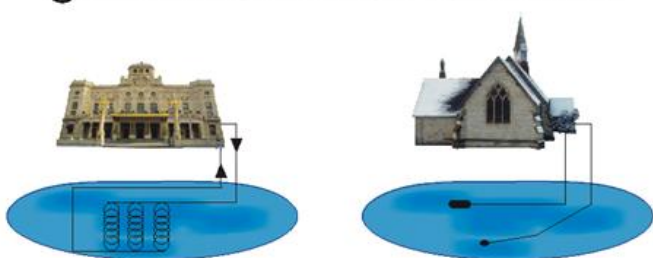
① talajalapú hőszivattyúk (zárt rendszer)



② talajvízalapú hőszivattyúk (nyitott rendszer)

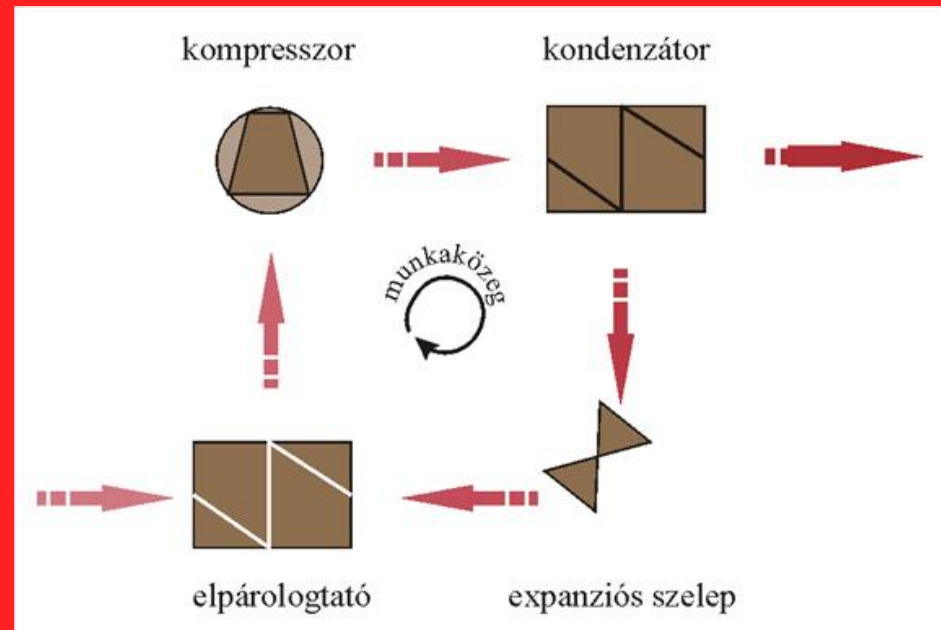


③ felszíni vízalapú hőszivattyúk (nyitott rendszer)

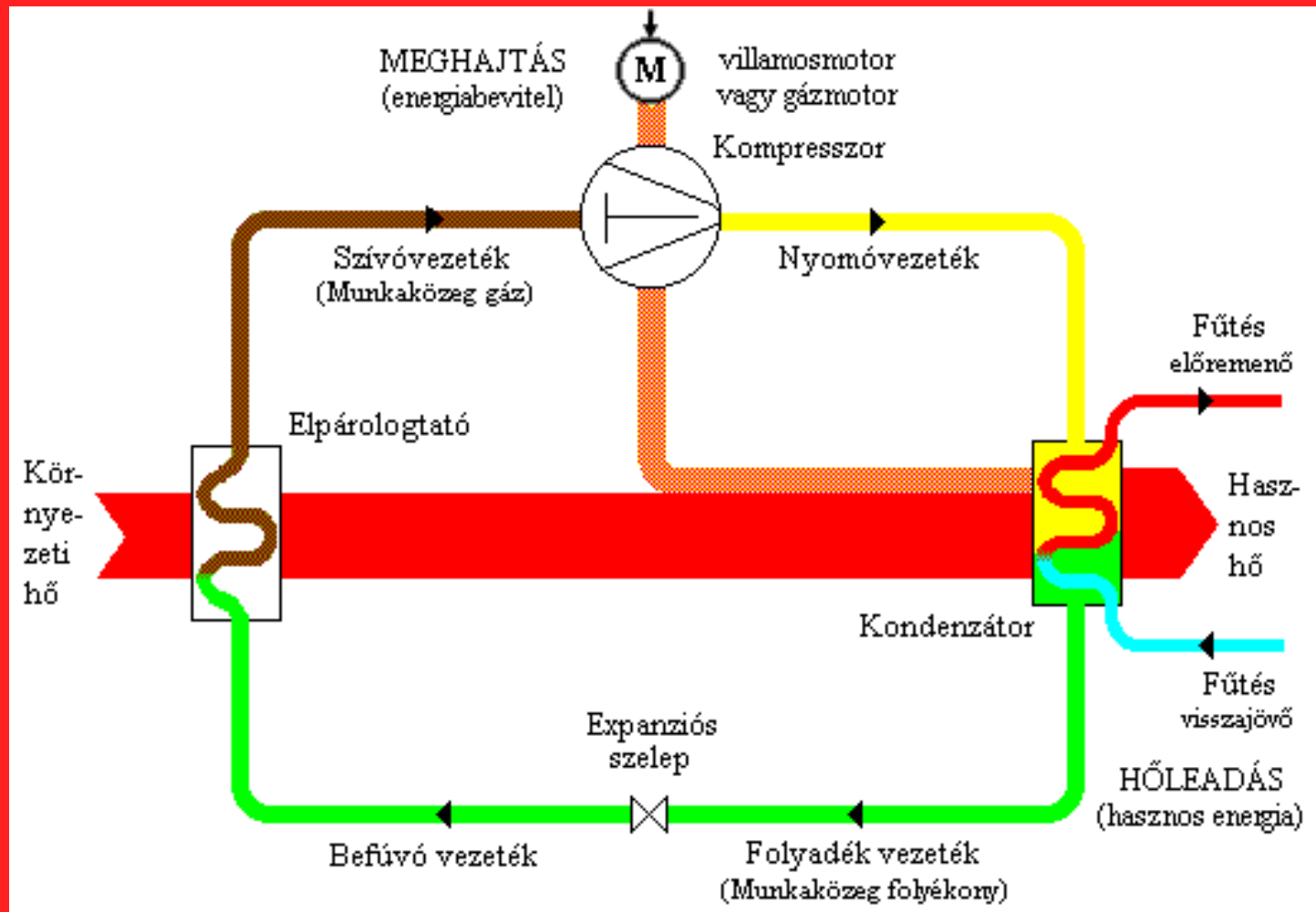


A hőszivattyúk lényegében nem mások, mint fordított céllal működő hűtőegységek, melyekkel nem a párologtatóval elvont, hanem a kondenzátorban leadott hőmennyiséget hasznosítjuk. A berendezések működését villamos energia felhasználásával biztosítjuk.

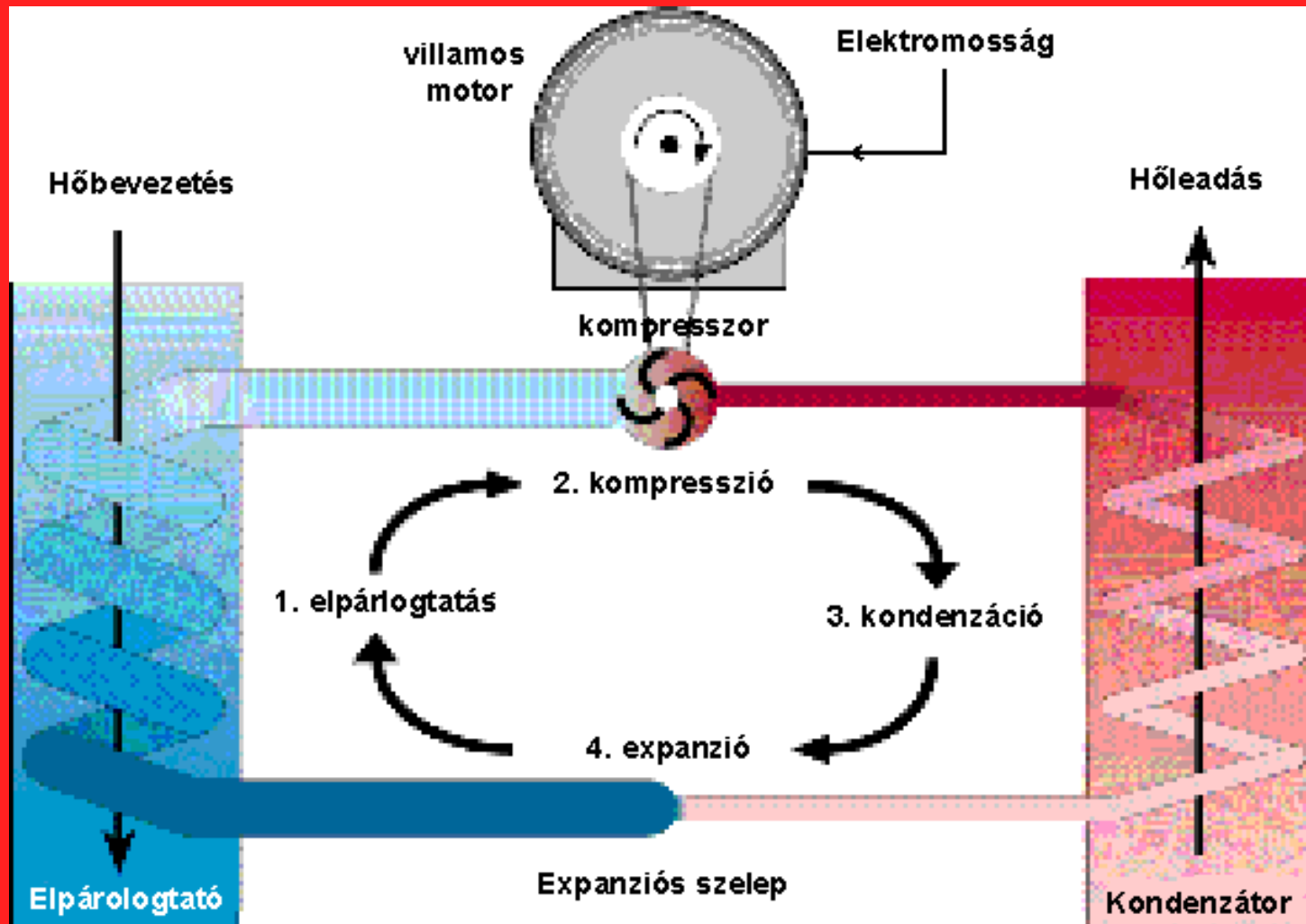
A hőszivattyúk működését az ábra összegzi: (1) Az eredetileg folyékony munkaközeg a környezet hőjének hatására az elpárologtatóban gáz halmazállapotúvá válik. Ehhez szükséges, hogy a hőforrás hőmérséklete a munkaközeg adott nyomásra vonatkozó forráspontjánál nagyobb legyen. (2) A kompresszor – melyet villamos energia működtet – összenyomja a munkaközveget. A kompresszor működtetéséhez szükséges energia származhat fosszilis energiahordozók felhasználásából, de megújuló energiaforrásból vagy hulladékéből is. (3) A kondenzátorban a munkaközeg nagy nyomású gőze átadja hőjét a hőfelvevő közegnek, eközben lecsapódik. (4) Végezetül a munkaközeg az expanziós szelepen keresztül visszakerül az elpárologtatóba, ahol a folyamat újra elkezdődhet



Hőszivattyúk működési elve



Hőszivattyú



Hőszivattyúk jellemzője

Hatásosság:

A hőszivattyú hasznosságát az jelzi, hogy egységnyi meghajtó energiával hány egység hőt tud a környezetből elvonni. Ezt az arányt a hatékonysági mutatóval (COP, ϵ) jelzik, amely mindig nagyobb 1-nél.

Hőszivattyúk típusai

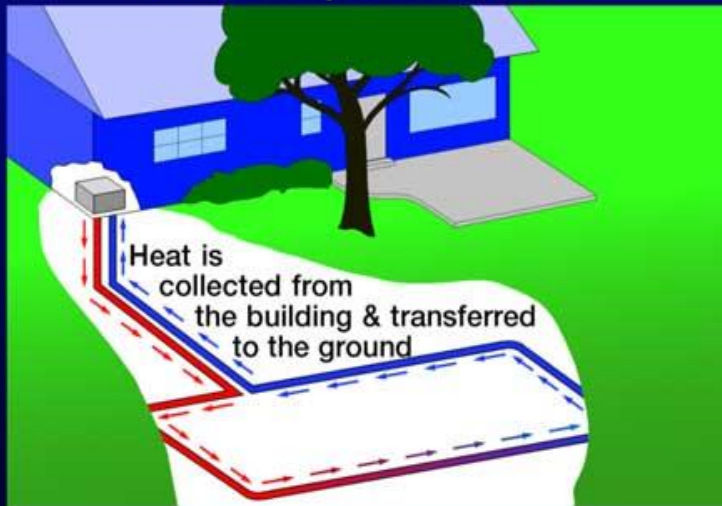
A hőszivattyúk leggyakrabban a felhasznált közegek alapján kerülnek csoportosításra.

- gáz-gáz típusú hőszivattyú
- gáz-folyadék típusú szivattyú
- folyadék-folyadék típusú hőszivattyú
- folyadék-gáz típusú hőszivattyú

A folyadék általában víz, a gázhalmazállapotú közeg pedig szinte minden esetben levegő.

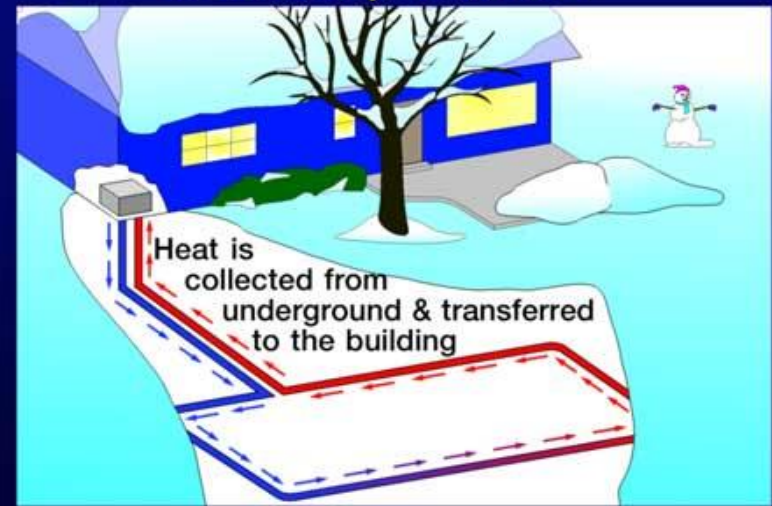
Hőszivattyúk szezonális használata

Heat Pump in Summer



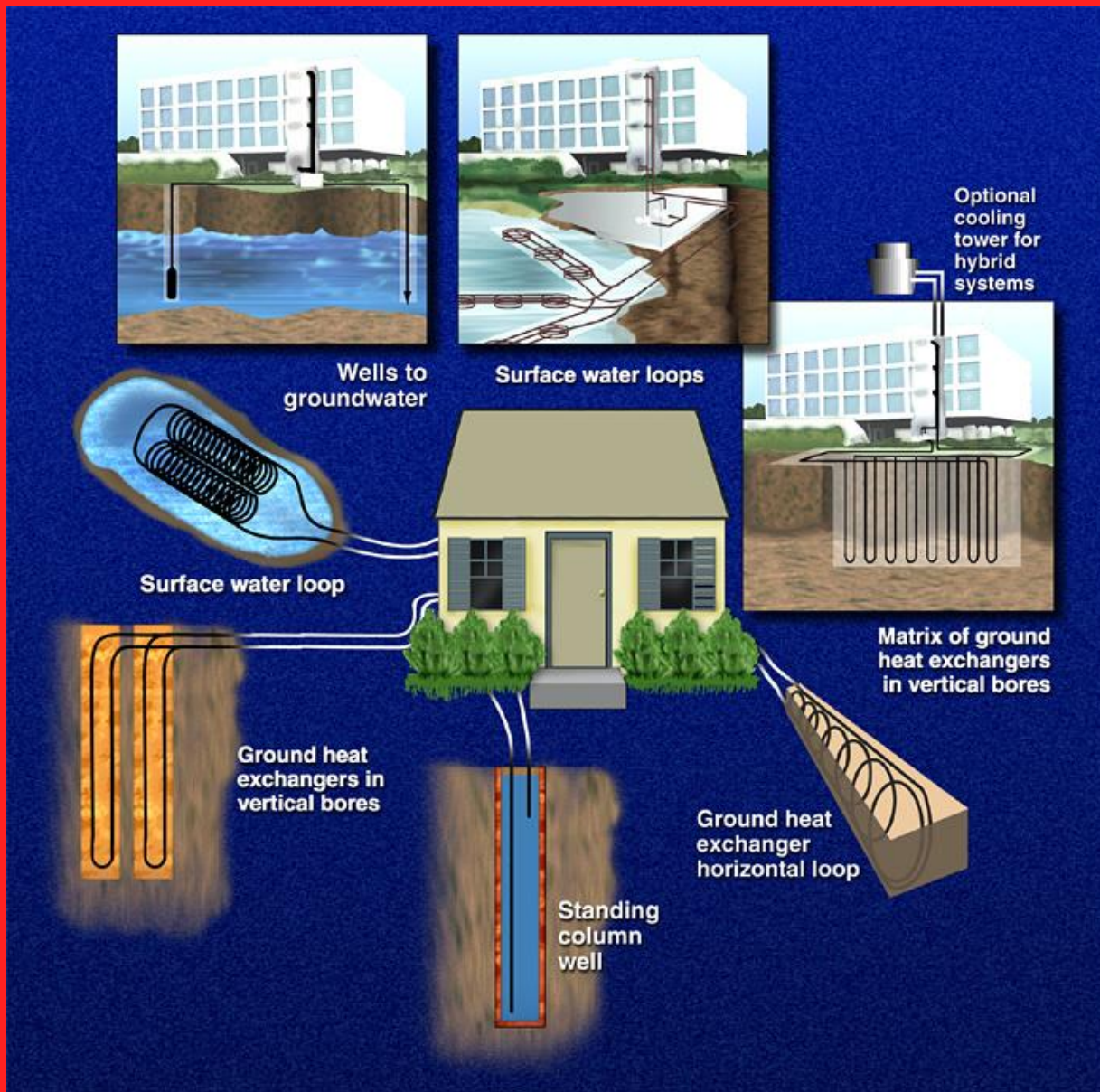
Klimatizálás

Heat Pump in Winter

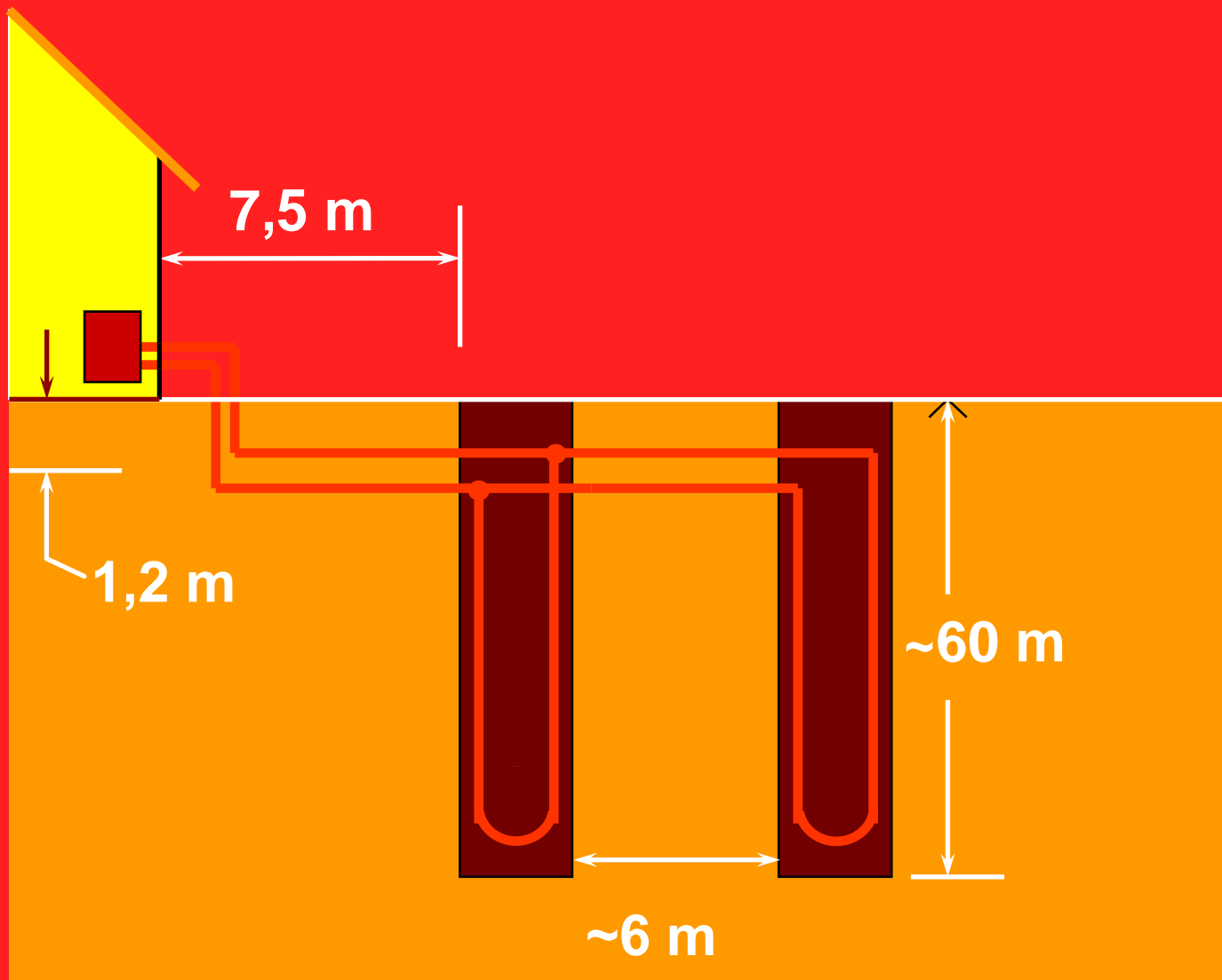


Fűtés

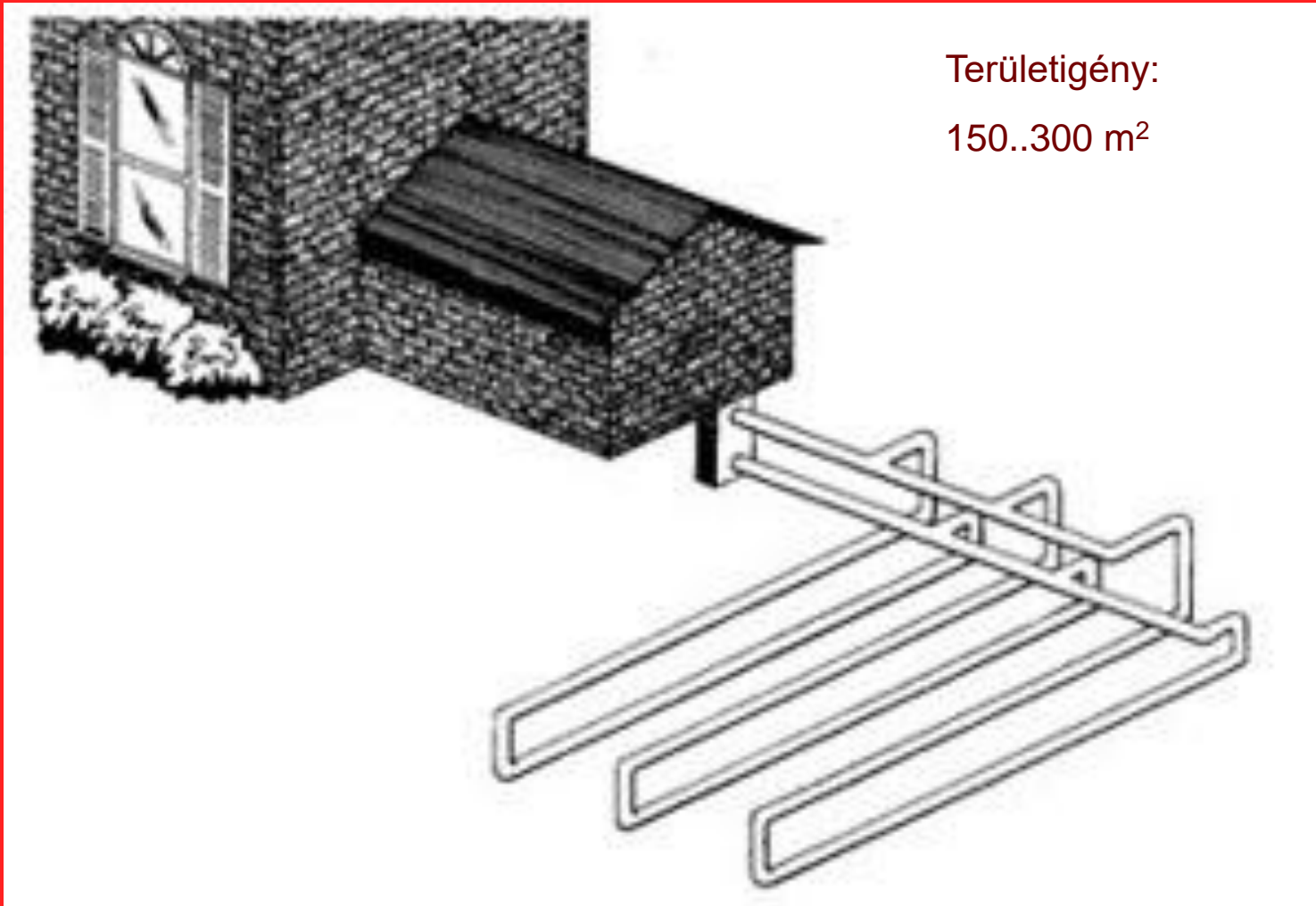
Hőszivattyú kollektor opciók



Hőszivattyú kollektor-kör

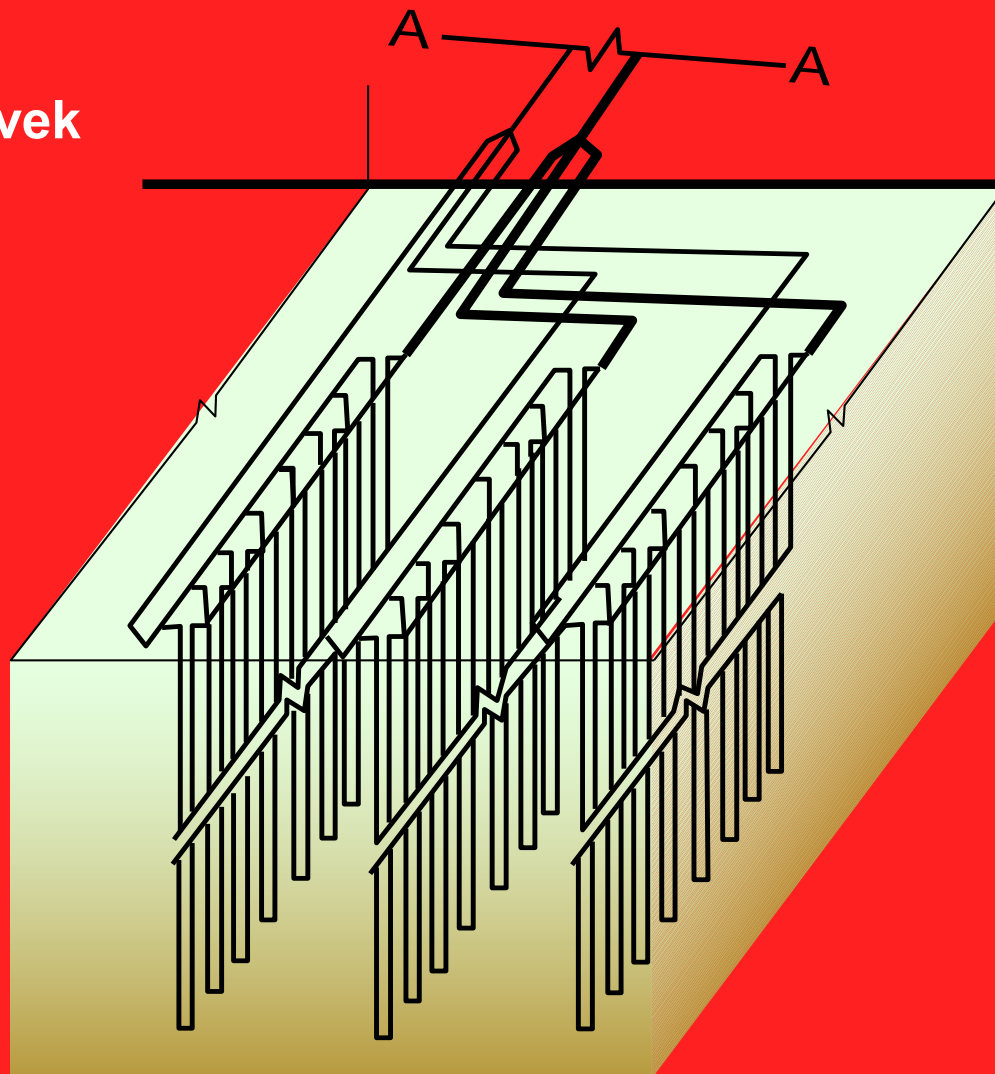


Vízszintes kollektor-kör



Függőleges kollektor-kör

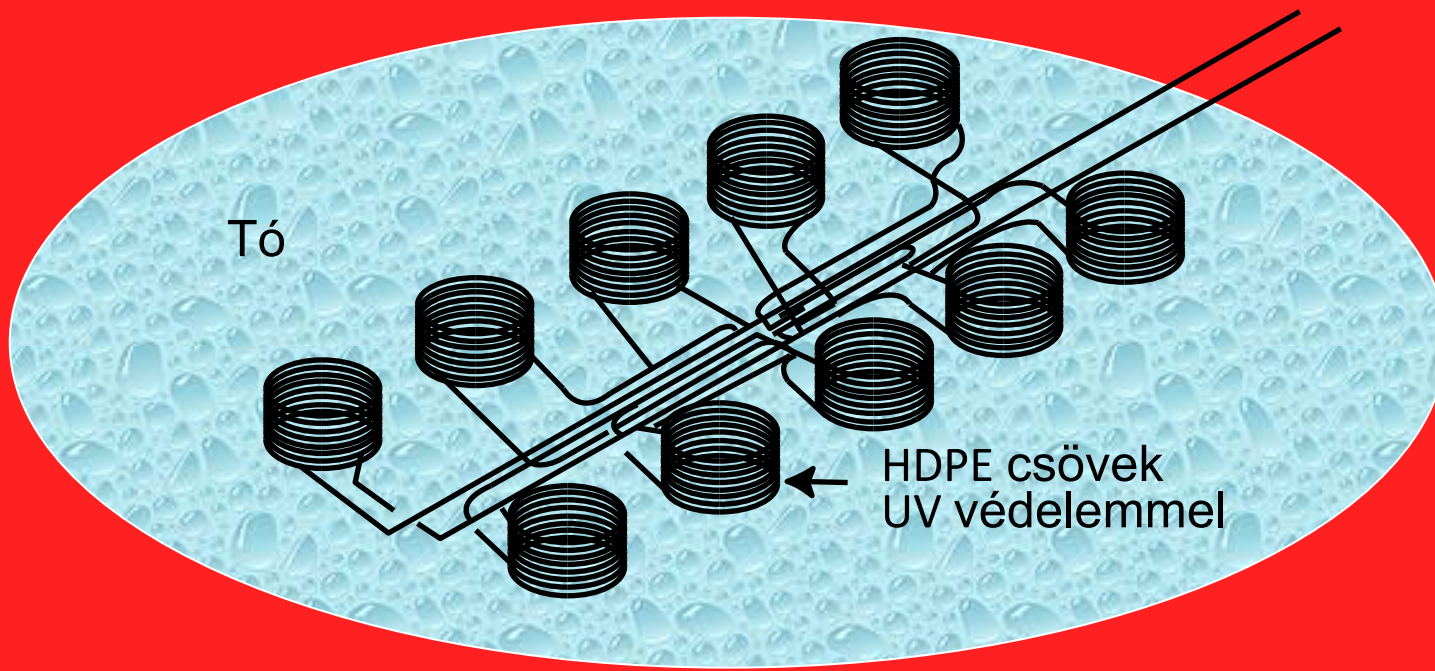
HDPE u-csövek



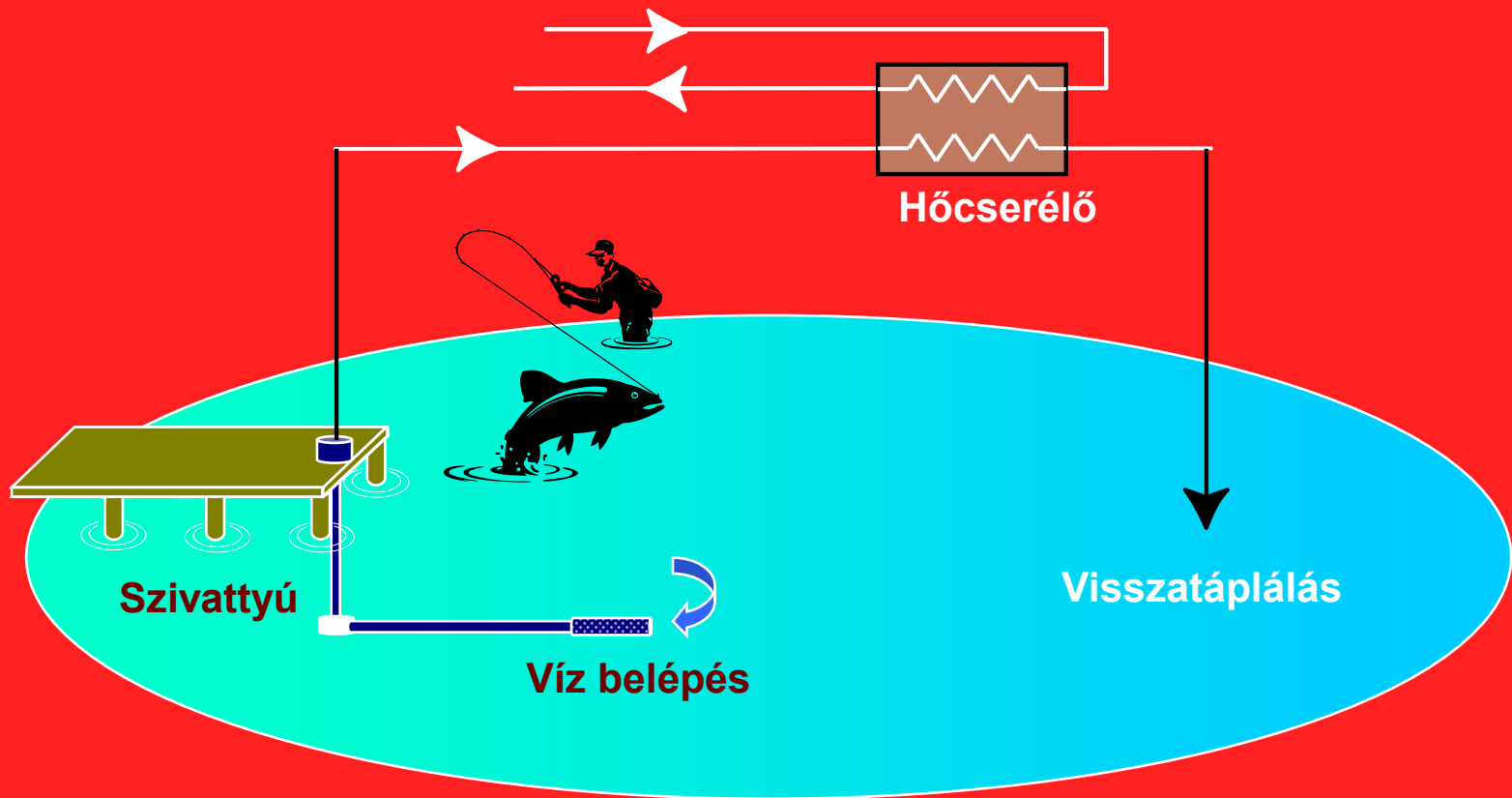
Területigény:

22..27 m²

Tó mint hőforrás



Tó mint hőforrás

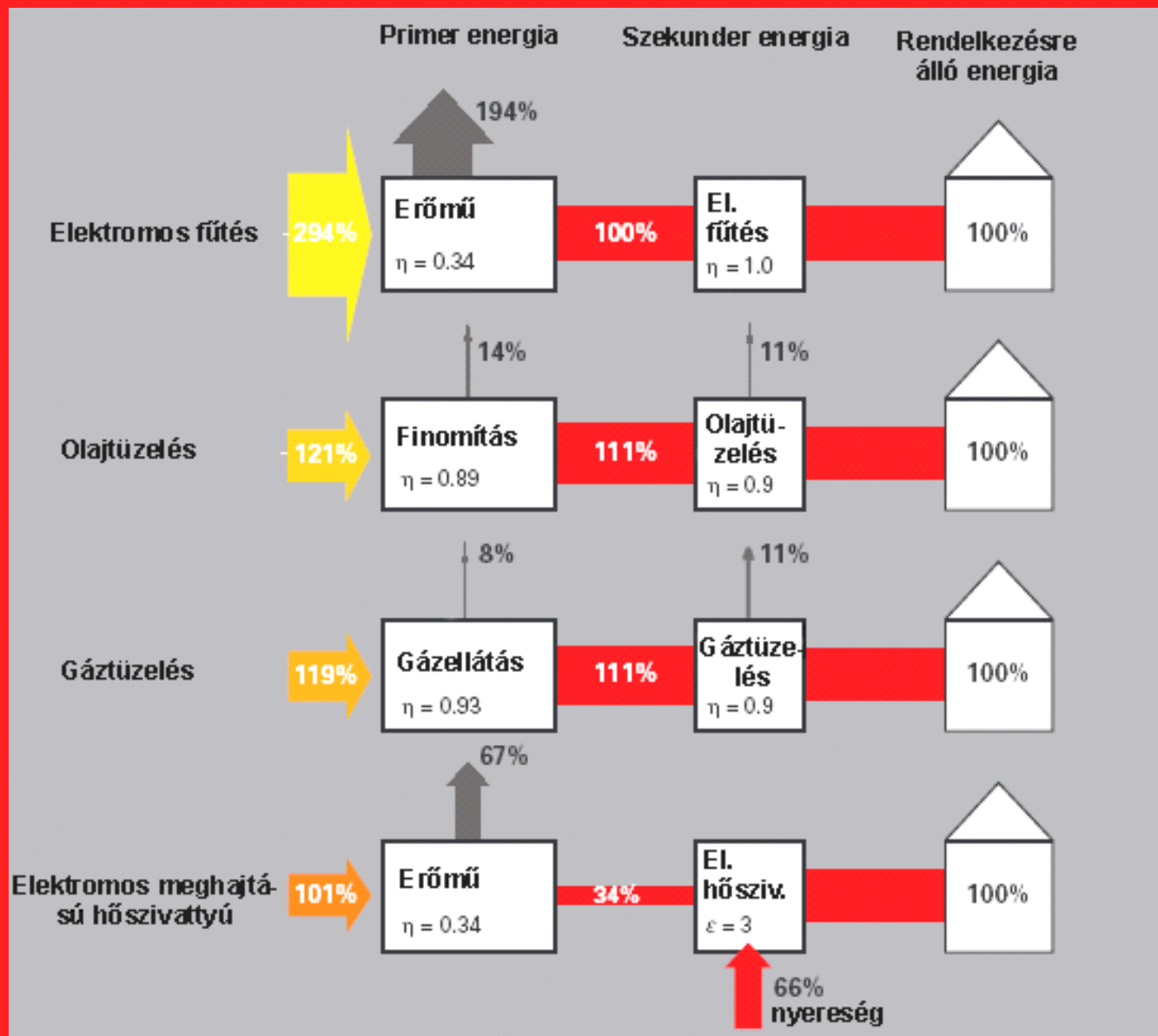


Hidegebb klímán vagy csak hűtésre

Hőszivattyúk alkalmazásának előnyei

- környezetbarát technológia,
- alkalmazásukkal részben kiválthatók a fűtéshez és vízmelegítéshez használt fosszilis energiahordozók,
- nincs tűz, robbanás, gázmérgezés
- hosszú élettartam, kis karbantartási igény

Energiamegtakarítás



Hőszivattyúk alkalmazásának hátrányai

- hőszivattyúk alkalmazási területe korlátozott, azok alacsony hőmérsékleten való működésük miatt.
- villamos energiát nem lehet velük termelni.

VÁRHATÓ GLOBÁLIS FEJLŐDÉSI TENDENCIÁK A GEOTERMIÁBAN

- Rövid és középtávon a tradicionális geotermikus technológiák (földhőszivattyúzás, távfűtés, áramfejlesztés) további fejlődése várható. Mivel mindezek majdnem kizárólag hidrotermális készletekből termelnek, viszont ilyen készletek világszerte csak aránylag ritkán fordulnak elő, az eddigi növekedési tempó aligha lesz gyorsítható. Jelenleg kezd elterjedni a kaszkádos fluidhőhasználat, lépcsőzetesen csökkenő hőmérsékletekkel: geotermikus erőmű → épületfűtés → üvegházak → haltenyésztés.
- Közép- és hosszú távon kívánatos, hogy végre sikerüljön az igazi geotermikus potenciál feltárása: a több kilométer mélységű, 100 °C-nál melegebb kőzetek elvileg mindenütt jelen lévő magas hőtartalmának (petrotermális készlet) felszínre hozatala, ún. EGS-rendszerekkel (Enhanced/Engineered Geothermal System).
- Az EGS-nél először a kőzetek átteresztőképességét kell megnövelni hidraulikus repesztéssel mélyfúrások által, így hőcserélővé tenni a repesztett kőzetfelületeket, s végül besajtoló- és termelőfúrásokkal mesterséges cirkulációt létrehozni. Ez irányú kutatás és fejlesztés már több országban folyik. Különös figyelmet kíván a szeizmikus kockázat meghatározása és csökkentése, ugyanis a hidraulikus repesztés földrengéseket okozhat. A sikeres EGS-technológia egyszer még igazi fordulópontra jelenthet!

VÁRHATÓ HAZAI FEJLŐDÉSI TENDENCIÁK A GEOTERMIÁBAN

Magyarország a Pannon-medencében fekszik; ennek megfelelően különösen nagy a geotermikus potenciálja. Ez az itt vékony litoszférának és az ennek megfelelően magas földi hőáramnak, valamint a medence üledékeiben elhelyezkedő gazdag hidrotermális készleteknek köszönhető.

Ennek a potenciálnak hasznosítására már temérdek termálkutat fúrtak. Magyarországon átlagosan 10 kilométerenként található egy termálkút. Geotermikus kutak ilyen nagy sűrűsége más országban nincs!