



SZENT ISTVÁN EGYETEM

A konvekciós geotermikus energiatermelés fenntarthatósága
és a felhasználás hatékonysága

Doktori (Ph.D) értekezés

Nagygál János

Gödöllő
2017

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki Tudományok

vezetője: Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető: Dr. Tóth László
egyetemi tanár DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	9
1.1. A téma indoklása	9
1.2. Célkítűzés	10
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. A geotermikus energia meghatározása.....	11
2.2. Termokonvekcióval fűtött tárolók	14
2.3. A termálenergia hasznosítás helyzete Magyarországon	16
2.4. A geotermikus energia-kitermelő rendszer jellemzői.....	19
2.5. A hévízrendszerek felépítési jellemzői	22
2.6. A geotermikus hőenergia hasznosítása	27
2.7. Az árapály jelenség.....	35
2.8. Az exergia-szemlélet alkalmazása termálvizes fűtési rendszereknél	37
2.9. Különbféle hőfokú termálvizek hasznosíthatósága	39
2.10. Szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése.....	45
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	47
3.1. Egyedi kútvizsgálatok.....	47
3.2. Felszíni mérések.....	49
3.3. Mélységi mérés	52
3.3.1. Kútszerkezet ellenőrzés	52
3.3.2. Áramlási profil.....	53
3.3.3. Nyomásgradiens.....	53
3.3.4. Mélységi időalapú nyomás- és hőmérsékletmérések.....	53
3.4. A mérések szervezése.....	54
3.5. A vizsgált terület földtani, vízföldtani viszonyai, adottságok, rétegek jellemzői	55
3.5.1. Földtani jellemzők.....	55
3.5.2. Szerkezetföldtani elhelyezkedés	55
3.5.3. Üledékképződés.....	56
3.5.4. A megnyitott rétegek	57
3.5.5. Vízszintadatok	57
4. EREDMÉNYEK	65
4.1. A rétegek közötti vízcsera összefüggéseinek meghatározása	65
4.2. Szűrőzések közötti jellemzők	71
4.2.1. A rétegek egymásra hatásának vizsgálata	74
4.2.2. Hőmérséklet, hozam és az áramlás irányainak értékei, a jellemzőbb eredmények	75

4.2.3. Következtetések a kutak tulajdonságaira.....	81
4.2.4. Az árapály hatása a termálkutak mérésére	82
4.3. A kertészeti lehetséges fűtési rendszerek és a geotermikus fűtés összehasonlítása	85
4.3.1. Növényházak energia ellátása, a használható energiahordozók.....	85
4.3.2. Az energiahordozók összehasonlításának eredményei	90
4.4. Növényházi fejlesztés a fenntarthatóság érdekében.....	93
4.4.1. Hőszivattyú használata, gazdaságossága, környezetvédelmi aspektusok.....	93
4.4.2. Hőszivattyú alkalmazásakor a hőtermelés energetikai értékelése.....	97
4.4.3. A gazdaságossági értékelés	98
4.4.4. A hőszivattyúk alkalmazásának környezetvédelmi megközelítése	102
4.5. Puffer tároló mérési eredmények.....	103
4.6. Új tudományos eredmények	110
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	112
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	114
7. SUMMARY	116
8. MELLÉKLETEK.....	118
M1. Irodalomjegyzék	118
M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk	124
M3. A termálenergia hazai szabályozása	126
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	132

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
A_h	a növényházburkolat felülete	m^2
H_0	az adott térrészben tárolt hőmennyiség	J
R_0	a kitermelés és a hasznosítás hatékonyságától, a visszasajtoló víz hőmérsékletétől függő tényező.	-
T_t	a tározó hőfoka	$^{\circ}C$
T_r	a visszatáplált víz hőfoka	$^{\circ}C$
T_0	a felszíni hőmérséklet	$^{\circ}C$
\dot{m}	fűtővíz tömegárama	kg/h
c	a víz fajhője	kWh/kg K
q_0	a felvett hőteljesítmény	J
w	a bevitt kompresszor munka (energia)	kWh
δ	0,4-0,58 veszteség tényező	
COP	fajlagos hűtőteljesítmény (Coefficient Of Performance)	-
ε	fajlagos hűtőteljesítmény	-
e	fajlagos exergia	kWh/kg
a	fajlagos aenergia	kWh/kg
\dot{E}	exergia	J
h	vízoszlop magasság	mH ₂ O
g	gravitációs gyorsulás	m/s^2
p	nyomás	Pa
ρ	víz sűrűség	kg/m^3
Q	az óránként szükséges hőmennyiség	kJ/h
K'	„hőfogyasztási” tényező	$kJ/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$
$t_b - t_k = \Delta t$	a külső és a belső hőmérséklet különbsége	$^{\circ}C$
$F_{\bar{u}}$	a növényház határoló felületének nagysága	m^2
\bar{T}_{fo}	a fűtésre (kimenő) víz átlaghőmérséklete	K
\bar{T}_{fn}	a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete	K
Q_{FC}	hasznos hőenergia	J
E_o	a rendszer működtetéséhez felhasznált energia	J
\bar{T}_{fo}	a fűtésre (kimenő) víz átlaghőmérséklete	K
\bar{T}_{fn}	a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete	K
Q_{FC}	hasznos hőenergia	J,
E_o	a rendszer működtetéséhez felhasznált energia	J.
η_E	P/Q_{fg} a felhasznált villamos energia előállításának hatásfoka	-
$Q_{\text{össz}}$	fluidum összes energiája 72 $^{\circ}C$ -on	J
Q_F	kútfojtás veszteség	J
Q_V	távvezeték és tárolási veszteség	J
Q_{HA}	hőátadási veszteség (hőcserélő, osztók..)	J

Q_{HCS}	hasznos, a növényház fűtésére használt energia (a hőcserélő után)	J
Q_{VSZ}	a visszasajtoló fluidum energiája (hőszivattyúzás után)	J
Q_{HSZ}	a hőszivattyú kondenzátorán leadott hasznos, a növényház fűtésére használt energia	J
P_{VE}	a hőszivattyú hajtására felhasznált energia (villamos)	kWh
Q_{HSZV}	a hőszivattyúzás egységein fellépő veszteség	J
Q_{EXE}	a hasznosult hőenergia (exergia)	J
Q_F	a növényház veszteség energiája (konduktív, konvektív (légcserre), radiáció)	J
$Q_{VÉP}$	az növényház hőveszteségei	J
A_h	a növényházburkolat felülete	m^2 ,
k_o	a növényház burkolatának hőátbocsátási tényezője	$W m^{-2} K^{-1}$,
t_i	a növényház belső légtér-hőmérséklete	$^{\circ}C$
t_e	a növényház külső környezetének légtér-hőmérséklete	$^{\circ}C$
$Q_{\ddot{u}}$	a leállítást megelőző vízhozam	m^3/d
s	depresszió	m
q	fajlagos vízhozam	$m^3/d/m$
k	permeabilitás	μm^2
K	szivárgási tényező	m/d
T	transzmisszivitás	m^2/d
S	tárolási tényező	
n_o	porozitás	
a	piezovezetőképesség	m^2/d
D	Cső belső átmérője	m
d	Csőátmérő	m
e	Fajlagos szén-dioxid emisszió	$kg CO_2/kWh$
$G_{rad} T$	Hőmérséklet gradiens	$^{\circ}C/km$
L	Cső hossza	m
L_t	Talpmélység	m
P	Elektromos teljesítmény	W
Q_f	Hasznos hőenergia	J
ρ	Sűrűség	kg/m^3
r	Fúrési átmérő	m
Re	Reynolds-szám	-
SPF	Seasonal Performance Factor	-
t	Idő	s
T	Hőmérséklet	$^{\circ}C$
$T_{\ddot{u}n}$	A talajból a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete	K
V_T	térfogatáram	m^3/h
R^2	Korrelációs tényező	-
η	Hatásfok	-
λ	Hővezető-képesség	W/mK

Rövidítések

TL	Hőmérsékletmérés	-
FLOW	Áramlásmérés	-
REF	Visszatöltődés	-
P_{rise}	Nyomásemelkedés	-
P_{grad}	Nyomásgradiens	-
H	Vízszint	-

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az első fejezetben a téma kiválasztását, aktualitását mutatom be, valamint a munkám célkitűzéseit fogalmazom meg.

1.1. A téma indoklása

Az Európai Unió energiapolitikájában központi szerepet játszik a megújuló energiaforrások arányának növelése a primer energiafelhasználásban. A Bizottság meglehetősen komoly általános célként tűzte ki, hogy 2020-ra a közösségen belül, a bruttó belföldi fogyasztás 20%-át megújuló energiaforrások fedezzék. A megújuló energiaforrások az energiapiacra versenyhátránnyal indulnak a magas induló költségek, bizonytalanságok és a befektetések hosszú megtérülési ideje miatt. A versenyhátrány tulajdonképpen abból a tényből adódik, hogy a hagyományos energiapiaci szereplők gyakorlatilag nem fizetik meg tevékenységük tényleges környezeti költségeit. Így ahhoz, hogy a megújuló energiaforrások versenyképesek legyenek a hagyományos energiaforrások mellett, a támogatásuk szükséges.

A megújuló energia a nem fosszilis energiaforrásokból (geotermikus, nap, szél, vízenergia, biomassza), továbbá hulladéklerakóból, szennyvízkezelő létesítményből származó gázból, valamint biogázból előállított energia. (2001/77/EK irányelv)

Felhasználási arány növelésének okai:

- a fosszilis energiaforrások korlátozottan állnak rendelkezésre,
- környezetszennyező hatások,
- üvegházhatás Kiotói Jkv. – Mo. 6 %-kal csökkentette a CO₂ kibocsátását az 1985-87 átlaghoz képest 2012-ig.

Geotermikus energia vonatkozásában Magyarországon a geotermikus gradiens jelentősen meghaladja a világszámot, ami az ország egyik természeti kincse. A fenntartható erőforrás gazdálkodással összhangban az új kapacitások kialakítása során különös figyelmet kell fordítani a természeti kincsünk megőrzésére, ez általában a visszasajtolást vagy a megfelelő célú továbbhasznosítást teszi szükségessé. Jelentős potenciál rejtőzik a geotermikus energia hő ellátásban történő szerepének növelésében, ami Magyarországon bizonyos területeken (pl. kertészetek) már jelenleg is elterjedt fűtési módozat. A geotermikus energia esetében a kútlétesítés és visszasajtolás (amely nem minden esetben lenne indokolt) közvetlen költségén kívül a hő ellátási és elosztási rendszer kiépítésének ráfordításai miatt a legjelentősebb korlátozó tényezőt a finanszírozás biztosítása jelenti.

Az Európai Unió (EU) tagjaként a megalkotott közös joganyagok és hosszú távú stratégiai célkitűzések számos feladatot fogalmaznak meg és rónak Magyarországra ezen a területen. Az EU energia és klímacsomagjának nyomán megszületett uniós Megújuló Energia Útiterv 2020-ra 20 százalékos megújuló energiaforrás részarányt, ezen belül a közlekedés vonatkozásában 10 százalékos, továbbá 20 százalékos energiahatékonyság-növelést, és az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának (az 1990-es szinthez képest) 20 százalékra való mérséklését tűzte ki.

Az Európai Parlament és Tanács RED irányelve (2010/31/EK) Magyarország számára 2020-ra jogilag kötelező módon - minimum 13 százalékban határozta meg a megújuló energiaforrásból előállított energia bruttó végső energiafogyasztásban képviselt részarányát. Az NCST 2011-2016 a geotermiát kiemelten kezeli a közösségi távfűtés és egyéni hőenergia előállítás korszerűsítése révén is. A jelenlegi 15%-ról a távhő lefedettsége 22-25%-ra nő, a szolgáltatás műszaki színvonalának fejlesztésével (decentralizált, fokozatosan összekapcsolható távhő szigetek létrehozása, alacsony hőfokú távfűtésre való áttérés) és megújuló energiaforrások bevonásával. A vizsgált forgatókönyv alapján a megújuló hőenergia előállítás aránya a hőfelhasználáson belül

a jelenlegi 10%-ról 25%-ra nő 2030-ra, amelybe beleértjük az egyedi hőenergia előállító kapacitásokat (biomassza, nap- és geotermikus energia) is.

A megújuló energiaforrások piacának ösztönzése során figyelembe kell venni annak a regionális és a helyi fejlesztési lehetőségekre, az exportlehetőségekre, a társadalmi kohézióra és a foglalkoztatási lehetőségekre kifejtett pozitív hatásait.

1.2. Célkitűzés

Magyarország a megújuló energiaforrások alkalmazását nem csak, és nem elsősorban kötelezettségnek, hanem a gazdasági fejlődéshez történő hozzájárulás egyik kiemelkedő lehetőségének tekinti. Ebben a tekintetben Magyarország számára a megújuló energiaforrások felhasználása egyszerre szükségszerűség és lehetőség. Egyrészt szükségszerű igény, hogy a fosszilis energiahordozók túlzott felhasználásából eredő problémákra (klímaváltozás, importfüggőség, külkereskedelmi mérleg egyensúlyhiánya, energiaszegénység, stb.) olyan választ keressünk, amely társadalmi, gazdasági és környezetvédelmi szempontból maximális előnnyel jár, másrészt lehetőséget teremt a nemzetgazdaság struktúraváltásához, az átfogó termelési- és piaci reformokhoz, és új, hazai, piacképes termékek megjelenéséhez, végső soron munkahelyek teremtéséhez.

Értekezésemben a megújuló energia hasznosításon belül a geotermikus energia hasznosítás egyik speciális esetét vizsgálom, a termálvíz kitermeléssel járó hőhasznosítást.

A dolgozat célja, hogy rávilágítson olyan összefüggésekre, amelyek vizsgálata nélkül a jelenleg alkalmazott kitermelési és hasznosítási technológiák nem tarthatóak fenn hosszú távon.

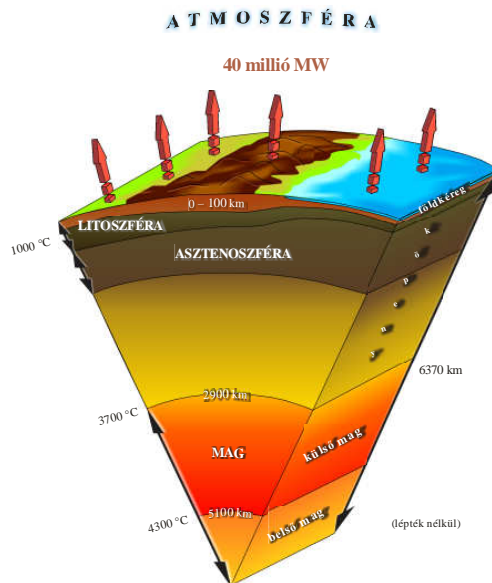
1. A termálkutak termelési paramétereinek ellenőrzése Szentes térségében. 20 db homokkő bázison termelő termálkút részletes vizsgálata, valamint az in situ mérések eredményei alapján a talajszinthez számított nyugalmi vízszint ellenőrzése. Az ellenőrzés feltételeinek kutatása.
2. A visszasajtolás eddigi hazai tapasztalatainak áttekintése. Megállapítani, hogy a kutak pihentetése során az egyes vízadó rétegek között átfertődéssel „fluidum rétegcsere” kialakul-e? Meg kell állapítani, hogy a visszasajtolás tervezésére csak az adott rétegre megnyitott és beszűrözött, a vízadó és nyelő réteg megfelelő állapotát bizonyító monitoring kút alkalmas. Az árapály jelenség befolyásolja-e a mérési eredményeket?
3. Növényházi fűtés gazdaságosságának ellenőrzése geotermikus fluidumból nyert energiával, összehasonlítva a használatos összes energiahordozóval, a jelenlegi piaci árak mellett.
4. A csökkent entalpiájú fluidum visszasajtolás előtti hőszivattyú alkalmazása és annak megállapítása, hogy a hőszivattyús rendszer létesítésének költségét a nyert többlet energia és az új kútpár létesítésének- és fenntartásának költségét kompenzálja-e. A környezetvédelemre a jelenlegi villamos energia előállítás CO₂ kibocsátása alapján a földgáztüzeléshez mekkora COP érték esetén van kedvező hatása.
5. A kertészeti üvegházak fűtési rendszerébe épített puffer-tároló elősegíti-e a termelés biztonságát?

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A második fejezetben áttekintem geotermikus energia kinyerésére, hasznosítására és elhelyezésére vonatkozó szakirodalmi kutatásokat.

2.1. A geotermikus energia meghatározása

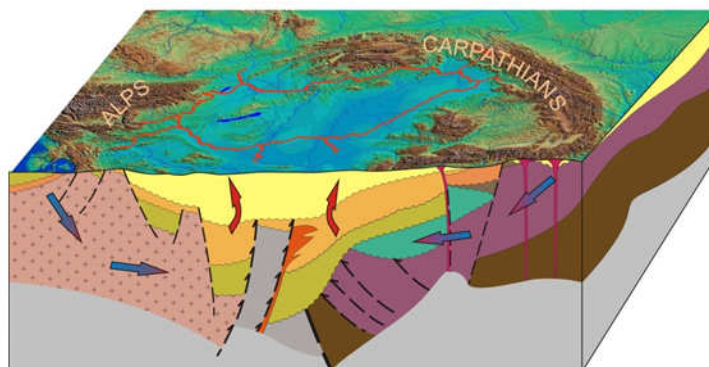
„A (termál, geotermális stb.) geotermikus energia forrása a Föld szilárd kérgét alkotó kőzetek belső hője, amelyet a magma felől folyamatos hőáramlás táplál (2.1. ábra).



2.1. ábra A Föld maghőmérséklete és a hőárama

(forrás: <http://elte.prompt.hu>)

A Föld területén megkülönböztetünk aktív, illetve passzív geotermális övezeteket. Az aktív területeken jelenleg is élő vulkáni és tektonikai tevékenység folyik (Új Zéland, Kalifornia, Kamcsatka, Hawaii-szigetek stb.).



2.2. ábra A víz áramlása a Kárpát-medencében

(forrás: <http://elte.prompt.hu>)

A geotermikus energiahordozók azok a különböző halmazállapotú anyagok (pl. felszín alatti vizek, gőzök), melyek a földkéreg belső energiájának hőenergetikai célú hasznosítását kitermeléssel vagy más technológia alkalmazásával lehetővé teszik (A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. Törvény 49.§).

A geotermikus energia hordozóját a Kárpát-medencében döntően a termálvíz képviseli, amely a nagy vastagságú, több helyen 6 km-t is meghaladó üledékes kőzetek porózus – permeábilis tartományait tölti fel (2.2. ábra). Az a távolság, amelyen belül lefelé haladva a hőmérsékletemelkedés 1 °C, a világátlagban 33 m, míg a Kárpát-medencében ez csak 15-18 m. A termálenergiát a kőzetváz és benne lévő rétegvizek hordozzák, ez utóbbival kapcsolatos a másik, kedvező geotermális adottságunk, amely szerint a Kárpát-medencét nagy vastagságban (5-10 km) kitöltő üledékes kőzetekben igen jelentős mennyiségű rétegvíz-készletek találhatók.

A termálenergia hordozójaként Magyarországon kizárólagosan a mélyégi rétegvizeket hasznosítják, amelyek hőmérsékletük szerint elkülönített részét a termálvizek jelentik. Termálvíznek Magyarországon a 30 °C-nál nagyobb felszíni hőmérsékletű rétegvizeket nevezzük.

A geotermikus energia előnye, hogy a hévíz, mint energiaforrás hasznosítása környezetkímélő, ugyanis

- az energiaátalakítása nem jár levegőszennyezéssel, mert ennek során semmiféle káros anyag – ellentétben a szénrel, szénhidrogénekkal stb. – nem kerül a levegőbe;
- ha a hőenergiáját leadó vizet a víztároló rétegekbe visszanyomják, akkor a felszíni élővizek hő- és szennyezése nem következik be;
- az energia kinyerése a földből – ha az földgázokat is tartalmaz – jóval kisebb környezetszennyezést okoz, mint a fosszilis energiaforrások igénybevétele. Ez az ún. kísérogáz külön is felhasználható a hőenergiát leadó víztől.

Az egyre jobban szennyeződő környezetünk védelme a világon mindenhol előtérbe helyezi az olyan tiszta erőforrások, mint a geotermikus energia hasznosítását. Pl. a geotermikus energiát hasznosító beruházások gazdasági hatékonyságának számításakor az EK tagállamaiban 1991 óta figyelembe veszik a környezetrombolás elmaradásából származó számszerűsített előnyöket (Árpási – Bobok, 1998).

Nem minősül energetikai célú hasznosításnak a geotermikus energiát gyógyászati, balneológiai, valamint vízellátási célokra való felhasználása, még abban az esetben sem, ha azt másodlagos felhasználással energetikai célra is hasznosítják. [A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. Törvény végrehajtásáról szóló 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet (Vhr.) 34. §]

Magyarországon a legrégebbi hagyománya a balneológiai, azaz gyógyászati hasznosításnak van, a kútállomány 40 %-a áll ennek szolgálatában, és ez a terület, amelyik az elmúlt évtizedben a legdinamikusabban fejlődött. Ezek a kutak mintegy 150 fürdőt látnak el melegvízzel, de még így is jelentős az ivóvíz-ellátásban játszó szerep is, amit annak idején éppen egészségügyi célokból Zsigmond Vilmos áldásos tevékenysége eredményezett, így a Jászságban, Heves, Békés-megyében (Gööz, 2007).

A geotermikus energia hasznosítása, az igénybevételének lehetőségei

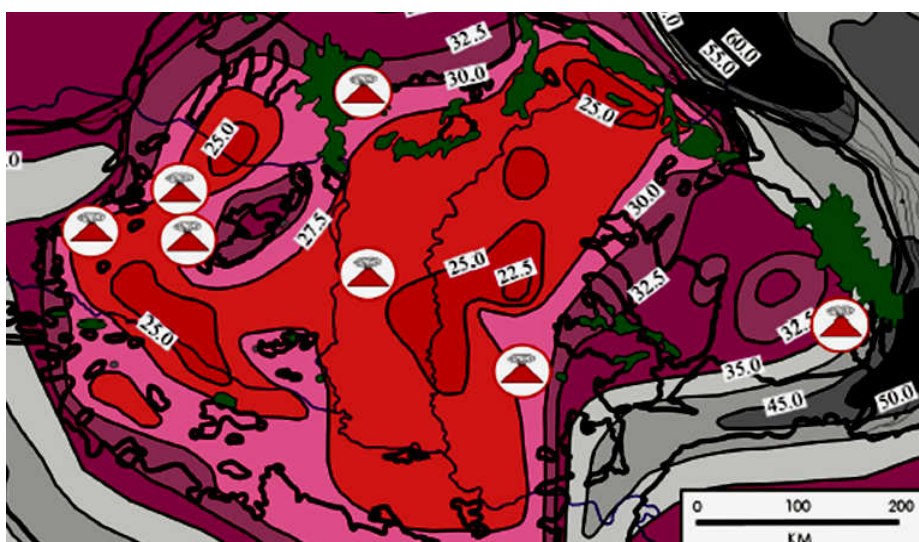
A geotermikus kifejezés görög eredetű, jelentése: földi hő. A geotermikus források felfedezése egészen a római időkig nyúlik vissza. Legelőször a termálvizet alkalmazták, elsősorban gyógyászati, háztartási és pihenési célokra.



2.3. ábra Termásvíz előfordulása Európában

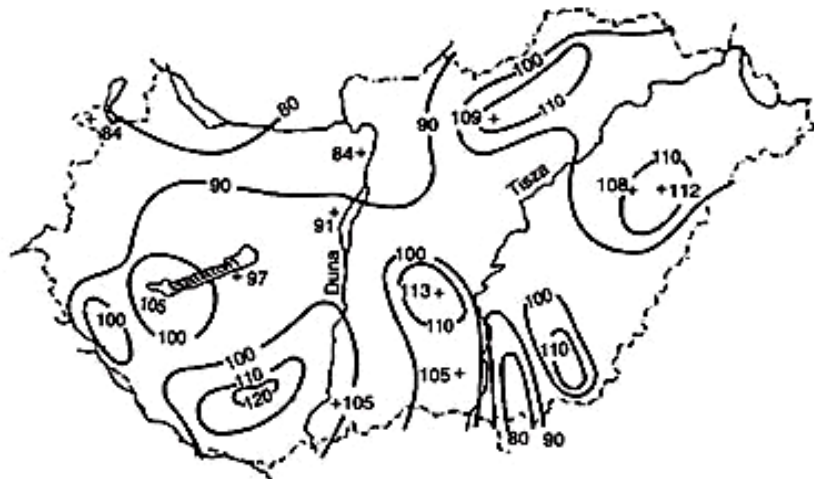
(forrás: www.panenerg.hu)

Magyarország, mint a Kárpát-medence központi része, a passzív geotermális övezeteken belül kiemelten jó adottságú területet jelent (2.3. ábra). A kedvező geotermális adottságok egyik oka nálunk az, hogy a Kárpát-medence alatt a földkéreg mindössze 24-26 km vastag, vagyis mintegy 20 km-rel vékonyabb a világ más területeihez képest. A Kárpát-medence, de különösen Magyarország területe alatt a földkéreg az átlagosnál vékonyabb, ezért hazánk geotermikus adottságai igen kedvezőek (2.4. ábra). A Föld belsejéből kifelé irányuló hőáram átlagos értéke 90-100 mW/m², ami mintegy kétszerese a kontinentális átlagnak (2.5. ábra). Az egységnyi mélységnövekedéshez tartozó hőmérsékletemelkedést jelentő geotermikus gradiens átlagértéke a Földön általában 0,020-0,033 °C/m, Magyarországon általában 0,042-0,066 °C/m. A fenti termikus adottságok miatt nálunk 1000 m mélységben a réteghőmérséklet eléri, sőt meg is haladja a 60 °C-t. A hőmérsékleti izotermák 2000 m mélységben már 100 °C feletti hőmérsékletű jelentős mezőket fednek fel (Árpási–Bobok, 1998).



2.4. ábra A földkéreg vastagsága a Kárpát-medencében

(forrás:www.panergy.hu)



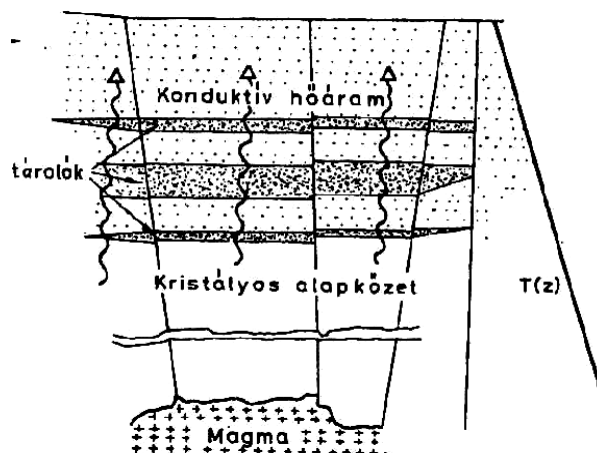
2.5. ábra A földi hőáramsűrűség eloszlása Magyarországon, (mW/m²)

A geotermális anomália területei

A természetes termálrezervoár kellő kiterjedésű, nagy hőmérsékletű, megfelelő porozitású és permeabilitású hévíztároló képződmény. A termálrezervoárból belső energiát termelnek ki, amelynek hordozó közege a víz, amelyet a környezetvédelem vagy a rétegyomás fenntartásának céljából vissza kell sajtolni a tárolóba. Ez esetben a bányászat tehát a víz energiatartalmára irányul, nem magára a vízre.

A termálrezervoár valamely forró, száraz impermeábilis kőzetben létrejött repedésrendszer.

A természetes termálrezervoárt szakadatlanul fűti a földi hőáram (konduktív hőátadás). Az egyik nagy rezervoárcsoportba azok a tárolók sorolhatók, amelyek belsőenergia-utánpótlása a vezetéses (konduktív) hőáram (2.6. ábra). A ma ismert legnagyobb kiterjedésű konduktív fűtésű termálvíz-rezervoár az Alföld felsőpannon homokos üledéksoraiban található. Átlagos vastagsága 200 m és kb. 40 000 km² kiterjedésű. Magyarország mai termálvíz-kihozatalának túlnyomó része innen származik.



2.6. ábra A konduktív hőárammal fűtött geotermális tároló

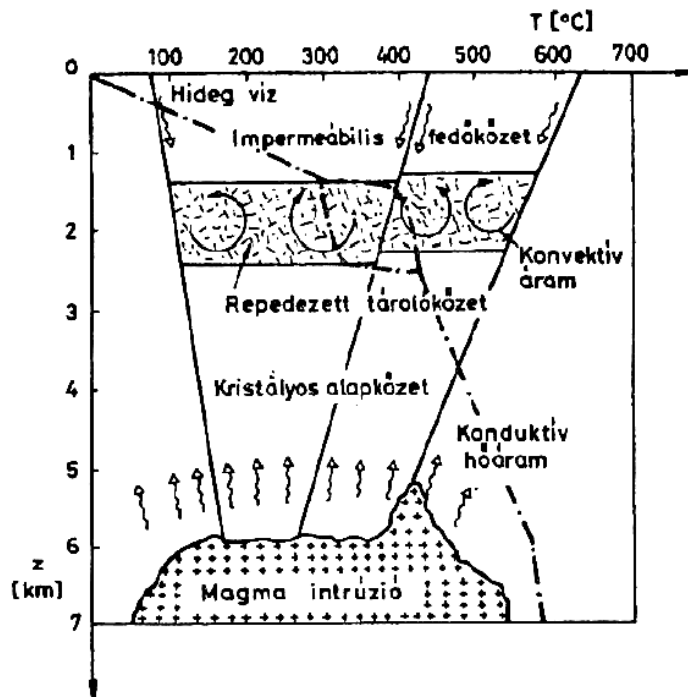
2.2. Termokonvekcióval fűtött tárolók

A nagy hőmérsékletű magma (650-1200 °C) igen erősen fűli a környezetét, és ez a felszín felé igen nagy (1 W/m²) erősségű földi hőáramot okoz. Az üledékes kőzetek hővezetési tényezője legtöbbször elég kicsiny (2 W/°Cm) ezért a mélységgel igen gyorsan nő a hőmérséklet.

Szükség van a tároló elegendően nagy függőleges irányú méretére is. Ilyenkor a konvekció hosszabb úton, hatékonyabban viszi át a belső energiát a felszínhez közeli tartományba.

Növeli a konvekció intenzitását, ha a tároló hidegvíz-utánpótlást kaphat. Ekkor nagyobb a hőmérséklet-, továbbá a sűrűségkülönbség, és az erőteljesebb fluidummozgás több belső energiát juttathat a felszín közelébe.

A konvektív fűtésű porózus tároló fogalmi modelljét a 2.7. és 2.8. ábra szemlélteti.



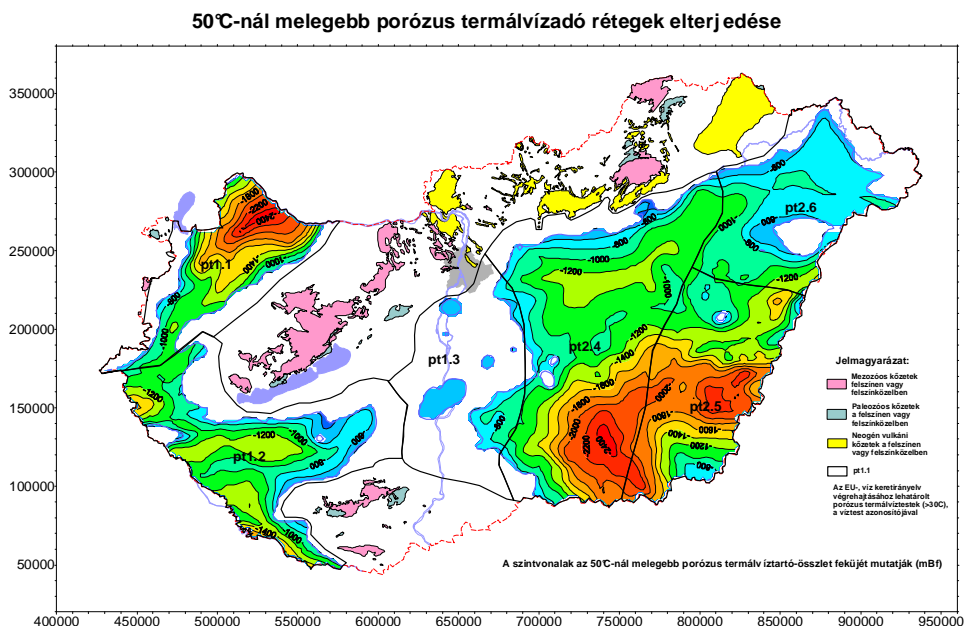
2.7. ábra Termokonvekcióval fűtött geotermális tároló

(Forrás: Sembery et al., 2003)

A tároló nyomáseloszlása - ha forró víz tölti ki - közel hidrosztatikus, a feláramló forró- és a leszálló "hidegebb" áramlás hatására torzul egy kicsit. A gőzt vagy víz/gőz keveréket tartalmazó tárolók mélység menti nyomásgradiense kisebb, a gőzzónában közelebb áll az állandó értékhez, mint a hidrosztatikushoz. Energiahasznosítás szempontjából legértékesebbek a túlhevített gőzt tároló lelőhelyek (Tóth, 2016).

A hazai geotermális bázisok elhelyezkedése Magyarországon (2.8. ábra)

A termásvíz minden átalakítás nélkül alkalmas a hőenergia szállítására, átadására akár közvetlen, akár közvetett módon. A termálkút üzemeltetési költségei a kinyerhető hőenergiához viszonyítva alacsonyak, ezért a termásvízre alapozott fűtés minden mással szemben versenyképes.



2.8. ábra Az 50°C-nál melegebb porózus tározók hazánkban

(Forrás: MBFH)

Előnyös, hogy az ország kertészkedéssel foglalkozó – elsősorban síkvidéki – területein jelentős mennyiségben elérhető. Helyben kinyerhető hőenergia, nincs szükség szállításra, nem importfüggő, évszaktól, napszaktól, időjárástól független. A hazánkban előforduló porózus tározó elterjedését a 2.8. ábra szemlélteti.

A földhő fenntartható módon használható:

- termálvíz kitermelés nélkül: hőszivattyú, Hot Dry Rock
- termálvíz kitermeléssel: balneológia, ivóvíz, kommunális fűtés, használati melegvíz készítés, , ipar, növényházak fűtése, terményszárítás

A termálvíz kitermeléssel és visszasajtolással megvalósuló magyarországi beruházás a geotermális közmű rendszer Hódmezővásárhelyen, Mórahalmon, Bólyon, Kisteleken, Gárdonyon, Veresegyházon, és a geotermális villamos erőmű – kísérleti projekt – MOL Rt. Iklódbördöcén.

A termálvizek energetikai hasznosítása a célt tekintve két nagy területre terjed ki:

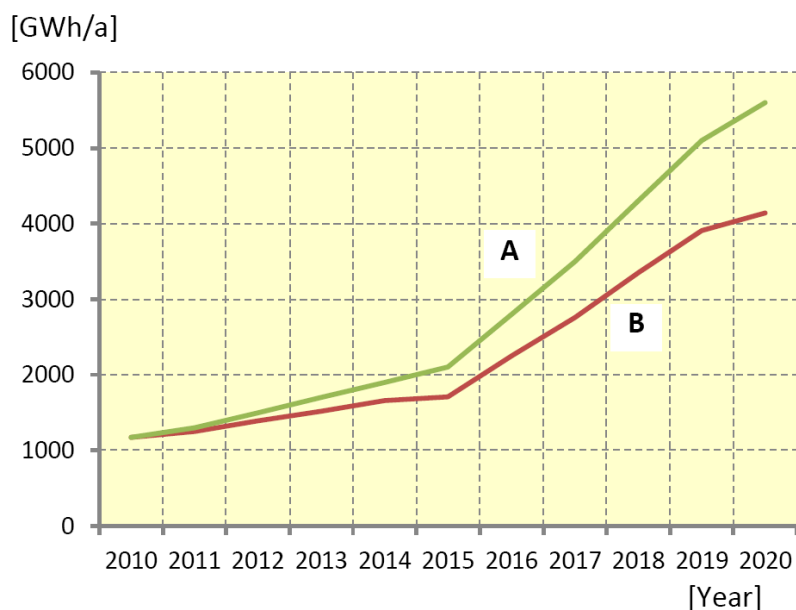
1. Villamosenergia-termelés, ekkor a geotermális fluidum (termálvíz, gáz, ill. keverékük) hőjét villamos energiává alakítják át.
2. A közvetlen hőhasznosítás, ekkor a termálvíz hője közvetlenül, átalakítás nélkül kerül hasznosításra (pl. légtér-fűtés).

A közvetlen termálhő hasznosítás során döntően a 100 °C alatti hőmérsékletű termálvizek jönnek számításba.

2.3. A termálenergia hasznosítás helyzete Magyarországon

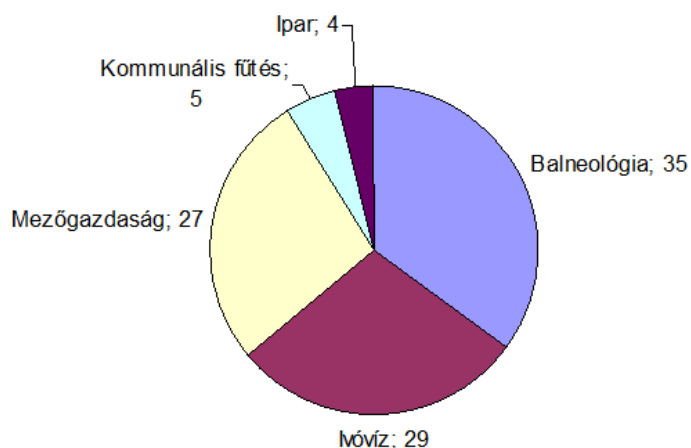
A termálvíz minden átalakítás nélkül alkalmas a hőenergia szállítására, átadására akár közvetlen, akár közvetett módon. A termálkút üzemeltetési költségei a kinyerhető hőenergiához viszonyítva alacsonyak, ezért a termálvízre alapozott fűtés minden mással szemben versenyképes. Előnyös, hogy az ország kertészkedéssel foglalkozó – elsősorban síkvidéki – területein jelentős mennyiségben elérhető. Helyben kinyerhető hőenergia, nincs szükség szállításra, nem importfüggő, évszaktól, napszaktól, időjárástól független.

Az NCST szerinti tervezett növekedés számottevő (2.9. ábra), hiszen a 2010. évi potenciálnak közel az ötszöröse lesz a növekedés (NCST, 2010).



2.9. ábra A geotermikus energia felhasználásának fejlődése
(A = összes geotermikus hő, B = hőszivattyú használat nélkül)

A geotermikus energia nagy mennyiségben rendelkezésre álló hazai energiaforrás, ezért csökkenti az import energiától való függést (2.10. ábra). Továbbá a kutatás, kiépítés, karbantartás, ipari és mezőgazdasági alkalmazások hazai munkahelyeket teremtenek és tartanak meg.



2.10. ábra Termálvíz felhasználás hazánkban

A termálenergia magyarországi hasznosítására már a 20-as években találunk példát. A margitszigeti hévízkút vizével több bérházat fűtöttek Budapesten a Szent István Park környékén. A városligeti termálkút pedig a Széchenyi fürdő mellett az Állatkert és a Szabolcs utcai kórház fűtését is ellátta. A két világháború között fűrt meddő szénhidrogén-kutató fúrások nagy számát alakították ki termálkúttá, ezeket elsősorban balneológiai célra hasznosították (Hajdúszoboszló, Bükkszék). A 60-as években kezdődött a hazai termálenergia-kitermelés eddigi legeredményesebb korszaka. A meddő szénhidrogén-kutató fúrások átalakítása mellett

elsődlegesen termálenergia-hasznosítás céljából készültek kutak, főként a Délkelet-Alföldön, a Kisalföldön és Jász-Nagykun-Szolnok, valamint Hajdú-Bihar megyében. A mezőgazdasági hasznosításban világviszonylatban is az élre kerültünk, 500000 m² üvegház, 1200000 m² fóliasátor, szárítók, állattartó telepek, rongyhulladék mosása szerepeltek a hasznosítási formák sorában. Ezen kívül több mint 5300 lakás, kórházak, üzemcsarnokok, gyógyfürdők fűtése színesíti a képet. Világviszonylatban is ritka alkalmazási forma a másodlagos olajtermelés termálvíz-besajtolással (Bobok-Takács-Turzó, 1998).

A legújabb felmérések eredményei, ill. az elvégzett elemzés alapján a következő megállapítások tehetők.

A 2015. évi állapotok szerint mintegy 1300 db termálkútból 951 db termálvíz-kút üzemel.

Ebből: 155 db – energetikai célú

214 db – ivóvíz ellátás

368 db – termál- és gyógyfürdő

214 db – egyéb (többcélú, kommunális, ipar)

A geotermikus energia felhasználása nem egyenlő a termálvíz kitermeléssel. A legnagyobb energetikai felhasználó a mezőgazdaság (kertészet), amelyben hazánk világelső. A termálenergia-hasznosítás részaránya az ország energiamérlegében nagyon kicsi 4,23 PJ (2010) volt, a potenciális lehetőség 60 PJ. Lehetőségeink a termálvíz energetikai hasznosításának vonatkozásában messze nincsenek kihasználva.

Az Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség területén található termálkutak egy része használhatatlan (kb. 10 %), illetve ideiglenesen lezárt, vagy vízszintészlelési célokat szolgáló kút (20 %) (Kardos, 2007).

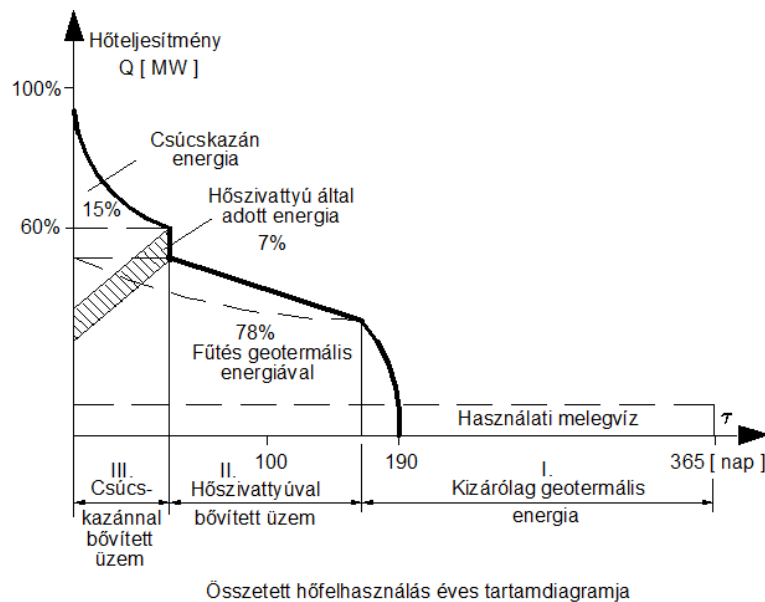
A geotermikus energia gyakorlatilag kifogyhatatlan, de csak egyes helyeken koncentrálódó, helyi energiaforrás. A hazai geotermikus energia-hasznosítás optimalizálásának követelményei a következőkben foglalhatók össze:

- A hasznosítás alapvető feltétele a vízügyi előírásokat figyelembevevő, a tároló- és környezetvédelmet biztosító rendszer kialakítása.
- Az alapvető cél a többlépcsős integrált hasznosító rendszerek létrehozása.
- A hasznosítás keretét csak a finanszírozás – bányászat – hőhasznosítás – szolgáltatás egységes egészének megteremtése jelentheti.

A termálenergia közvetlen hasznosításának hazai mennyiségi mutatói világviszonylatban jók, de a hatékonyságot tekintve igen jelentős az elmaradásunk. Ennek okai:

- A döntően csak szezonális hőhasznosítás határfoka kicsi, a hasznosító rendszerek elavultak;
- A termelt és hasznosított termálvíz mennyiségének mérése nem általános, a hőhasznosítás több területen vízpazarlással jár együtt;
- Vízvisszasajtolást kísérleti jelleggel több helyen is alkalmazták, eltérő földtani körülmények mellett.

A legtöbb felhasználás esetén tartalék fűtési rendszerről kell gondoskodni, amely a fogyasztás változásait kiegyenlíteni hivatott. Ez lehet puffer tartály vagy csúcskazán (2.11. ábra).



2.11. ábra Az összetett felhasználás éves tartamdiagrammja (Kontra, 2010)

2.4. A geotermikus energia-kitermelő rendszer jellemzői

A geotermikus energia-kitermelés lényege a tároló belsőenergia-tartalmának felszínre hozása. A geotermikus energia-kitermelés kezdeti időszakában a többé-kevésbé tervszerűen telepített kutakkal megcsapolt tárolóból a víztest rugalmas tágulása vagy a gőz túlnyomása hozta a felszínre a fluidumot. Az ilyen nyitott rendszerben a lehűlt, rendszerint nagy sótartalmú hévizet valamely közeli vízfolyásba vezették (ez környezetkárosítást okozhat). A kitermeléssel a tároló rétegnyomása csökken, együtt a kút hozamával és a kútfej hőmérsékletével.

A tároló rétegenergiájának fenntartása, és a környezetszennyezés elkerülése csak a lehűlt héviznek a tároló rétegbe való visszasajtolásával lehetséges (Mádlné Szőnyi, 2006).

A legáltalánosabban alkalmazott rendszerekben a termálkútból feltörő vizet gáztalanítják, ülepítik, és sótartalmát részben eltávolítják, majd a felhasználás helyére szivattyúzzák, a lehűlt vizet pedig valamilyen vízáramba, vízgyűjtőbe elvezetik. Ezek a rendszerek egyszerűek, megbízhatóan működnek, kis beruházási költséggel létesíthetők, problémájuk azonban, hogy nincs vízutánpótlásuk és a rétegenergia csökkenése következtében idővel kevesebb vizet adnak. A vízhozam csökkenése különösen jelentős lehet azokon, ahol az olaj- és földgáz kutak is termelnek, vagy ahol nagy a termálkút sűrűség (Bobok, 1992).

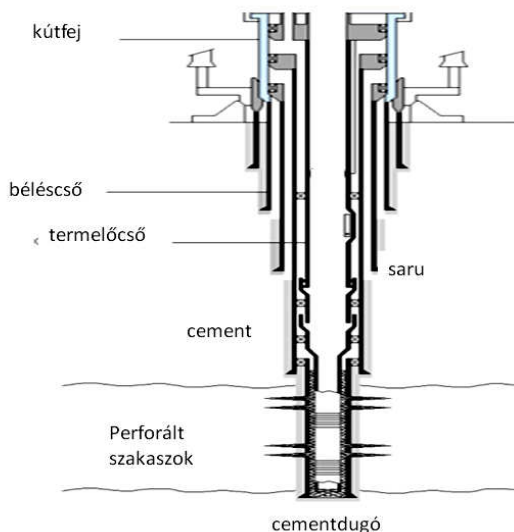
A termálvíz tulajdonságai:

- magas hőmérséklet ($> 105\text{ °C}$),
- magas oldott sótartalom ($> 1200\text{ mg/l}$),
- szénhidrogén származékok, fenol tartalom,
- homoktartalom,
- agresszív anyagok jelenléte,
- kísérgázok (CO_2 , CH_4)

A termálkutak szerkezete (2.12. ábra) és tulajdonságai:

- általában öreg építmények,

- elhasználódott kútszerkezet,
- korrodált béléscsővezés,
- áteresztő tömszelencék
- töredezett palástcementezés
- károsodott szűrőzés, perforáció,
- idegen testek a kútban
- át nem járható szakaszok
- ferde szerkezet csövezés



2.12. ábra Termálkút szerkezete

A hosszabb ideje működő kutakból rendszerint csak mesterségesen lehet a fluidumot a felszínre hozni. Ehhez három főbb kitermelési megoldás áll rendelkezésre.

Önerős – rétegnomás segítségével történő kitermelés

Ma már ritka, a termálvíz kitermelés kezdetén használt vízkitermelési mód. A megfúrt és kompresszoros kútkiképzésen átesett kút a felszíni nyomáshoz képest magasabb rétegnomással rendelkezik. Ennek köszönhetően a kútfejen mérhető nyomás a légköri nyomásnál magasabb és a víz önerőből tör a felszínre.

Kompresszoros hévízkitermelés

Hagyományos vízkitermelési mód a levegő bevezetéses (air lift) vízkitermelés. A mammutszivattyú, vagy légnomásos vízemelő a vizet nagynyomású levegő vagy más gáz segítségével szivattyúzza. Külön levegő bevezető csövet kell elhelyezni a kútba. A légsűrítő (dugattyús vagy csavarkompresszor) által előállított ~ 10 bar nyomású sűrített levegőt vékony csövön keresztül a kútba vezetik a „buborékpont” alá, ahol egy kúpos egység apró légbuborékokat állít elő, mely hatására a kisebb sűrűségű lesz a fluidum-levegő keveréke, amely a levegő kisebb fajsúlya révén buborékok formájában felemelkedik és mozgás közben magával ragadja a vizet is. A relatív nagyobb környezeti nyomás e víz-levegő keverék oszlopot megemeli és a fluidum a felszínre jut (Török, 2011).

Hatásfoka alacsony, azonban nem érzékeny a víz szennyezettségére és arra, ha a szívott térből leszívja az összes folyadékot, emiatt is alkalmazása fokozatosan háttérbe szorult.

Előnye, hogy a kútban nincs mozgó alkatrészt, nem érzékeny a homokra, s egyszerű felépítésű.

Hátránya:, hogy összhatósfoka rossz, a kompresszor által befektetett energiára nézve max. 15% körül alakul, illetve általában több levegőt adagolnak a szükségesnél, tehát költségnövekedést okoz. A kompresszor hangos, telepítése külön tervezést és odafigyelést igényel. A kompresszorozás hatására a kutat dinamikus terhelés érheti, ami kútbeomláshoz vezethet. Ma már nem ajánlott mesterséges termelési mód (Keserű, 1996). A lejuttatott levegőt a felszínen a többi gázzal együtt el kell távolítani. A felszíni gáztalanítás a vízkő kiválást segíti ami esetenként drasztikus lehet. Viszonylag rosszul szabályozható, nagy tehetetlenségű rendszer.

Szivattyús hévízkitermelés

A kitermelésre a kompresszoros üzemnél alkalmasabbak a bűvárszivattyúk, amelyek jó hatásfokkal, biztonságosan dolgoznak és melyekkel a rétegyomás csökkenése egyre mélyebbre beépítéssel kompenzálható. A bűvárszivattyúk előnye, hogy megfelelő nyomásszinten (általában a kút 40-60 méteres szintjén) elhelyezve a vízkőkiválást is megakadályozzák (Keserű, 1996).

Előnyei:

- korszerű berendezéssel oldható meg,
- hatásfoka jobb, mint a kompresszorozásé,
- a kitermelt víz mennyisége a fogyasztáshoz mindenkor hozzárendelhető,
- jól szabályozható,
- ma már megbízható szivattyútípusok állnak rendelkezésre.

Hátrányai:

- működése villamos energiát igényel,
- csak megfelelő kút felső csőméretbe helyezhető be a bűvárszivattyú, a kitermelt hévíz hőmérséklettől függően lehet a típust kiválasztani (igény szerint akár 100 °C-ig vagy e fölött).

A termálvíz kitermelési gyakorlatban, hazánkban a GRUNDFOS, KSB, REDA, ODI és a CENTRILIFT termelőszivattyúk terjedtek el. Legfontosabb követelmény a beépíthetőség és a megfelelő vízhozam mellett a magasabb vízhőmérsékleti tartományokban (60°C felett) a szivattyú hőmérséklettűrése (Barótfi, 1996). A szivattyúk a motorral összeépítve korrózió-álló acélköpenybe vannak beépítve, felül visszacsapó szeleppel ellátott és üres futás elleni védelemmel. A villamosmotor háromfázisú, motorvédő kapcsolót igényel. Az európai és a tengeren túli piacon egyéb bűvárszivattyúk is kaphatók.

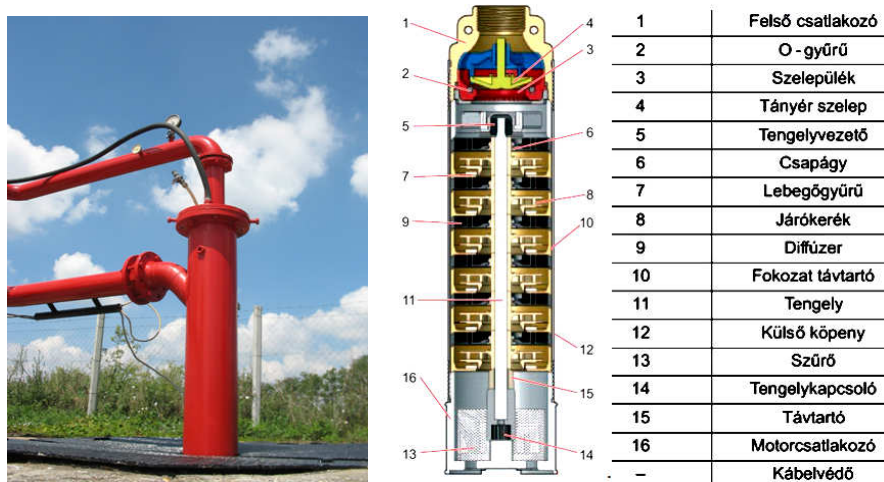
A csőbűvárszivattyú

A csőbűvár szivattyús kitermelés esetén mind a motor, mind a szivattyú a kút béléscsőbe beépítve található és a szivattyúzni kívánt folyadékba merül. A motor és a szivattyú egy közös egységet képez.

Részei a motor, amely legalul helyezkedik el. Ezt követi a vízoszlop nyomását átvevő csapágyazás. Bizonyos típusoknál ezt a feladatot a motor csapágya látja el. Legfelül helyezkedik el a szivattyútest. A motor tápellátása különleges kábelon keresztül történik. A szivattyútest felső vége visszacsapó szeleppel ellátott, a szelep csatlakozik a termelőcső (2.13. ábra).

Előnye a kompakt felépítés, a kis belső súrlódás és a jó szabályozhatóság. Szakszerű beépítés esetén élettartama eléri a 4–5 évet.

Hátránya: a motor nem javítható, zárlat esetén cserélni kell, mert a tekercsek műgyantával vannak kiöntve.



2.13. ábra Csöbúvárszivattyú kútfeje és felépítése (saját felvétel)

A hosszútengelyes szivattyú

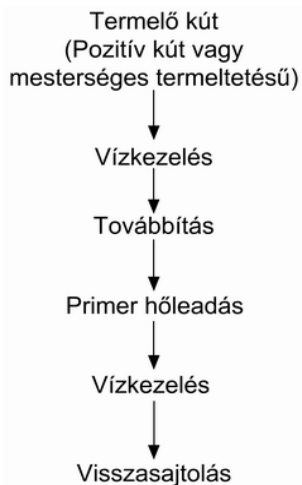
A hévízkitermelésre kevés helyen, kísérleti jelleggel hosszútengelyű szivattyúkat (Grundfos) is alkalmaztak. Ezek jellemzője, hogy a villamosmotor a kútfejre van telepítve, a szivattyú a megfelelő mélységben – buborékpont alatt van – a kettőt egy tengelyrendszer kötötte össze, amelyet központosítottak, csapágyakkal láttak el (2.14. ábra). Ma már nem kapható szivattyútípus. Előnye a könnyű javíthatóság és egyszerű szerkezet.



2.14. ábra Hosszútengelyes szivattyú beépítése és szerkezete (saját felvétel)

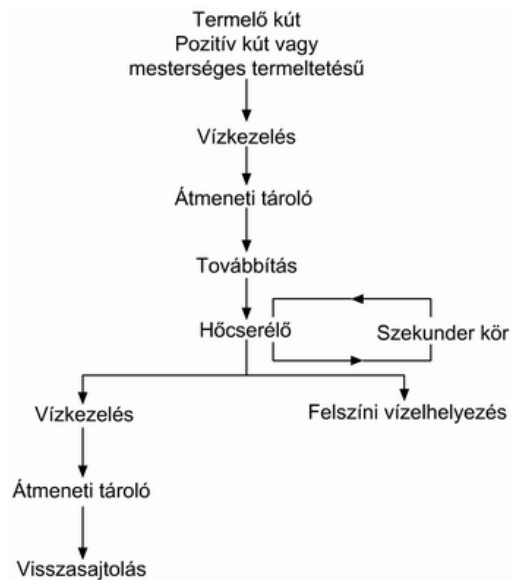
2.5. A hévízrendszerek felépítési jellemzői

A hévízrendszerek felépítésük szerint zárt vagy nyitott rendszerben működhetnek (2.15 és 2.16 ábrák). A zárt rendszerű hévíz hasznosítása során a hévíz a felszínen túlnyomás alatt hőt ad le, majd visszasajtolással az eredeti vízáadó rétegbe visszajut. A legtöbbször vízkőkiválásra hajlamos vagy agresszív kémiai viselkedésű hévizeket legcélszerűbb zárt körben keringetve (túlnyomás alatt), hőcserélőn át lehűtve visszasajtolni a tárolóba. A nyitott hévízhasznosító rendszer előnye, hogy alacsonyabb a beruházási költség, mert nincs szükség visszasajtoló kútra (Mádliné Szőnyi, 2006; Tóth, 2015).



2.15. ábra

A hévízkészítés folyamatábrája zárt rendszerben



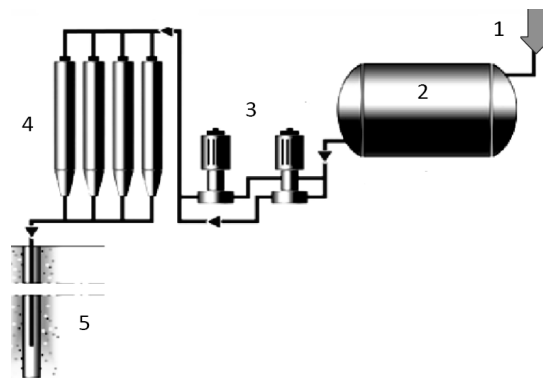
2.16. ábra

A hévízkészítés folyamatábrája nyitott rendszerben

Alapvetően a rendszerek több részrendszerből tevődnek össze. A tárolóból a termelőkúton keresztül áramlik a felszínre a belső energiát hordozó fluidum (víz, gőz vagy ezek keveréke). A gyűjtő- és a gerincvezetékek gyakran szeparátor beiktatásával vezetnek a hőcserélőhöz. A hőcserélőben a nagy sótartalmú, esetleg agresszív rétegvíz (vagy gőz/víz keverék) a szekunder körben áramoltatott víznek, esetleg valamilyen alacsony forráspontú szerves folyadéknak adja át energiátartalmát. A szekunder körben áramló felmelegített folyadék vagy gőz akár villamosenergia-termelésére, akár közvetlen hőhasznosításra használható. A termálvíz készlet megővése érdekében a vízadó rétegbe csak teljesen tiszta fluidum (termálvíz) kerülhet visszasajtolásra. Ehhez megfelelő tároló, szűrő rendszerre van szükség.

A területen dolgozó kutatók, s egyben a kutatás legfőbb feladata a használt termálvíz homokkőbe történő visszasajtolás technológiai kidolgozása és adaptálhatósága, nyilván terület-specifikusan a felső-pannon hévíztárolók kőzettani, hidrodinamikai és hőtranszport tulajdonságainak megfelelően (Barcza et al., 2011).

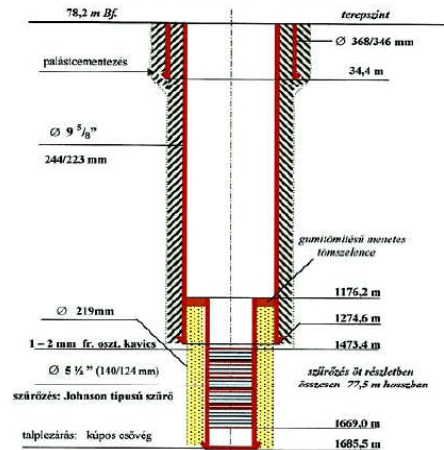
A lehűlt hévíz (vagy a kondenzálódott gőz) a sajtolószivattyú energiaközlése után a visszasajtoló kúton át jut vissza a tárolóba (2.17. ábra). A szűrőket tiszta vízzel ellentétes irányban átöblítik, s a szennyezett anyagot (általában) drénjáratokba vezetik.



2.17. ábra Visszasajtolás és kezelés (Bobok, 2014)

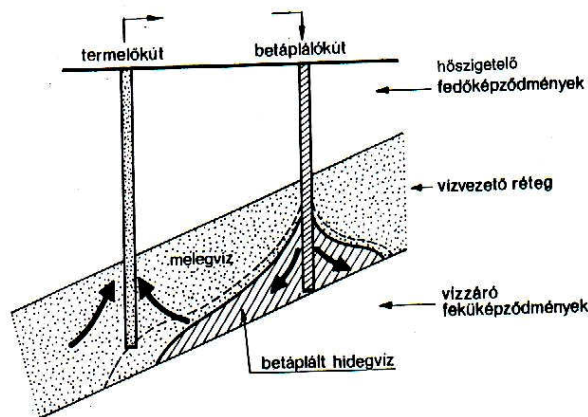
1 visszaérkező lehűlt víz, 2 tároló tartály, 3 visszasajtoló szivattyú rendszer, 4 szűrők (10 mikron), 5 visszasajtoló kút

A visszasajtoló kutak a termelő kutaktól eltérő szerkezetűek, felépítésüket a 2.18. ábra mutatja.



2.18. ábra Visszasajtoló-kút csövezési rajza (Kurunczi, 2008).

A tároló jellege, a telepfluidum tulajdonságai, a kitermelés és a hasznosítás módja nyilvánvalóan módosíthatják a vázolt alrendszer több elemét. A besajtolókút irányából hideg víz szivárog a termelőkút felé, a hővezetés iránya viszont ezzel ellentétes (2.19. ábra).



2.19. ábra Elvi ábra a visszasajtolás során létrejövő energia cserére
(a kutak mélysége 1350 m, távolságuk 1000m)

Mesterségesen termeltetett kutaknál a bűvárszivattyú működése mechanikai munka bevezetését jelenti a rendszerbe.

A besajtoló-szivattyú a rendszer másik olyan pontja, ahol mechanikai energia bevezetésére kerül sor. A megnövelt nyomású lehűlt hévíz a besajtolókúton keresztül áramlik a tárolóba, nyomása lényegesen, hőmérséklete kis mértékben növekszik az áramlás során. A tárolóba érve a víz újra a termelő kút felé szivárog, közben tovább melegszik, így a ciklus ismétlődése esetén a visszakeringtetett víz a közzétegek belső energiájának egy részét is átveszi és felszínre hozza.

A geotermikus energia-kitermelő és visszasajtoló rendszer fő kérdései:

- mekkora a tároló energiatartalma?
- adott intenzitású kitermelésnél mekkora a mező élettartama?
- milyenek a kitermelhető fluidum jellemzői?

A gazdaságosan kitermelhető energiavagyont Haenel és Staroste (1988), azaz a hasznos földtani vagyont (H_1) [J] tapasztalati összefüggésekkel kalkulálták (átvétel: Mádlné Szőnyi, 2008):

$$H_1 = R_0 H_0 \quad (2.1)$$

ahol

- H_0 = az adott térrészben tárolt hőmennyiség (J)
- R_0 = a kitermelés és a hasznosítás hatékonyságától, a visszasajtoló víz hőmérsékletétől függő tényező.

Amikor is a termelő kut(ak) mellett visszatápláló kut(ak) is van(nak):

$$R_{01} = 0,33 \frac{T_t - T_r}{T_r - T_0} \quad (2.2)$$

ahol:

- T_t a tározó,
- T_r a visszatáplált víz,
- T_0 a felszíni hőmérséklet [°C] (Lavigne, 1978).

Visszatáplálás nélkül:

$$R_0 = 0,1 \quad (2.3)$$

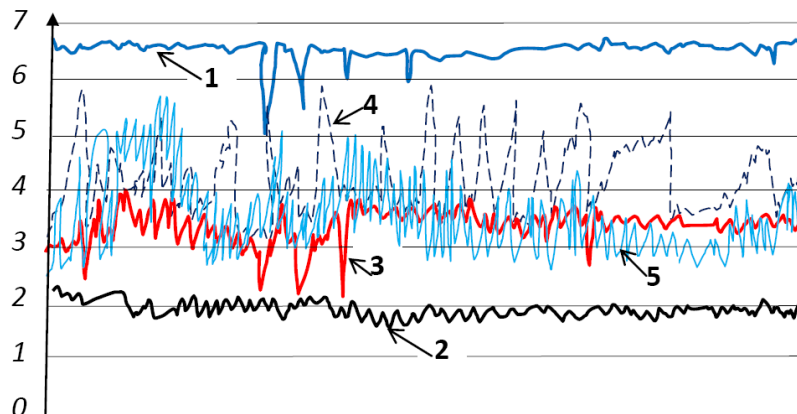
A fentiekből is látható, hogy a legtöbb geotermikus mező esetén az elfolyó víz visszasajtolását figyelembe kell venni a mező jövőbeli viselkedésének becslése során, mivel ez egy elfogadott „hulladék elhelyezési” módszer is (Pokorádi, 2008).

A visszasajtolás modellezésekor számos bonyodalom léphet fel, különösen tekintettel a hidegvíz front mozgására, illetve a lehetséges, felszín alatti változó áteresztő rétegekben lejátszódó, kémiai reakciókra.

A fentiekben túlmenően alapvető kérdésnek tartják, hogy a kivett fluidum az adott mezőben valamelyik közeli kútjába visszasajtolható-e, miután a fűtés során lehűtésre került. Sokan vélekedtek úgy, hogy homokköves vízadó bázisokba a visszasajtolás a szűrők és a környezetük eltömődése miatt nem is valósítható meg.

A visszasajtolás hidrogeológiai kérdései közül még nincsen mindegyik megnyugtatóan megválaszolva. Vannak olyan területek az országban, ahol a visszasajtolás megoldható. Jelenleg szűk az a fúrási tevékenységet folytató szakmai kör, amely ezt képes kivitelezni, továbbá a kivitelezés szigorú technikai, technológiai feltételek betartásához kötött. Szócs, (2004) szerint a visszasajtolás a beruházásnál is és az üzemeltetésénél is jelentős költségnövekedést eredményez. A költségtöbblet (és ebből az állami átvállalás mértéke) a direkt hasznosítás további elterjedésében meghatározó tényező. Kurunczi (2008) szerint azonban a visszasajtolási rendszer kiépítése, sőt esetleg több visszasajtoló kút sem rontja a megtérülési várakozásokat és a rendszer gazdaságosságát, valamint a termálenergia hasznosítás állami támogatásával befektetői tőkét mozgósíthat. Különösen figyelemre méltóak ezek a tapasztalatok a régi mezőgazdasági – visszasajtolást nem végző – használók számára. Bizonytalan viszont a hazai mezőgazdaság szerkezeti átalakulásának, korszerűsödésének kimenete.

Már az 1970-es évektől –az Alföld térségében - többféle kísérlet zajlott visszasajtolással kapcsolatban. A kezdeti kísérletek sikertelennek bizonyultak. Az első gazdaságosan működő visszasajtoló kút 1998-ban épült meg Hódmezővásárhelyen. Azóta ebbe a kútba több millió m^3 vizet sajtoltak vissza 3-5 bar nyomáson (2.20. ábra).



2.20. ábra A kút 2006 év első negyedévi visszasajtolási jellemzői

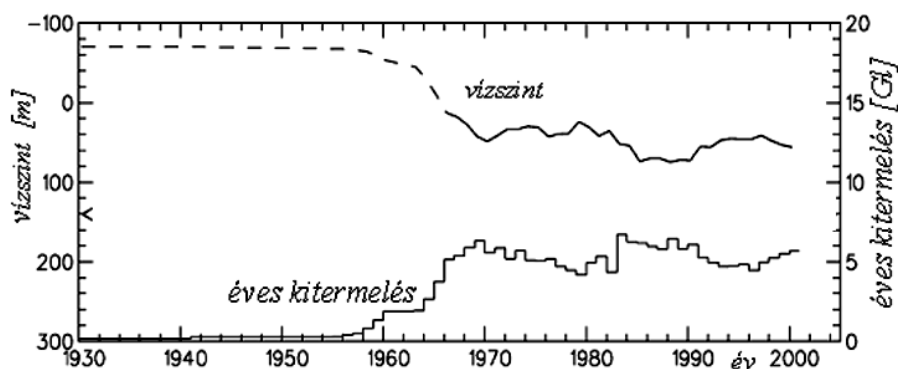
1 – vízmennyiség (100 liter/min); 2 – fajlagos nyelőképesség (liter /min); 3 – kútfej nyomása (bar); 4 – szűrő előtti nyomás (bar); 5 – vízhőmérséklet (10 °C) Forrás: Szanyi J et al., (2010), saját szerkesztés.

Nemzetközi közlések szerint a homokkőbe történő visszasajtolás nehézségekkel jár, de megfelelő feltételek betartása mellett sikeres lehet.

Németországi kísérletekben is előfordult, hogy a visszasajtoló fluidum eltérő kémiai összetétellel rendelkezett, mint az in situ rezervoár fluiduma. Ezért is teljesen zárt rendszert alkalmaznak, nem engedik, hogy a kitermelt víz oxigénnel érintkezzen. A visszasajtoló víz lebegőanyag tartalmának eltávolítására 1,0 mikronos szűrőrendszert használnak.

Erre mutatott rá Szanyi et al. (2010), miszerint a kutak szűrőinél a pórustorok eltömődését és a permeabilitás csökkenését az in situ jelenlévő részecskék a hőmérséklet, a nyomás, a sótartalom, a sebesség, a pH érték mellett a külső forrásból származó részecskék (csövek korróziója, baktériumok, gázbuborékok, szuszpendált anyagok) is befolyásolják.

Példa gyanánt: a LAUGARNES geotermikus mező Izland szigetének dél-nyugati részén helyezkedik el, ami egy meglehetősen nagyméretű mező. A fő meleg köztertege 700 ~ 1300 méter mélyen helyezkedik el, és a kitermelt melegvíze 115 ~ 135 °C hőmérsékletű. Az ábrán látható, hogy a mező kitermelése az 1960-as években növekedésnek indult a szivattyúk alkalmazása következtében, de a vízszint jelentősen csökkent (2.21. ábra). E példa is rámutat a visszasajtolás, vízpótlás szükségességére.



2.21. ábra Vízszint csökkenés a kitermelés növekedésének hatására

(Forrás: Hulya et al., 2005)

2.6. A geotermikus hőenergia hasznosítása

A termálvizek energetikai hasznosítása a célt tekintve két nagy területre terjed ki:

1. Villamosenergia-termelés, melynek során a geotermális fluidum (termálvíz, gáz ill. keverékük) hőjét villamos energiává alakítják át.
2. A közvetlen hőhasznosítás, melynek során a termálvíz hője közvetlenül, átalakítás nélkül kerül hasznosításra (pl. légtérfűtés). A hőmérséklettől függő célszerű felhasználás (2.22. ábra).

Tároló hőmérséklet	Tároló fluidum	Általános felhasználás	Leggyakrabban választott technológia
Magas hőmérséklet: 100 °C felett	Víz vagy gőz	- (-) - Villamosenergia termelés Közvetlen felhasználás	Nedves gőz Kombinált (nedves és segédközege) ciklus Közvetlen fluidum felhasználású Hőcserélők Hőszivattyúk
Közepes hőmérséklet 50-100 °C	Víz	Villamosenergia termelés Közvetlen felhasználás	Segédközege ciklusú Közvetlen fluidum felhasználású Hőcserélők Hőszivattyúk
Alacsony hőmérséklet: 30-50 °C	Víz	Közvetlen felhasználás	Közvetlen fluidum felhasználású Hőcserélők Hőszivattyúk

2.22. ábra A hőmérséklettől függő célszerű felhasználások

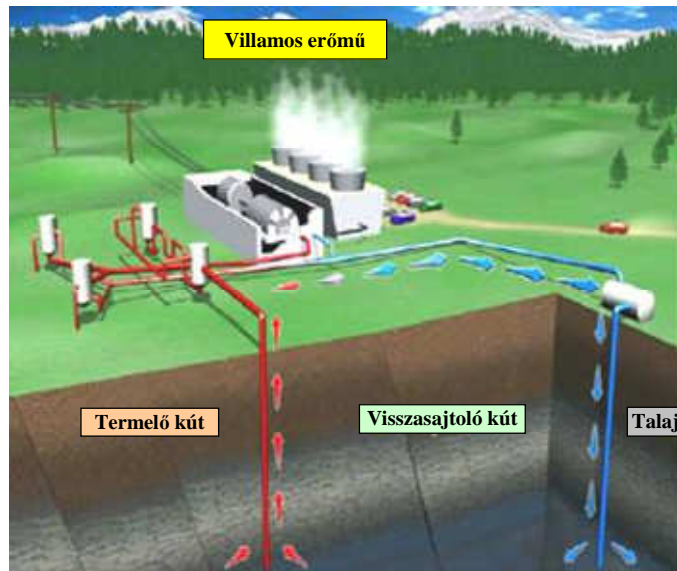
Villamosenergia-termelés

Villamosenergia-termelés csak akkor lehetséges, ha az adott helyen a geológiai és a hőmérsékleti viszonyok lehetővé teszik.

Ha a termálvízből villamos energiát nyerünk, akkor a termálvizet jelentős mértékben le kell hűtenünk, és a hőmérséklet különbségből villamos energiát állítunk elő, tehát a hőenergia villamos energiává konvertálódik. Nyilvánvaló e folyamatban is igen jelentős a hatásfok veszteség, hiszen nagyon alacsony hőmérsékletre a kinyert termálvizet nem tudjuk kondenzálni, azonkívül a nagyon alacsony hőfokú termálvizet már nem nagyon tudjuk használni, de az alacsony hőmérséklet a visszatáplálásnak is akadálya lehet. Előnyös, ha a kondenzált vízmennyiség még tovább hasznosítható.

Legelőnyösebb változat (csak megfelelő geológiai adottságok mellett), ha földből (kutakból) vízgőzt nyerünk, amely közvetlenül használható fel villamosenergia-termelésre, természetesen meghatározott technikai folyamatok közbeiktatásával (2.23. és 2.24. ábra). Ekkor a gőzben rejlő hőenergiát, közvetlenül mechanikus munkává, majd elektromos árammá alakítjuk át.

A gőz kondenzálásánál felszabaduló hőt az erőmű környékén fűtési, melegvíz-ellátási (HMV) célokra hasznosítjuk.



2.23. ábra Geotermikus villamos erőmű (vízleválasztókkal, szeparátorokkal)

(Forrás: Tóth et al., 2013)

A 2.24. ábra a termálvíz egyfokozatú közvetlen kigőzölögtetését szemlélteti. Kigőzölögtetéssel p_1 nyomású, T_1 hőmérsékletű, m_g tömegáramú telített gőzt termelünk, amit a gőzturbinába vezetünk. A kigőzölögtetéssel és a tápvíz-előmelegítéssel a termálvizet T_1 hőmérsékletéről T_f -re hűtjük le. A villamosenergia-termelésre fordított hőteljesítmény:

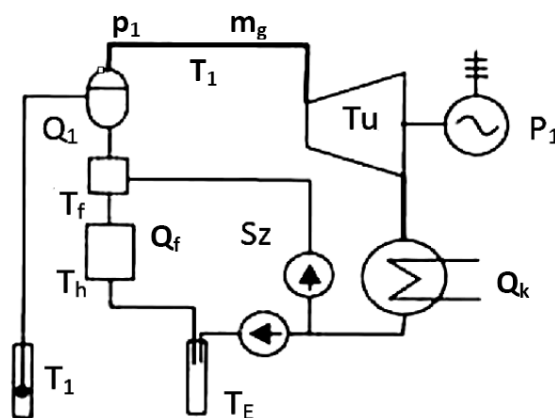
$$Q_1 = m_g c (T_1 - T_E) \quad (2.4)$$

a kinyert villamos teljesítmény P_1 . A reverzibilis hőkörfolyamathoz képest a hatásfokot rontja a kigőzölögtetés és a tápvíz-előmelegítés irreverzibilitása.

A fűtésre fordítható hőteljesítmény:

$$Q_f = m_v c (T_f - T_h) \quad (2.5)$$

és a kondenzációs hő is.



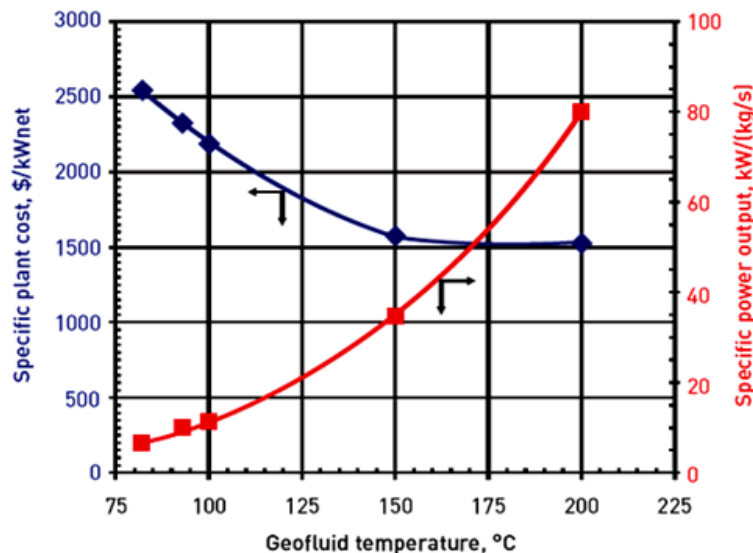
2.24. ábra Termálvíz hasznosítása egyfokozatú közvetlen kigőzölögtetéssel

(Forrás: Tóth, 2015)

ORC rendszer

Ha nincs elég gőz, de van magas hőmérsékletű víz, akkor az ún. ORC körfolyamat (Organic Rankine Cycle) jöhet szóba, amelyben a turbinahajtásra a vízgőz helyett az alacsony hőmérsékleten elgőzölgtethető anyagokat használunk fel, ami ammónia, vagy szerves fluidum (freon, propán, bután stb.). Az alkalmazott folyadékok lehetővé teszik, hogy már az alacsonyabb hőmérsékletű hőforrásokat is hatékonyan kihasználjuk, és segítségével eltérő teljesítményű (néhány kW-tól több MW-ig) elektromos energiát állítsunk elő. A termálvízzel fűtött hőcserélőben termelt pl. freon-gőzzel turbinát hajtanak, az expandált gőzt hűtővízzel kondenzáltatják, és a freon kondenzátumot visszatáplálják a hőcserélőbe. Az ORC rendszereknek a hatásfoka a geotermikus forrás és a hűtővíz hőmérsékletétől függ. A működő egységek hatásfoka 8–20 % között van. A több fokozat révén a kapcsolt energiatermelés is megvalósul, hiszen villamos energiát és hőenergiát is nyerünk. A fennmaradó kondenzált vizet pedig hőcserélőkben alacsony hőmérsékletre hűtjük. Természetesen ennek vannak hátulütői is, pl. a visszasajtolás és a téli időszakban (különösen fűtésnél) a fagyveszély.

A REKK (2009) tanulmánya szerint 3,3 MW_p-nél kisebb geotermikus villamos erőmű Magyarországon nem lehet gazdaságos (sikeres fúrás esetét feltételezve), a beruházás nem térül meg. A nagyobb létesítmény is csak akkor, ha a hulladékenergiát (hőt) jó áron és biztonságosan értékesíteni lehet (2.25. ábra).



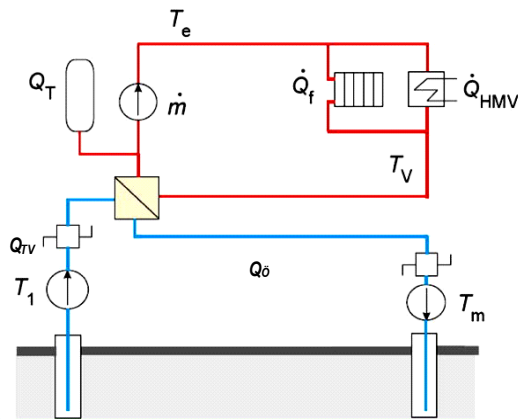
2.25. ábra Az ORC technológia magas költségét igazolja az Idaho National Laboratory kutatásai (Michelle, 2005)

A 80-100 °C-os fluidumál a legalacsonyabb a fajlagos hatásfok és a legmagasabb a fajlagos létesítési költség (Fischer és tsai, 2009).

A geotermikus hő közvetlen hasznosítása

A magasabb hőmérsékletű és alacsony sótartalmú, veszélyes, valamint korrozív anyagokat nem tartalmazó termálvizek energetikai hasznosításakor a csúcs hőkivételi időszakban külön kazános ráfűtés is alkalmazható, de az utolsó fázisban az alacsonyabb hőmérséklet balneológiai hasznosítást is lehetővé tesz.

Vízkezelés, mind a kitermelési, mind a visszasajtolási időszakban indokolt lehet: Q_{TV} (2.26. ábra). A nyert és a visszasajtoló víz mennyisége azonos. A termálvizet vezetjük fűtőelemekbe (Q_f), radiátorokba és a (Q_{HMV}) használati meleg vizet előállító hőcserélőkbe. Tárolók alkalmazása az egyenetlen felhasználás miatt indokolt (Q_T).



2.26. ábra Nyelő- és visszasajtoló kutas termálvizes rendszer hőtárolóval, közvetlen hasznosítással és vízkezeléssel (Büki et al., 2013)

Hasznosítás hőcserélőkön át történik.

Alapesetben (pl.) a kivett termálvizet

- $T_b = 48 \text{ °C}$ hőmérsékletéről,
- $T_k = 33 \text{ °C}$ -ra hűtjük le, a
- $\Delta T = 15 \text{ °C}$,
- $\dot{m} = \text{kg/h}$ = fűtővíz tömegárama,
- $c = \text{kWh/kg K}$ = a víz fajhője.

Ezzel a termálvízből kivett energia (pl.) csúcsteljesítmény (kW):

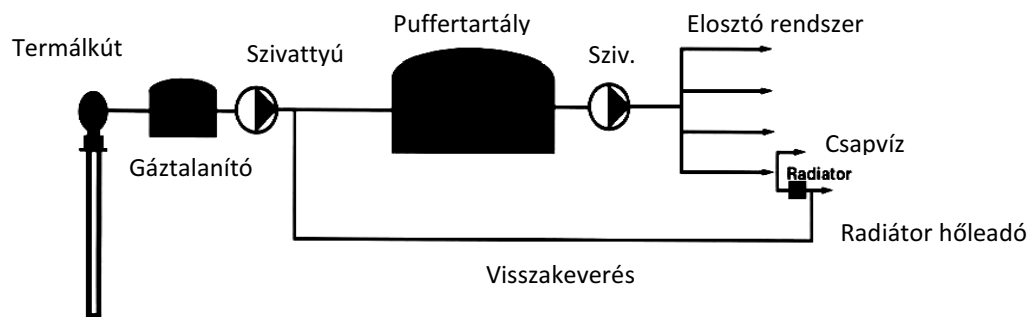
$$Q_{TV} = \dot{m}c(T_b - T_k) = 30 \cdot 4,2(48 - 33) = 126 \cdot 15 = 1890 \quad (2.6)$$

A kútból a hőcserélőn átvezetett termálvíz az egyenesen felhasználás miatt célszerű, ha nagyméretű átmeneti tárolótartályba kerül, ahonnan a szűrőrendszerre szivattyúzzák. Általában 10–15 mikronos felületi szűrőket alkalmaznak.

Hőtárolók alkalmazása

A 2.27. ábra szerinti esetben a hőfogyasztók hőleadói a fűtővizet a tárolóból kapják, melyet szükség szerint szivattyú keringtet a fűtési körben.

Ez egy jellegzetes nyitott rendszerű alkalmazást mutat, amit Izlandon alkalmaznak a főváros és a települések fűtésére (Ásbjörnsson, 2016).

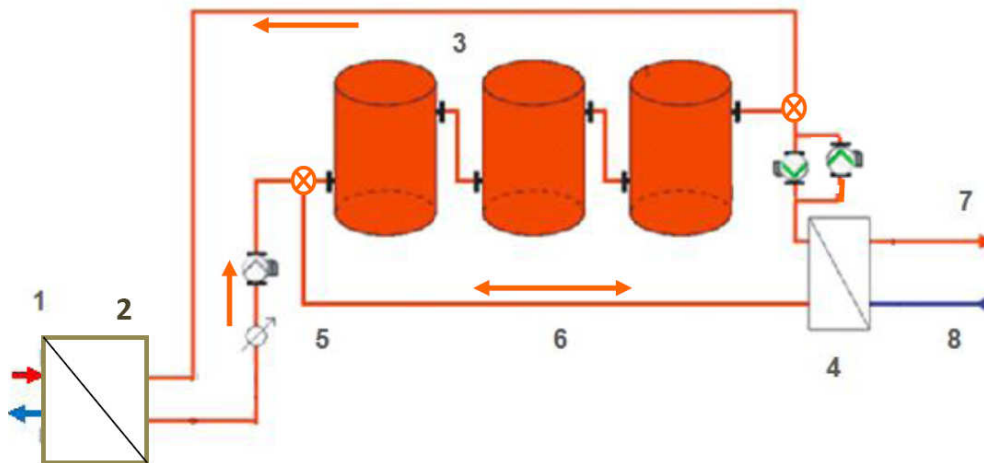


2.27. ábra Tipikus városi geotermikus fűtési rendszer visszasajtolás nélkül (tengervízbe vezetett fluidummal)

Mivel a geotermikus forrás az évszakoktól függetlenül azonos hőmérsékletű, ezért megfelelő méretezés esetén az egész fűtési idényben, kiegészítő fűtés alkalmazása nélkül képes biztosítani mind a hőveszteség pótlásához szükséges, a környezeti hőmérséklet változástól függő eltérő fűtési igényt, fűtőtéljesítményt (Jászai, 1992).

Ennek szerepe van a napi környezeti hőmérséklet okozta fűtési igény kompenzálásában, amely előre nehezen prognosztizálható, mivel az üvegházaknál a radiációs napenergia szerepe meghatározó és a változása soktényezős függvény (Ősz-Bihari, 1998).

Az üvegházi fűtés szempontjából figyelembe veendő pl.: hideg légpárna, ami olyan inverziós hőmérsékleti eloszlás, amely a téli időszakban napközben sem oszlik fel, és az időjárási körülményektől függően tartósan (akár hetekig is) fennmarad.



2.28. ábra Sorba-kapcsolt puffer hőtárolók

- 1- kutakból érkező víz, 2- kutakból érkező víz hőcserélője, 3-hőtárolók, 4-hőcserélő az előremenő fűtővízhez v. fűtőkörhöz, 5-keringtető szivattyú, 6-elkerülő ág, 7-melegvíz előremenő, 8-hidegvíz, visszatérő ág.

Mezőgazdasági hasznosítás

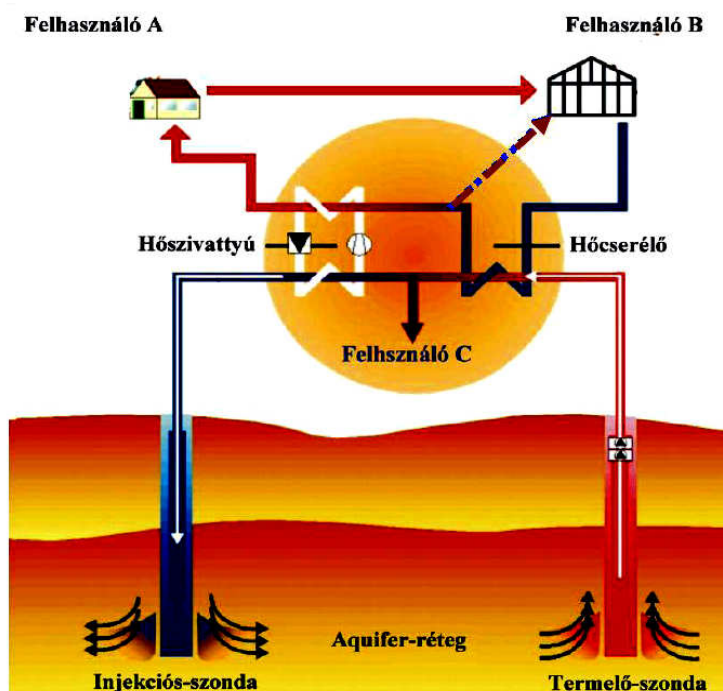
Mezőgazdasági használatnál jó példa a Fülöpjakabon kialakított rendszer. E geotermikus rendszer kútja 1004 m mély és 932–964 m között szűrőzték. A létesítmény 60 m³/óra hozammal 49 °C-os vizet termel, felső-pannoniai homokkőből. A termelt víz a talajban 1,5 m mélyen, a fagyhatár alatt vezetett szigetelt csővezetéken jut el az üvegház hőközpontjáig. Itt, az addig mindössze másfél fokot lehűlt termálvíz hőcserélőn keresztül átadja energiáját az üvegház fűtési rendszerében keringő víznek. A fűtésrendszer vizét 5 db szivattyú cirkuláltatja. A fűtőágban a hőmérséklet közel 45 °C-os, a visszatérő ágban 25–32 °C-os. A létesítmény 1,5 MW hőteljesítményt használ. A termelő réteg feletti homokrétegekre szűrőztött 847 m mély visszasajtoló-kút a 27 °C-ra lehűlt termálvizet külső energiaráfordítás nélkül nyeli el.

A szűrőrendszerrel az átmeneti tárolóba kerül a víz, majd a visszasajtoló szivattyúkon át jut a visszasajtoló kútba. A hőcserélő másik oldalán a keringtetett fűtővíz, ill. a használati meleg víz található. Az előremenő fűtővíz hőfoka a termálvíznél alacsonyabb, s a hőkivételtől függően a visszaérkező is kisebb lesz. Ebből fakad, hogy a visszasajtolási hőmérséklet kisebb, mint a hőcserélőből kijövő vízé, de további hőveszteség van a kezelése során is.

A kiszűrt anyagot a talajban kialakított drén-járatokba (elnyelő aknába, amely csőjáratokkal folytatódik) vezetik, amennyiben a szüredék veszélyes anyagokat nem tartalmaz.

Kombinált (kaszád, v. többlépcsős) hasznosítás

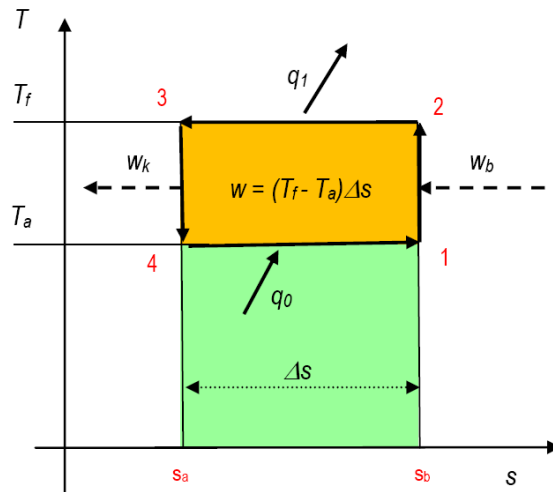
Az energia kihasználás tovább javítható, ha a hőcserélőkben lehűtött termálvizet hőszivattyúzással tovább hűtjük (2.29. ábra). Ennél a hőmérsékletnél hőszivattyú beépítésével közel meg lehetne duplázni a hasznosított hőmennyiséget (Ádám, 2008).



2.29. ábra Geotermális fűtőerőmű, a hőtartalom kombinált (többlépcsős) hasznosítása

A gépi hőszivattyú alkalmazás olyan hőenergia-átalakítási folyamat, ahol a hő az alacsonyabb hőfokszintről egy magasabb hőfokszintre kerül. Tehát a lehűlt fluidumból hőt vonunk el és átadjuk a magasabb hőmérsékletű ismételt használatba vehető fluidumnak. Ez egy természetellenes folyamat, s a hőátadás energia befektetés (hő- vagy munkabefektetés) árán valósítható meg. A hűtés elmélete kiterjedt irodalommal rendelkezik (pl.: Beke, 2000), amelyből az alapösszefüggések részleteiben is megismerhetők.

A kompresszoros hőszivattyú alkalmazásra jellemző hűtési körfolyamat elvi T-s diagramja a 2.30. ábrán látható.



2.30. ábra Veszteségmentes Carnot körfolyamat hőszivattyúknál (Tóth, 2015)

A hűtéshez befektetett munka és

$$w = (T_f - T_a)\Delta s \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \quad (2.7)$$

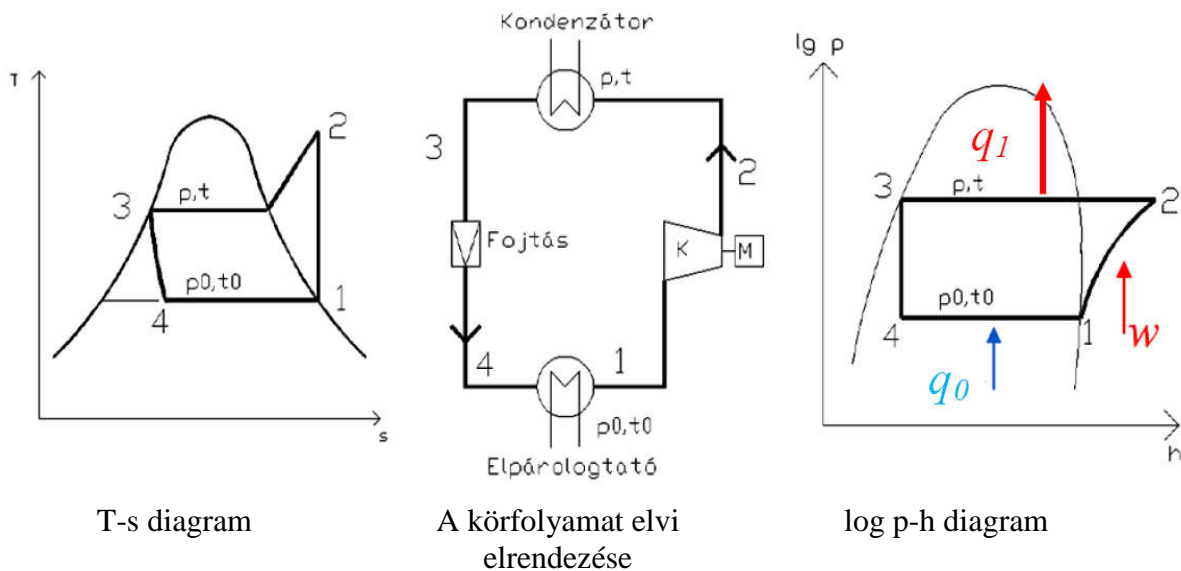
A hűtés elvi hatásfoka a felvett hő:

$$\eta_o = 1 - \frac{T_f}{T_a} = \frac{w}{q_o} \quad \text{és a leadott hőenergiára alapján:} \quad \eta_i = 1 - \frac{T_f}{T_a} = \frac{w}{q_i} \quad (2.8)$$

A hűtőberendezés teljesítménye az óránként elvont hőmennyiséggel, a hűtőteljesítménnyel jellemezhető. A kompresszor hűtőteljesítménye egyenlő a hűtőberendezés bruttó hűtőteljesítményével, vagyis:

$$q_1 = q_0 + w \quad (2.9)$$

A 2.31. ábra a kompresszoros hűtőgép kapcsolását és körfolyamatát ábrázolja. Az alacsony p_0 nyomáson és t_0 hőmérsékleten elpárolgott gőzt egy kompresszor komprimálja a felső p nyomásszintre (1–2 szakasz). A nagyobb nyomáson magasabb a kondenzáció hőmérséklete, így a hőelvonás a kondenzátorban egy magasabb hőmérséklet szinten valósítható meg (2–3 szakasz). A kondenzált folyadék nyomását egy fojtószeleppel vagy kapillárisal (az entalpia, h =áll.) csökkentjük újra a p_0 értékre (3–4 szakasz), ekkor a vegyes fázisú (gőz) tartományba kerülünk. Az alsó hőmérséklet szintű hőelvonás a folyadék elpárolgásával történik (4–1 szakasz).



2.31. ábra Kompresszoros hőszivattyú elrendezése és közegének körfolyamatai (Tóth, 2015)

Az expanzió vagy fojtás közben keletkező lehűlés annál nagyobb mérvű, mennél nagyobb az expanzió előtti és utáni nyomások viszonya.

A hőszivattyúk hatásosságának mérésére a fajlagos hűtőteljesítmény (ε) fogalmát használják (COP), ami megmutatja, hogy egységnyi munka befektetésével mennyi hőt lehet elvonni az alsóról a felső hőmérsékleti szintre.

Felső szinten (a hőleadásra lásd 2.31. ábra, log p-h diagramból):

$$\varepsilon_f = \frac{q_1}{w} = \frac{(h_1 - h_{3,4}) + (h_2 - h_1)}{(h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.10)$$

Alsó szinten (hőelvonásra)

$$\varepsilon_o = \frac{q_0}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.11)$$

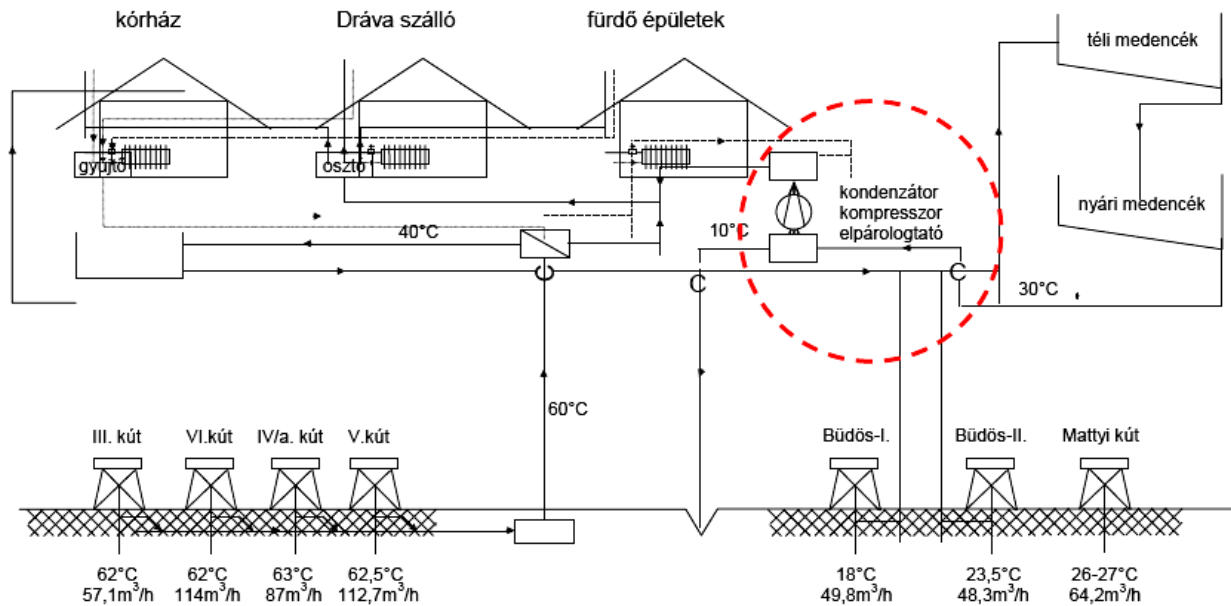
Az ε értékek 2 és 12 között változhat, ami annyit jelent, hogy egységnyi bevitt energia felhasználásával 2-12 egységnyi hűtési, vagy fűtési energiát nyerünk.

A valóságos ε a bemutatott a számítottnál kisebb:

$$\varepsilon_f = \delta \varepsilon_{0-1} \quad (2.12)$$

Tehát korrigálják: $\delta=0,4-0,58$ veszteség tényezővel.

Ismertek még az abszorpciós hőszivattyúk, amelyek körfolyamata megegyezik a „kompresszorosokéval” azzal a különbséggel, hogy a kompresszor helyett egy abszorpciós-deszorpciós körfolyamatban alacsony nyomáson elnyeli a hőhordozó közeg gőzét, az oldat nyomását szivattyúval növeli a felső nyomásszintre, majd a felső nyomásszinten kigőzölgteti az oldatból a hőhordozó közeget. A szorpciós hőszivattyúk hűtésre is felhasználhatók (pl. növényházaknál a termékek raktározására), de elsősorban akkor gazdaságosak a kompresszorosakkal szemben, ha un. olcsó, pl. hulladék hő az energiaforrás (pl. CHP-nél keletkező felesleges hő, meleg üzemi elvett hő, geotermikus hő stb.)(2.32. ábra). Általában olyan helyen, ahol hulladékhő áll rendelkezésre és hideg energiára van szükségünk, mivel a primer energia felhasználásuk csekély (Tóth, 2015).



2.32. ábra A Harkányi Gyógyfürdő Rt. termásvíz hasznosító rendszere, a használtvíz hőszivattyúzási sémája (Kulcsár, 2012)

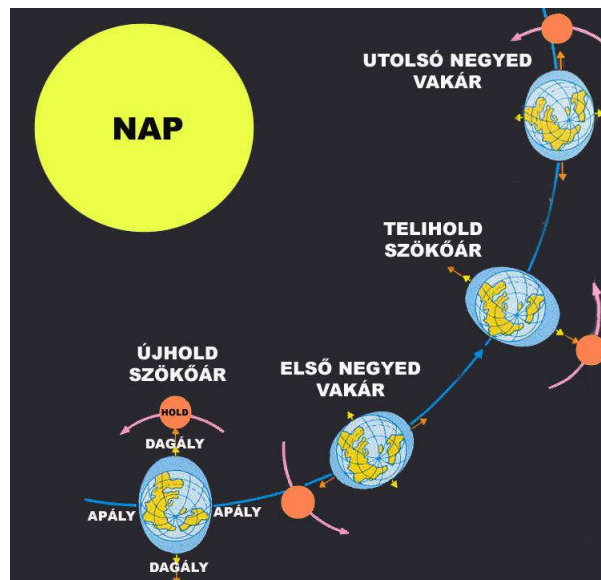
2.7. Az árapály jelenség

Az árapály jelensége a közeli égitestek egymásra gyakorolt tömegvonzása által egymáson létrehozott alakváltozások.

E jelenségben közelsége miatt a Hold kapja a legnagyobb szerepet. A Föld tömege 81-szer akkora, mint a Holdé, emiatt a Föld-Hold rendszer egy a Föld belsejében található közös tömegközéppont körül forog. A forgás miatt centrifugális erő keletkezik, mely a vizeket a Föld felületéről bizonyos mértékben eltávolítja. Emellett a Hold tömegvonzása (gravitációs ereje) is érvényesül, mely a felszíni vizeket maga felé vonzza. E két erő eredőjeként jön létre a dagályhullám, amely nem más, mint vízpúp a Föld felületén.

Dagály egyszerre két ponton keletkezik, egyik a Hold felől, a másik az azzal ellentétes oldalon. E két dagálypúp azonos méretű. A Hold vonzása a Föld felszínének felé fordított részére erősebben hat, mint annak a középpontjára, leggyengébb pedig a felszínnek az égitesttel ellentétes oldalára; így a gravitációs erők eredője a Hold felőli, és a túloldali oldalon az átlagosnál magasabb vízszintet eredményez. A középhezethez képesti relatív változás a négyzetesen csökkenő gravitációs potenciál miatt a Hold felőli oldalon a legnagyobb. A Nap is hasonló hatással van a bolygónkra, de kisebb mértékben, a Nap-Hold együttállásai generálják a legszélsőségesebb árapályjelenségeket (2.33. ábra).

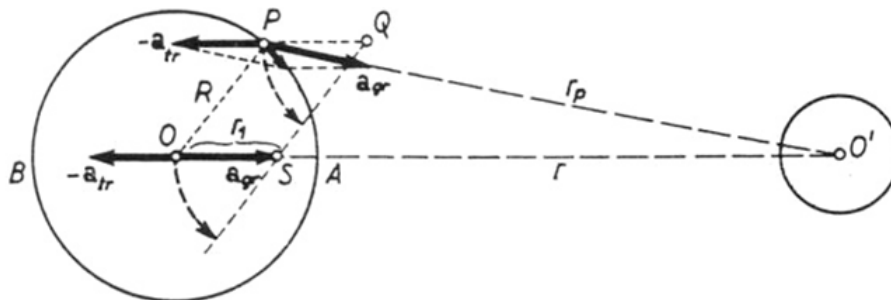
Bár a Hold lényegesen kisebb tömegű, mint a Nap, de sokkal közelebb van a Földhöz, így hatása kb. kétszerese a Nap hatásának. Amennyiben a Föld, a Hold és a Nap egy képzeletbeli tengelyen helyezkedik el (újhold és holdtölte idején), akkor a Hold és a Nap felerősíti egymás hatását, vagyis az átlagosnál jóval nagyobb dagályhullám keletkezik (egy holdhónap – 27 1/3 nap – alatt kétszer). Ezt a jelenséget „szökőárnak” nevezzük. Azonban, ha a Hold és a Nap derékszögben áll a Földhöz képest, akkor egymás hatását lerontják, és a dagályhullám a legkisebb lesz, ezt a jelenséget vakárnak nevezik, mely félhold (első és utolsó negyed) esetén áll elő.



2.33. ábra A jellemző pozíciók

(Forrás: <http://www.nyf.hu>)

Különlegesen magas dagály – szökőár – következik be, ha a Hold és a Nap egy irányban (újhold) foglal helyet. Csökken a vízszintek közötti különbség, amikor a két égitest iránya nagyjából derékszöget zár be (2.34. ábra). Ezt hívjuk félhavi egyenlőtlenségnek. A Hold földközelsége idején jóval nagyobb vonzást fejt ki a földi víztömegekre. A legnagyobb dagályszintek akkor fordulnak elő, amikor a Föld napközelsége idején (december) az újhold, illetve a holdtölte a Hold földközelségével esik egybe. Ez a havi egyenlőtlenség.

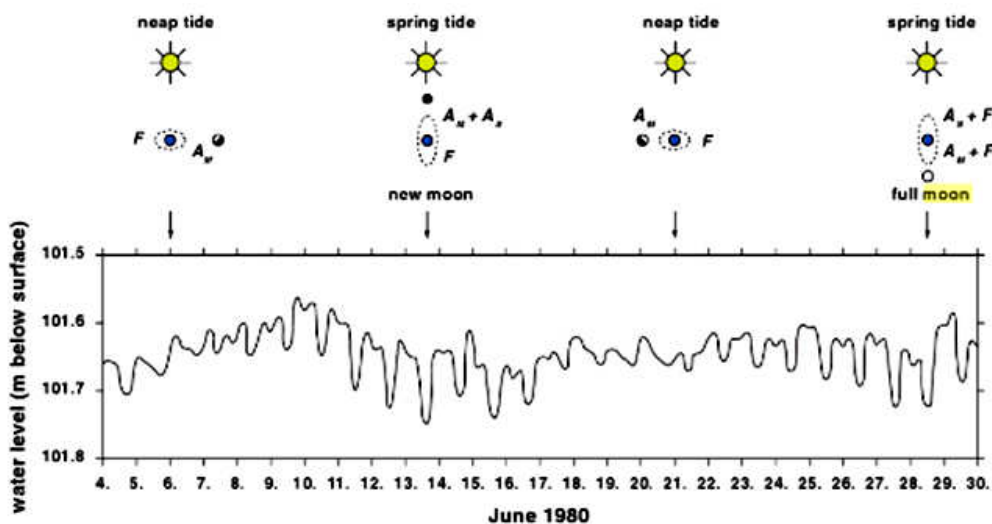


2.34. ábra Az SA tömegközpontról származó centrifugális- és a holdból származó gravitációs gyorsulás együtt alakítja az árapályt [92. 93. 94.]

Az árapály jelensége a kőzetekben és a felszín alatti vizek esetén

Nemcsak a tengereknél és óceánoknál, hanem a földkéreg kőzeténél is megfigyelhető árapály jelenség. Ezt az elsők között bizonyították az Aggteleki-karsztban található Vass Imre-barlang kutatásakor. A környék karsztforrásainak vízhozamát folyamatosan regisztrálták, a barlang főágában az egymással szemközti falakba fűrt vasrudakkal mérték a kőzet mozgását, majd az adatokat egybevetették az árapályciklusokkal. Eredményül azt kapták, hogy az árapály miatt a kőzetből víz szorul ki, amely megnöveli a karsztforrások vízhozamát. A változás akár több száz liter/perc is lehet.

A termál kutak vízszintje számos tényező mellett (pl. furat átmérő, a kőzet porozitása, hőmérséklete, gáztartalma stb.) függ a Nap és a Hold állásától az adott hely viszonylatában. Strober I. (1992 és 2007) közlése szerint a Hold pozíciója mutatható ki a nyomásszintek vonatkozásában. Saulgau-i 650 m es kútban mért adataikat a 2.35. ábra szemlélteti. De hasonló eredményeket kapott Todd (1980) is.



2.35. ábra Példa a hold okozta változásra (Strober, 1992)

2.8. Az exergia-szemlélet alkalmazása termálvizes fűtési rendszereknél

„Az exergia és az anergia ismert fogalma között közvetlen kapcsolat áll fenn, de nem állapotjelző, ami nemcsak a közeg tényleges állapotától függ, hanem az értelmezési hőfokszinttől is. Az adott nagyságú hő (belső energia, entalpia) annál értékesebb, minél nagyobb hőmérséklet szinten áll rendelkezésre. Ez tipikusan a geotermális folyamatra értelmezhető” (Kontra, 2005).

Kontra szerint: „az exergia részaránya annál nagyobb a primer körben (geotermális fluidum), minél nagyobb része exergia, (e), és minél kisebb része anergia (a). Általában azt szeretnénk, hogy a környezeti hőmérséklet szintjéig hasznosítsuk a geotermális hőt, ahol már nincs exergiája ($e = 0$); és ekkor már a teljes entalpia anergia lesz ($a = \Delta h$). Az entalpiaváltozás

$$\Delta h = e + a = e + T_e \Delta s \quad (2.13)$$

$$dh = de + da = de + T_e ds \quad (2.14)$$

Ahol:

- e = fajlagos exergia
- a = fajlagos anergia
- T_e = környezeti hőmérséklet

Az exergia változásokat a geotermális rendszerekben a hozamváltozások és az irreverzibilitások miatt beálló veszteségek okozzák.

Az exergia-szemlélettel lehetőség van arra, hogy az áramló exergiával,

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot e \quad (2.15)$$

minősítsük a geotermális hőforrást, ahol:

\dot{m} = geotermális tömegáram.

Bezegh et al. (2015) definíciója szerint: Az exergia nem csak a rendszer vagy áramlás állapotától, hanem a környezet állapotától is függ. Ezért, ha egy rendszer változatlan, de környezete változik, az exergia is változik.

2.1. táblázat Az energia és az exergia főbb tulajdonságainak összehasonlítása (Dincer, I & Rosen, MA, 2007)

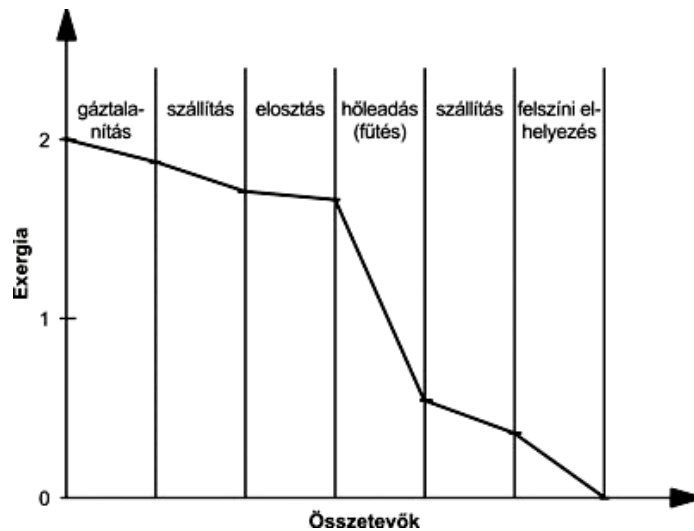
Energia	Exergia
Tulajdonságai csak az anyag-, vagy energiaáramlástól függenek, és nem függenek a környezeti tulajdonságoktól.	Tulajdonságai egyaránt függenek az anyag-, vagy energia- áramlásától és a környezettől.
Értéke a környezettel egyensúlyban eltér a nullától (többek között, hogy egyenlő mc^2 -tel, az Einstein féle egyenlettel összhangban).	Nullával egyenlő, amikor "holt állapotban" van, mivel ekkor a környezettel teljes egyensúlyban van.
Megmarad minden folyamatban, a termodinamika első főtétele szerint.	Csak reverzibilis folyamatokban marad meg, és nem marad meg valós folyamatokban (amelyekben részben vagy teljesen megsemmisül az irreverzibilitások miatt), a termodinamika második főtétele alapján.
Nem lehet sem megsemmisíteni, sem termelni.	Reverzibilis folyamatban nem lehet sem megsemmisíteni, sem termelni, de mindig megsemmisül (elfogy) irreverzibilis folyamatban.
Számos formája van (például mozgási energia, potenciális energia, munka, hő), és ezekben a formákban mérik.	Számos formája van (például mozgási exergia, potenciális exergia, munka és hő exergia) és mérhető a munka alapján, illetve, hogy mennyire képes munkát előállítani.
Csak mennyiségként szerepel.	Mennyiségi és minőségi mérték.

Végül is, az exergia és energia aránya úgy tekinthető, mint az energia minőségének mértéke. Az exergia értéke a rendszernek a környezetéhez viszonyított nem-egyensúlyi állapotától függ. Egy rendszer exergiája függvénye a környezete állapotának, ezért igen fontos definiálni és rögzíteni egy ún. referencia környezetet. Nem minden energiatípus tud átalakulni egy másik fajta energiává, azaz egymással ebből a szempontból nem azonos értékűek. Halász Györgyné (2007) példájával szemléltetve: a villamos energia adott villamos ellenálláson teljesen átalakul hőenergiává ($P = Q$), viszont a hőenergiát nem lehet teljes mértékben villamos energiává átalakítani. Ezért is, az energiatípust meg kell határozni mennyiségi és minőségi szempontból.

Az alacsony hőmérsékletű (termálvizes) fűtési rendszerek hatékonysági vizsgálatánál célszerűbb az exergia-szemlélet alkalmazása, szemben az entrópia-szemlélettel, mivel ez utóbbinak több hátránya van, mivel:

- az entrópia-növekedéseket nehéz pontosan megállapítani,
- nehéz a mennyiségi veszteségeket kimutatni,
- nem rendelhető hozzá folyamatábra,
- a gyakorlatban nehéz kezelni.

Egy nyitott hévízrendszer exergia-elemzésére mutat példát a 2.36. ábra.



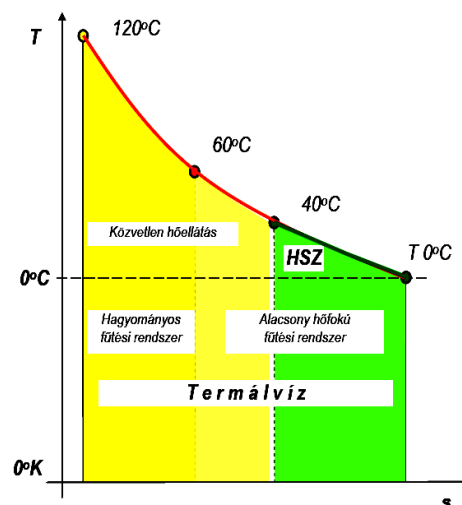
2.36. ábra Exergia-elemzés, nyitott hévízrendszer felszíni csurgalékvíz elhelyezéssel (Kontra, 2010)

Termálvíz hasznosításoknál a legnagyobb exergia veszteségek: a hőcserélőkben lejátszódó folyamatok (primer és szekunder oldalon), a fojtások, a távvezetéki veszteségek és a szivattyúzási veszteségek. Mindezek miatt az exergetikai szemlélet többet mond az egyszerű, pl. hatásfokokkal történő összehasonlításoknál. Az exergia-szemlélet alapján is bizonyítható, hogy a leghasznosabb, legelőnyösebb és legjobb „hatásfokú” fluidum hőhasznosítás a zárt, visszasajtolásos körfolyamat.

2.9. Különbéféle hőfokú termálvizek hasznosíthatósága

T-s diagramban jól szemléltethető a termálvíz különféle fűtési célú hasznosításának hőmérséklet tartományai (2.37. ábra).

Tehát az entrópia tartalom és a hőfok mértéke meghatározza a gazdaságosan használható fűtési módot, a csatlakoztatható technológiai berendezéseket.

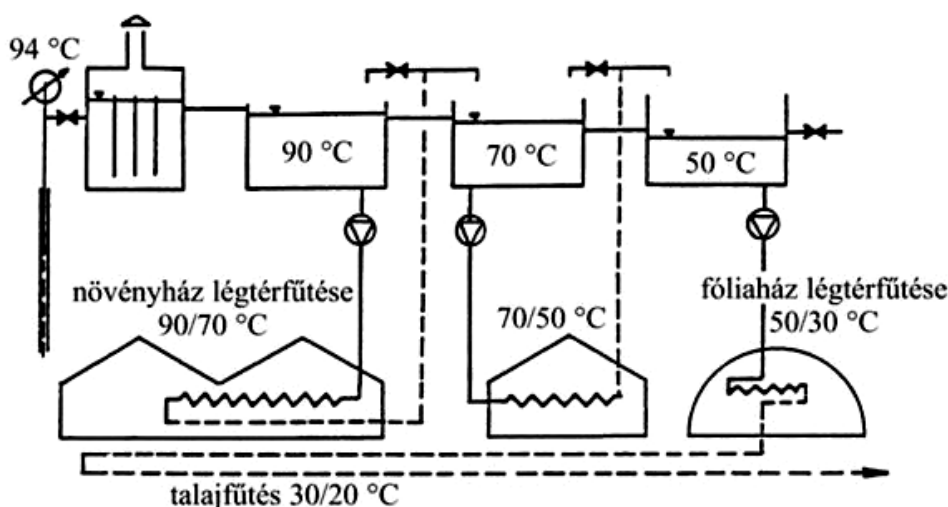


2.37. ábra A termálvíz hasznosítás T-s diagramban (Büki et al., 2013)

A termálvízből kivett hő különféle fűtési célokra és HMV (használati melegvíz) ellátására egyaránt felhasználható. Ha visszasajtolandó víz hőmérséklete magas, megfontolandó más célú hasznosítása, ill. a visszasajtolás előtt hőszivattyú alkalmazása.

Kertészetekben használatos visszakeverési rendszerek

Azért, hogy ez minél jobb hatásfokkal legyen megoldható, a termálvíz hasznosítása több lépcsőben történik. A 2.38. ábrán egy többlépcsős visszakeveréses megoldást mutat. Az egyes hőleadókat különböző hőmérsékletű kiegyenlítő tárolókból látják el meleg vízzel tág mennyiségi és minőségi határok között. Mivel a légtérfűtésre szolgáló átlagos vízhőmérsékletek nem egyenlők, ezért azokat az azonos fűtőteljesítményhez a gazdaságosság határain belül a hőleadók fűtőfelületének helyes méretezésével kell kompenzálni.



2.38. ábra Visszakeveréses termálvíz-hőfokszabályozás

A termálenergia visszakeveréses termálvíz-hőfokszabályozás (az átvételek részletesebben) az irodalomjegyzék 81-92. tételeiben felsorolt rendeletekben részletesebben megtalálhatók.

Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve a víz politika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról szól, mely a felszín alatti vizeket közvetlenül érintő legfrissebb szabályozás. Ennek célja, hogy olyan keretet adjon a vizek védelméhez, amely a Vízeret irányelv (továbbiakban VKI):

- megakadályozza a vízi ökoszisztémák romlását, védi és javítja állapotukat,
- előmozdítja a vízkészletek hosszú távú védelmére alapozott fenntartható vízhasználatot,
- fokozottan védi és javítja a vizek állapotát a veszélyes anyagok kibocsátásának, bevezetésének mérséklésével, megszüntetésével,
- biztosítja a felszín alatti vizek szennyezésének fokozatos csökkentését, és megakadályozza további szennyezésüket, valamint
- hozzájárul az árvizek és aszályok hatásainak mérsékléséhez.

Az irányelv a vizek jó állapotának megtartását, illetve annak legkésőbb 2025-re történő elérését állítja a szabályozás középpontjába. Sajátossága, hogy az intézkedések összehangolását vízgyűjtő egységenként kell elvégezni. A célkitűzések eléréséhez be kell tartani a környezetvédelmi követelményeket. Ez a felszín alatti vizekre vonatkozóan azt jelenti, hogy a tagállamoknak:

- intézkedniük kell, hogy megelőzzék vagy korlátozzák a szennyező anyagok bejutását a felszín alatti vízbe,
- védeniük, javítaniuk és helyre kell állítaniuk a felszín alatti víztestek jó állapotát, továbbá biztosítaniuk kell az egyensúlyt a kitermelés és az utánpótlódás között,
- szennyezés csökkentési intézkedéseket kell végrehajtani bármely szennyezőanyag-koncentráció jelentős és tartósan növekvő tendenciájának megfordításához,
- gondoskodniuk kell a szükséges védőterületek kijelöléséről és nyilvántartásáról.

A környezeti célkitűzések 2015-re történő teljesítése alól kivételes, az irányelvben szabályozott esetekben felmentés adható. Nincs felmentés viszont a védett területeken azon célkitűzések elérése alól, amelyek miatt az adott terület védettnek minősül.

Termálvízkutak létesítése – engedélyezési rendszer

A vízjogi létesítési engedélyezési eljárás

A létesítési eljárás meglehetősen költséges folyamat, mely a tervezői költségekből, az eljáró vízügyi hatósági valamint szakhatósági szolgáltatási díjaiból, illetve a vízügyi igazgatóságok vagyonkezelői hozzájárulásának díjaiból tevődik össze (1995. évi LVII. Törvény).

Szakhatóságok, melyeket minden esetben meg kell keresni:

- a) Környezetvédelem és Természetvédelem,
- b) Növény- és talajvédelmi igazgatóság,
- c) Járási földhivatalok,
- d) Járási építésügyi és örökségvédelmi hivatal,
- e) Illetékes Bányakapitányság,
- f) Katasztrófavédelmi Igazgatóság, aki bár jelenleg az eljáró vízügyi hatóság, de gázos kutak esetében külön szerve ad szakhatósági állásfoglalást,
- g) Területileg illetékes vízügyi igazgatóság, a vízügyi hatóságok az engedélyezés során a műszaki paramétereket ellenőrzik, az igénybe venni kívánt víztest szabad kapacitásának megállapítása a vízügyi igazgatóságok jogköre. A szabad kapacitások megállapítását tartalmazó vagyonkezelői hozzájárulás beszerzésének folyamata vízgyűjtő területenként eltérő gyakorlatot mutat.

A vízjogi üzemeltetési engedélyezési eljárás

A létesítési engedély jogerőre emelkedésekkor kezdődhetnek meg a kivitelezési munkálatok. A kútfúró cégtől függően a fúrás költségei 50 000 Ft/m-től kezdődnek. A geotermikus energiát használó vízbeszerző létesítmények talpmélysége általában meghaladja az 500 méter mélységet, sőt az 2500 méter mélységet is elérheti.

A vízjogi üzemeltetési engedély hatósági előírásai, az általános előírásokon túl rengeteg egyéb kötelezettséget foglalnak magukban (Kardos, 2007- nem a teljesség igényével):

- a) A termelő és a visszatápláló kutak esetében a vízhozam, kútfejnyomás vagy az üzemi vízszint és hőmérséklet mérését és regisztrálását legalább napi gyakorisággal kell végezni.
- b) A termelő-, visszatápláló- és megfigyelő kutakon elvégzett rendszeres üzemi méréseket évente értékelni kell, és azt a működési terület szerinti vízügyi igazgatóságnak, valamint a vízügyi hatóságnak meg kell küldeni.
- c) A vízkémiát a meghatározott komponensekre évente,

- d) A gáztartalomra vonatkozó vizsgálatok, gázosságtól függően 2-3-5 évente,
- e) időszakos vizsgálatokat 4 évente
- folyamatos áramlásmérést a megnyitott szakaszokon és a tömbszelencéknél,
 - folyamatos hőmérséklet-mérést,
 - nyomásemelkedés-mérést a felszínen és a megnyitott szakasz felett,
 - a kifolyó víz hőmérsékletének mérését hozamlépcsőnként,
 - mélységi folyamatos hőmérséklet-mérést,
 - felszíni és mélységi vízmintavételt, valamint elemzést,
 - gázkapacitás mérést és gázmintavétel elemzést a gázos kutaknál.

További előírásra kerülhetnek monitoring kutak, melyek kivitelezése ugyancsak vízjogi létesítési- valamint üzemeltetési engedélyhez kötött. Jelenleg egy geotermikus energiát hasznosító kút engedélyezéséhez legalább 4 millió Ft kell, hogy rendelkezésre álljon, ennek 20 %-át teszik ki az eljárási díjak, a többi a tervezők, laborvizsgálatok, és hatásvizsgálatok költségei, ez természetesen nem tartalmazza a kivitelezési, valamint a későbbi üzemeltetési költségeket.

A termálvíz visszasajtolása

A hévizek hévíztároló rétegekbe való visszajuttatása mai ismeretek szerint is a legkorszerűbb módszernek minősül.

A kitermelt termálvizet kizárólag ugyanazon vízadóba lehet visszatáplálni, zárt rendszerű technológiával, mely környezetvédelmi szempontból a legelőnyösebb megoldás, és a réteg energia fenntartását is elősegíti (<http://www.parlament.hu/documents/129568/554869/>).

Ebben az esetben termelő-nyelető kútpárt kell létesíteni, mely gyakorlatilag megduplázza az egyébként magas beruházási és üzemeltetési költségeket, mely felveti az aránytalanul nagy költség fogalmát.

Visszasajtoló kutat csak olyan geológiai környezetben lehet létesíteni, mely képes arra, hogy elnyelje a kitermelt vizet, erre a töredezett karszt tökéletes. Azonban vannak olyan területek, ahol a visszasajtolás technikailag nem lehetséges, vagy ha igen a visszasajtolás hosszútávon a kezdeti paraméterekkel nem garantálható.

A hasznosítás utáni elhasznált víznek a víztároló rétegekbe való visszajuttatását a következők indokolják (Árpási, 1998).

- A termálvízkészletek védelme, azaz a jelentkező vízkészletfogyás megállítása a termelés során kiemelt víz visszajuttatásával (készletvédelmi szempontok).
- A felszíni területek és élővizek esetleges környezeti szennyezésének megelőzése, illetve meggátlása (környezetvédelmi szempontok).
- A termálvíz, mint energiahordozó megújuló jellegének érvényesítése a mesterséges hőkinyerés – természetes visszamelegedés körfolyamatának létrehozásával.

Ismeretes, hogy Magyarországon a hévíztárolók vízföldtani szempontból két nagy csoportra oszthatók:

1. hasadékos, üreges, többnyire karsztosodott karbonátos (mészkö, dolomit) tároló rendszerek, melyek területi részaránya mintegy 13 %.

2. törmelékes, porózus, homokkő típusú üledékes (homok, homokkő) tároló rendszerek, ezek területi részaránya mintegy 87 %.

A visszasajtolás a távlati termálvíz felhasználás legkorszerűbb vízelhelyezése. Ismert előnyei mellett a helyi geológiai, hidraulikai, műszaki kérdések sorát veti fel. Fontos, hogy azonos vízáadó rétegbe táplálják vissza a megfelelő minőségű lehűlt vizet (Sembery, 1990). Gazdaságossága a kutak távolságától, a visszasajtoló kút nyelő képességétől, a vízkezelési igényektől függ.

A visszasajtolás előnyei:

- fenntartja a rétegenergiát
- nem károsítja a talaj és a vizek minőségét és az ökoszisztémát, de csak a vízáadó rétegbe történő visszasajtolás esetén
- nincs szennyvízbírság és vízkészlet-használati járulék, vízkormányzási díj
- repedezett kőzetek esetén kis kockázat

A visszasajtolás hátrányai:

- beruházási, üzemeltetési költségek magasak
- törmelékes (porózus) kőzetekbe kevés a referencia
- porózus kőzetek esetén nagy kockázat, emelkedő karbantartási és üzemeltetési költségek
- gyakorlatilag nagy kitétség a mindenkori geológiai viszonyoknak, a tanulási fázis részben kimaradt a technológia fejlesztés során.

A visszasajtolás történhet zárt és nyitott rendszerben.

A zárt rendszernél: a hévíz túlnyomás alatt adja le a hőt a felszínen, majd az eredeti vízleadó rétegbe jut vissza. Ez a legkorszerűbb hévízhasznosítási forma (Barótfi, 1996).

A nyitott rendszernél: a hévíz a felszínen az atmoszférikus nyomáson elveszti túlnyomását, ezzel a gáz és sókiválás megkezdődik. A lehűlt esetleg többször felhasznált hévíz (csurgalékvíz) a felszíni befogadóba kerül. Lehetőség van a csurgalékvíz összegyűjtésére is, tárolóból elvileg ez is kezelés után visszasajtolható (Barótfi, 1996).

Széles körben alkalmazott az a rossz gyakorlat, hogy az elhasznált hévizet nem az eredeti tárolóba, hanem egy felszínhez közelebbi, sekélyebb, az eredeti tárolóval alig kommunikáló vízáadó rétegbe sajtolják vissza. Ezzel az eljárással a felszíni szennyeződések ugyan elkerülhetők, de nyilvánvalóan nem történik meg a tároló nyomásszintjének fenntartása, nem hozható felszínre a kőzetváz energiatartalma, s a felszíni süllyedések sem küszöbölhetők ki. Ez a rossz gyakorlat azért terjedt el, mert a sekélyebb vízáadó rétegekbe kisebb besajtoló nyomással, kisebb szivattyúteljesítménnyel olcsóbban működtethető a rendszer. A visszasajtolás egyik káros velejárója a besajtoló kút környezetének áteresztőképesség-csökkenése. A besajtolási nyomás megnövekedése meghaladhatja a szivattyú szállítómagasságát és a kialakított rendszer működésképtelenné válhat.

A tároló fogalmi modelljének helyes kialakítása, a gondosan elvégzett kútvizsgálatok és a nyomjelző anyagokkal végzett kísérletek segítségével elkerülhető a kitermelt hévíz nem tervezett hőmérséklet-csökkenése (Bobok, 2014).

Gyakran komoly gondot okoz geotermikus létesítmények működésében, hogy a visszasajtolási nyomás idővel jelentősen megnövekszik. Ennek leggyakoribb oka: a kút-környezet áteresztőképességének csökkenése, amelyet a nem megfelelően szűrt besajtoló hévíz által a tárolóba hordott, majd ott lerakódott szilárd szemcsék idéznek elő. Ez elsősorban üledékes medencékben kialakult porózus hévíztárolókban fordul elő. Laboratóriumi kísérletekkel

bizonyított, hogy intenzív besajtolás esetén még a kellőképpen megsűrűt víz is károsíthatja a kőzetvázat. Ha a térfogatáram, tehát a szivárgási sebesség meghalad egy kritikus értéket, a kőzetváz szemcséit elmozdíthatja helyükről. Ez a jelenség a termelő kutak közvetlen közelében megnövekvő sebesség miatt is megjelenik, a kúttalpon homoklerakódást okozva. A besajtoló kútnál a jelenség, az ún. szuffózió (Bobok, 2014), azért okoz komolyabb gondot, mert a kúttól távolodó folyadékból, ahogy sebessége csökken, leülepednek az elmozdított kis üledékszémcsék, dugulást okozva a szűk pórusnyakakban, jelentősen rontva a réteg áteresztőképességét. Magmintákon végzett laboratóriumi vizsgálatokkal az adott tároló kőzetre vonatkozó kritikus szivárgási sebesség meghatározható, s az adott besajtoló kúton keresztül a térfogatáram megengedett legnagyobb értéke is meghatározható.

Kémiai okok is okozhatják az áteresztőképesség csökkenését. A vízkőképződés és lerakódás elsősorban a pórusjáratok beszűkülését okozza, de a besajtoló kútban és az ahhoz vezető csővezetékben is okozhat keresztmetszet-csökkenést, a súrlódási nyomásveszteség és a besajtolási nyomás növekedését (Kóbor-Medgyes, 2007).

Áteresztőképesség-csökkenést okoz az agyagásványok duzzadása is az agyagtartalomtól nem mentes homokkő tárolókban.

A besajtolási nyomás túlzott megnövekedése nem kívánt hidraulikus rétegrepesztéshez is vezethet.

Ahogy a tároló nyomáscsökkenése a külszín süllyedésére vezethet, a megnövekedett besajtoló térfogatáram és a megnövekedett besajtoló nyomás a felszín emelkedését okozhatja, akár néhány centimétert. Ez történt például a kaliforniai Imperial Valley geotermikus erőművénel. Legtöbbször nem okoz gondot ilyen kis felszíni elmozdulás, mert a geotermikus mezők ritkán esnek egybe sűrűn lakott területekkel (Szanyi, 2008).

Felszíni elhelyezés

Összességében az országban a termálvízzel terhelt befogadók mintegy 30 %-a esetében nem biztosított megfelelően a hígulás a jelenlegi termálvíz bevezetések mellett, ez a korlátozott hígulás különösen jellemző a dél-alföldi területeken (Kerényi, 1995).

A termálvíz bevezetésének hatásait vizsgálják, azonban nem történt olyan kutatás, mely azt vizsgálja, hogy mi történne, ha a termálvíz bevezetés megszűnne, visszaállna-e az eredeti ökológiai állapot, ill. mi történne azokkal a fajokkal, melyek a kivezetéssel jelentek meg, mi a referencia állapot?

2.10. Szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A feldolgozott szakirodalomból megállapítottam, hogy az Alföld hévizekben gazdag, amit nem csak a gyógyvizeikről híres számos település, hanem a gazdasági hasznosítás (Szentestérsége) is bizonyít. Ez különleges hidrogeológiai adottságának köszönhető, amelynek fő elemei a tárolt víz, s a kedvező hőmérsékleti gradiens.

E térség (Alföld) geológiai szelvényében a vízvezető (víztartó, vízadó) és a vízzáró rétegek váltogatják egymást. A kedvező hőmérsékleti gradiens azt jelenti, hogy geológiai értelemben viszonylag kis mélységben viszonylag magas a hőmérséklet, így az ebbe a rétegbe lévő és bejutó víz felmelegszik. A kutatások megállapításai szerint a Kárpát-medencében a napjainkban kitermelt víz évmilliókkal korábban jutott a felszín alá. A vízutánpótlódás ugyan folyamatos, de itt geológiai korokban kell gondolkodni, s a kitermelés üteménél többszörösen kisebb, nagyon lassú szivárgásról beszélhetünk.

Nemzetközi és hazai szervezetek, valamint a Kormányzat a fenntarthatóság érdekében szükségserűnek tartja a kinyert és entalpiájában leszegényített víz visszasajtolását. Visszasajtolással a vízszint fenntartható lesz és ezzel az energia szinte korlátlan ideig rendelkezésre áll. A témakör bonyolultságát és jelentős költségigényét tekintve, munkahelyem az Árpád Agrár Zrt. kutató bázisok bevonásával a saját területén és szentes térségében kísérlet folytatott annak érdekében, hogy a visszasajtolás a homokkő bázisú vízadó rétegekbe elvégezhető-e? Beszámolókat voltak és vannak sikeres és kevésbé sikeres próbálkozásokkal kapcsolatban. Konkrétan a homokkő esetén is vannak már kísérleti eredmények (Hódmezővásárhely, Mórahalom), de ezek specifikusak, nem vonatkoztathatók az Alföld egész területére.

Meg kell állapítani a területen lévő kutak vízadó rétegeinek viselkedését, tekintve, hogy egy-egy kútban öt-hat szűrőzés is előfordul. Melyek azok a vízadó rétegek, amelyekben a visszasajtolás is megvalósítható.

A megoldást nehezíti, hogy a törvény azt írja elő, hogy ugyanabban a rétegbe kell visszasajtolni, ahonnan a folyadék származik, ez a kutatás irányát is meghatározza.

A Nap és a Hold árapály jelenség megfigyelhető a felszíni vizek és a felszín alatti karsztvizek esetén. Meg kell vizsgálni, hogy termásvíz kinyerésére fúrt nagymélységű kutak esetén is fennáll-e a vízszint változás.

Az irodalmi beszámolókat szinte egységesen azt jelzik, hogy meghatározott körülmények között növényházak fűtésére az összes energiahordozó közül geotermális energia a legolcsóbb. Ennek eldöntéséhez meg kell vizsgálni a jelenlegi lehetőségeket költség és a környezetre gyakorolt hatás szerint is.

A magasabb entalpiájú vizek felhasználásának legkorszerűbb formája a központi, leválasztó hőcserélőn keresztül valósítható meg, és ezzel lehetőség nyílik többlépcsős felhasználásra is. Az előnyeiket már több. növényházi létesítmény igazolja is.

Még a többlépcsős növényházi használat után is jelentős mértékű a víz entalpiája. A lecsökkenteni, a maradék entalpia felhasználására jó lehetőséget ad a hőszivattyú alkalmazás. A hőszivattyú használatával arányaiban kisebb energia felhasználással nyerhető jelentősen és magasabb hőfokú, elégséges ΔT -vel rendelkező, használható meleg víz.

Kertészeti üzemek a hideg téli időszakban a létesítményeikben igen jelentős értékű növényállományt nevelnek, amely nagyon érzékeny a közvetlen (belső) környezet klíma jellemzőire. A gyors külső környezeti változást (pl. erős lehűlés) hatását a belső mikroklímára, a növényi élet fejlődésében bekövetkező veszély elkerülésére csak jelentős kitermelési potenciál tartalékok biztosításával, vagy tartalék energiaforrás bevetésével lehet elhárítani. A kertészeti

üvegházak fűtési rendszerébe épített puffer-tároló elősegítheti a termelés biztonságát (nem csak a nagyarányú s gyors időjárás változás esetén, hanem rendszerhibáknál is), mérsékli a tartalékként szükséges (rendelkezésre álló kútkapacitást), ill. tartalék energiaforrás létesítésének beruházási és rendelkezésre állási költségét. A visszasajtolás és a hőszivattyú, valamint a puffer tárolók alkalmazása egyaránt előnyös a fenntarthatósági, a környezetvédelmi valamint a kertészeti felhasználás gazdaságossága tekintetében is.

A felsorolt hiányosságok megoldása, a fenntartható energiatermelés és a hatékonyabb felhasználás elősegítése vezetett dolgozatom megírásához és a tézisek megfogalmazásához.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

E fejezetben a kútvizsgálatokkal kapcsolatos mérések eszközeit és módszereit ismertetem. Bemutatom a kutak jellemzőit és azok összefüggéseit a vizsgált területtel. A későbbi részeknél a módszerek és azok egyes elemei az eredmények fejezetben szerepelnek az adott témakörrel való szoros kapcsolódás miatt.

3.1. Egyedi kútvizsgálatok

A kút adatainak megismeréséhez kútvizsgálat elvégzése szükséges. A kutak mérése statikus és dinamikus vizsgálatok elvégzésével történik. A statikus mérés a kút termelés nélküli állapotában történik, úgy hogy a kút üzemszerű működéséhez szükséges berendezések a kúttestből kiépítésre kerülnek. A dinamikus mérés során a kutat az üzemi paramétereinek megfelelő módon kompresszor vagy búvárszivattyú segítségével termeljük. A mintavételek a kút üzemi hőmérsékletének elérése után történnek. A mérések során használt műszereket a 3.1 – 3.6. ábrák mutatják.

- Kútszerkezet ellenőrzés, statikus vizsgálatok (talpmélység, átmérők, csóállapot, tömszelencék helye, szűrők helye)
- Dinamikus vizsgálatok (áramlás- és hőmérsékletmérés, nyomásmérések: kapacitás vizsgálat, nyomásemelkedés, nyomásgradiens)
- Mintavételek, labor vizsgálatok(vízmintavétel, gázszeperálás/mélységi gázmintavétel)



3.1. ábra Az alapvető műszerek (saját felvétel)



3.2. ábra Az adatrögzítő és kiértékelő egységek (saját felvétel)
 MOLE – mérési adatgyűjtő (Geo-Log Kft. saját fejlesztése)
 ALT Logger – mérési adatgyűjtő (ALT)



3.3. ábra Szondák KCTG (43mm-es) 3 karu lyukbőség-, hőmérséklet-, és természetes gammamérésre alkalmas szonda (működési tartomány: 125 °C), FTRmOP (43mm-es): áramlás-, hőmérséklet-, folyadékellenállás-, optikai átlátszóság-és nyomás-mérő szonda (működési tartomány: 120 °C)



3.4. ábra Mélységi vízmintavevő: víz,-illetve gázminta vételére alkalmas eszköz.

Memóriás nyomás és hőmérsékletmérő szondák:

- Leuter Memory Gauge (működési tartomány: 180 °C, 300 bar)
- Levelogger (Solinst gyártmány) (működési tartomány: -20 – 80 °C)
- Barologger (légnyomásmérő)



3.5. ábra Indukciós vízóra

(MAG 3100N DN150, mérési tartomány: -20
-150 °C)



3.6. ábra Kútfej nyomásmérő



3.7. ábra A mérés során igénybevett eszközök (saját felvétel)

3.2. Felszíni mérések

Felszíni mérések

A mérések kezdetén ki kell választani egy referenciapontot és ehhez viszonyítani minden mélység és magasság adatot. Jelen esetben ez a szint a terepszint volt, mivel ez állandónak tekinthető. A kutak építésekor — általában — a fúrógép forgatóasztal magasságát vették referenciapontnak, ezért a jelenlegi mélységi adatok (kúttalp, szűrőhelyek, csóátmenetek) 4–6 méterrel kisebbek lehetnek a kutak adatlapján rögzített értékeknél. Ez nem jelentős eltérés, és csak a mélységszámítás kiindulópontjának változásából ered. A többi eltérés oka már tényleges hiba: elírás, pontatlanság, stb.

Felszíni mérések a kutakon:

- 1.) vízszint-, illetve kútfejnyomás
- 2.) légnyomás
- 3.) kifolyó víz hőmérséklete
- 4.) gázseparálás és mintavétel
- 5.) vízhozam

Vízszint és kútfejnyomás

Az egyedi kútvizsgálatoknál a nyugalmi és az üzemi vízszint folyamatos mérésére az önálló, hosszú távú memóriával rendelkező Levellogger típusú nyomás- és hőmérsékletmérő szondát használtuk. Pozitív kutakban a Levelloggert egy általunk gyártott tokban a kútfej egyik

csonkjához csatlakoztattuk, a nyomásszintek azonnali ellenőrzéséhez, — mivel az adatgyűjtőt csak a rendszer szétszedése után lehet kiolvasni —, egy analóg manométert is felszereltünk a kútfejre. Ez az elrendezés lehetővé tette, hogy a Leveloggereket a működési tartományuknál (20-80 °C) magasabb vízhőmérsékletű kutaknál is alkalmazni lehessen. A kútfejből kilógó csonkban a hőmérséklet kellően alacsony maradt, de a kútfejnyomás hitelesen mérhető volt.

Természetesen ilyen esetben a Levelogger hőmérsékletmérése nem tekinthető a termelt víz hőmérsékletének, ezért azt másik műszerrel mértük. Ha a vízszint a Levelogger beépítési mélysége alá csökkent, mérőszalagos méréssel egészítettük ki az adatsort, amennyiben a kútfej ezt lehetővé tette.

Az egymásra hatás-vizsgálatnál több kút egyidejű megfigyeléséhez hasonló működési elvű és mérési tartományú MicroDivereket is használunk, mert a Leveloggerből nem rendelkezünk elegendő darabbal.

Levelogger és MicroDiver típusú a vízszintmérők nem közvetlenül vízszintet, hanem nyomást mérnek, és ezt számolják át automatikusan vízoszlopmagasságra. Az átszámítás a következő képlet alapján történik:

$$h = \frac{p}{\rho * g} \quad (3.1)$$

ahol:

h – vízoszlop magasság (mH₂O)

g – gravitációs gyorsulás (m/s²)

p – nyomás (Pa)

ρ - víz sűrűség (kg/m³)

Az eszközök alapértékként 9,80665 m/s² gravitációs gyorsulást és 1000 kg/m³-es vízsűrűséget használnak. Az eredményt vízoszlopban kapjuk [mH₂O], 4 °C-os, kémiaiilag teljesen tiszta, desztillált vizet feltételezve a kútban. Fontos a kutakban végzett nyomásmérésekkel kapcsolatban, hogy tisztában legyünk azzal, a kapott adat tartalmazza-e a légnyomást. Az analóg, mutatós manométerek mindig az aktuális légnyomáshoz képest mutatják a víznyomást. Ellenben a nyomássonidák által mért érték két elemből áll össze, a szonda feletti vízoszlop nyomásából és a légnyomásból. A kettő együtt az abszolút nyomás:

$$p = p_{\text{víz}} + p_{\text{légkör}} \quad (3.2)$$

A vízoszlop nyomásának és ezen keresztül a magasságának, azaz a vízszintnek a kiszámításához a légnyomást le kell vonni a mért abszolút nyomásból.

Légnyomás mérése

Az előző fejezetben leírt okok miatt a kútfejnyomás, illetve a vízszintek Levelogger (vagy MicroDiver) műszerrel való regisztrálásakor a kapott adatokat a légnyomással korrigálni kell. E célra az ugyanahhoz az eszközcsaládhoz tartozó Barologger-t használtuk.

Gázszeperálás, gázhozam mérés

A kitermelt víznek a hévízkutak esetében gyakran magas az oldott gáztartalma, ami a felszínre kerüléssel járó nyomáscsökkenés miatt kiválik, ezért a felszínre már egy két fázisú közeg kerül. A gáztartalmat több ok miatt is le kell választani a mérés, de az üzemszerű termelés során is. Az üzemi termelés során a csőrendszerben felhalmozódhatna a gyakran magas metántartalmú gáz,

ami a robbanást is okozhat. A kútvizsgálati mérések során a gázleválasztás egyik oka, hogy a gázfázis meghamisítja a vízórák mérését, a másik pedig természetesen magának a gáz hozamnak és összetételnek a meghatározása. Az első két esetben bőven elegendő, ha a nyitott szeparátortartályból egyszerűen elengedjük a kivált gázt és a vízhozamot csak ezután mérjük meg (lásd a következő fejezetet). A gázhozam és az összetétel meghatározása már bonyolultabb mérőrendszer kiépítését igényli. A termelvény összetételének mennyiségi és minőségi meghatározásához egyaránt mintát kell venni a kivált gázból, és a visszamaradt oldott gáztartalom miatt az elfolyó vízből is a hozamuk és a hőmérsékletük egyidejű regisztrálása mellett.

A termelvényt gáztartalmának meghatározásához először a szeparátortartályba engedjük, ahol a termelt vízből a gáz kiválik. A tartály tetején távozó gázt előbb hűteni kell (akár 100°C-os is lehet), hogy a magával vitt pára kicsapódjon. A cseppleválasztóban kondenzálódó párából megszabadult, többé-kevésbe száraz gáz már alkalmas arra, hogy a gázórában folyamatosan és hitelesen mérhető legyen.

A szentesi és szegvári gázvizsgálatokhoz új (minél nagyobb hatásfokú) hűtőberendezés elkészítésére volt szükség, mert a nagy mennyiségű, magas hőmérsékletű gőzt a korábbi berendezés nem tudta hatásosan lehűteni. Az új gázhűtő egy 200 literes fém edényből, és benne spirálisan elhelyezett csőből áll. Itt először zárt rendszerben keringettük a vizet, amit egy autóhűtővel próbáltunk lehűteni. A nagy hozamú, forró vizet adó kutaknál azonban ez sem volt elég hatékony (a gáz mellett levő gőz lecsapása rengeteg hőt szabadít fel), ezért később átfolyásos hűtést alkalmaztunk. A hűtéshez szükséges hidegvizet lajtos kocsival szállították a szeparálás helyszínére. A szeparálás elvégzéséhez szükséges eszközöket az Árpád-Agrár Zrt. által biztosított pótkocsira szerelve mozgattuk a kutak között, így nem kellett minden alkalommal összeszerelni a rendszert.

A gázvizsgálatok végrehajtását a téli–tavaszi termelési periódus végére terveztük, hogy a kutakat „bemelegedett” állapotban vizsgálhassuk (A kutak egy részén azonban csak egy későbbi — téli — periódusban tudtuk a gázszeparálást elvégezni.). A kútfejen 2 colos csatlakozó volt, a termeléshez erre kapcsolódtunk rá egy tömlővel, melyhez külön csatlakozót kellett gyártani. A méréssorozat alatt membrános gázórát vagy turbinás gázórát alkalmaztunk — a korábbi gázvizsgálatok eredményeit figyelembe véve — a várható gázhozamtól függően. A gázmintavételeknél a 3.8. ábrán is látható zöld tartályunkat használtuk gázleválasztásra. A kútvizsgálatoknál azonban egyszerűbb volt az Árpád-Agrár tartályos pótkocsiját használni. A mintákat a Vízkutató Vízkémia Kft. akkreditált laboratóriuma elemezte. A gázvizsgálati eredményeket a korábban kiadott, kutankénti hévízjelentés tartalmazza. (A termelt víz kémiai analíziséről korábbi adatok álltak rendelkezésre.)

Hozammérés

A kutakból kitermelt víz hozamát minden esetben egy szeparáló tartály után mértük. A tartályból gravitációsan folyt ki a víz a telepített kifolyócsövön és a vízóránkon keresztül, amit adatgyűjtőhöz csatlakoztattunk. A folyamatosan regisztrált adatok digitális adatgyűjtőn tárolhatók, amelynek nagy előnye, hogy időzíthetők. Ezen funkciójának köszönhetően, már az előzetes termeltetés alatt is regisztrálva lett a fajlagos hozam.

A forró, magas sótartalmú víz az Árpád-Agrár Zrt. által biztosított tartályba gravitációsan folyt ki, melyet átemelő szivattyúk sajtoltak vissza a hálózatba. Ezzel a mérések alatt is megvalósult a környezetvédelmi hatóságok által előírt zárt rendszer.

Kifolyó víz hőmérséklet mérése

A szeparátor tartályt és a vízhozammérőt követően az egyik csőtagba egy Pt100 típusú hőmérő került beépítésre (3.8. ábra). A vízőrat és a hőmérőt is tartalmazó csőszakasz mindig az aktuálisan alkalmazott szeparátortartályra lett szerelve. A detektor által szolgáltatott adatokat a LogBox adatgyűjtő regisztrálta.



3.8. ábra Hozammérés gázszeperálást követően, előtérben a visszatápláláshoz szükséges szivattyúval

3.3. Mélységi mérés

Ezeket a mérések nem a felszínen kiépített eszközparkkal, hanem a kútba kábelben beleengedett különféle műszerekkel folyt. Ide sorolhatók a leengedett szonda mozgatásával járó, mélység alapú karotázsmérés, a kútszerkezet ellenőrzése vagy, például, az áramlási profil meghatározása volt a cél. A másik mérési típusnál egy adott mélységpontban áll a szonda az időben bekövetkező változások követéséhez.

Az alábbi vizsgálat típusok tartoztak ide:

- 1.) Kútszerkezet ellenőrzés: természetes gamma, hőmérséklet és átmérőszelvények
- 2.) Áramlási profil: áramlás, hőmérséklet, iszapellenállás és átlátszóság
- 3.) Nyomás gradiens-szelvény
- 4.) Mélységi nyomás és hőmérséklet idősorok

3.3.1. Kútszerkezet ellenőrzés

Ez a méréstípus egy kombinált szondával húzott természetes gamma, átmérő és hőmérsékletszelvényezést jelentett a lezárt kútban.

Meghatározott adatok:

- járható talpmélység,
- csövezési átmérők,
- rakatváltások,
- tömszelencék helye és zárása,
- megnyitott szakaszok helye,
- valamint a gyűrűstér cementezés minősége.

A kutak a szénhidrogén kutak létesítési technikájával — utólagos robbantásos perforációval — készültek, ezért a megnyitott szakaszok a klasszikus akusztikus hullámkép-méréssel nem mutathatók ki. A megnyitott szakaszok helyett így csak az aktív szakaszok lettek mérve a tényleges vízmozgások meghatározásával.

A természetes gamma csatorna lehetőséget adott a harántolt rétegsor ellenőrzésére (permeábilis-impermeábilis szakaszok elkülönítése), így a megnyitott szakaszok vízadásra alkalmasságának ellenőrzésére, továbbá az eltakart csősaruk (dupla, tripla csövek) helyének meghatározására. A lezárt kútban végzett hőmérséklet mérések segítségével egyrészt meghatározhatóvá vált a talphőmérsékletet, a folyamatos hőmérséklet szelvény segítségével a tömszelencék, illetve a megnyitott szakaszok közti átfejtődések.

3.3.2. Áramlási profil

A méréseket az FTRmOP kombinált szondával folyt (áramlás-, hőmérséklet-, folyadékellenállás-, optikai átlátszóság- és nyomásmérő szonda). A szonda kétféle üzemmódban használható, alap üzemmódban áramlást, hőmérsékletet, iszapellenállást és optikai átlátszóságot; a másik üzemmódban pedig nyomást és hőmérsékletet mér, így a mérések hatékonyan — a szonda ki/be építése nélkül — végezhetőek el. A szondával folyamatos mélység-, illetve időalapú mérések végezhetőek. A mélységalapú esetben a szonda a kútban mozogva 10 cm-es mintavételezési közzel regisztrálja az adatokat, ezen a módon a nyomásgradiens-, és a szűrők aktív szakaszait meghatározó áramlásmérések készülnek.

Az áramlásmérés célja a termelési profil (a megnyitott szakaszoknál a termelés helyének és mértékének) megállapítása, a kútban az áramló folyadék sebességének és irányának meghatározása révén. Az így kapott szűrőnkénti hozammegoszlás megmutatja, melyek termelnek az eredetileg megnyitott rétegekből. Az öregebb kutaknál kialakulhatnak nem tervezett beáramlási pontok is (tömszelence, átrozsdásodott csövek). Az iszapellenállás és az átlátszóság szelvények kiegészítő, indikátor szerepben tovább pontosítják a beáramlási pontokat, illetve az esetleges homokolás kimutatására is használhatók.

A termelés közben felvett hőmérséklet-szelvények elsődlegesen annak megállapítására használhatók, hogy az egyes aktív szűrők után hogyan alakul a kitermelt víz hőmérséklete. A vízbelépési helyeket is igen pontosan jelzik, mivel a különböző mélységű rétegek eltérő hőmérsékletű vizet szolgáltatnak. Ez különösen hasznos volt a kútvizsgálatok során, mert a perforációval megnyitott szűrőszakaszok határai gyakran nem voltak kellően élesek az áramlási profilon, illetve jelentősen eltértek a közölt kútadatoktól.

3.3.3. Nyomásgradiens

A nyomásgradiens-szelvények termelés közben a kút felső 500-600 méteres szakaszán mozogtak. A felvett nyomásszelvényből kiszámolt gradiens arányos a közeg sűrűségével, feladata a buborékpont kimutatása. A felemelkedő vízből a nyomás csökkenésével egy adott ponton kiválik az oldott gáztartalma, azaz buborékok jelennek meg a vízben. A buborékkiválás lecsökkenti a sűrűséget, ami mért értékek leeséseként jelenik meg. A nyomás hiteles méréséhez a detektorok által mért adatokat korrigálni kell a hőmérséklettel, ezért e mérés közben kell egy hőmérsékletgörbe is.

3.3.4. Mélységi időalapú nyomás- és hőmérsékletmérések

A felszín közeli zavaró hatások (gázkiválás, hőmérséklet csökkenés) miatt a kapacitás- és visszatöltődés-mérések során mélységi nyomásméréseket is kell végezni. A szondát ilyenkor a legfelső szűrő fölé 50-100 m-rel engedték le. Ennyire közel a vízadó réteghez még nem lép fel

gázkiválás, és a hőtágulásból származó jelenségek is elhanyagolhatóan kicsik. Mindegy mennyit tágul vagy zsugorodik a detektor feletti vízoszlop, a tömege és így a nyomás nem változik. A mélységi nyomás mérésére két eszközünk van. Az egyedi kútvizsgálatoknál a fentebb ismertetett FTRMOP típusú karotázs szonda használatos. Ez a karotázs kábelén át üzemelő nyomás-, és hőmérsékletmérő-szonda valós időben küldi fel a mérési adatokat. Mind a 20 kútban ezzel az eszközzel folyt a kapacitás- és visszatöltődés tesztek mélységi nyomás- és hőmérsékletmérése. A visszatöltődést — lehetőség szerint — az éjszakai órákra esett, így 6-8 órát lehetett regisztrálni. Ezek az idők a nagy hőmérsékletű és hozamú hévízkutak esetében nem elegendőek a hőmérsékletek és emiatt a nyomásszintek tökéletes beállításához, de az így kapott adatok általában alkalmasak megbízható dinamikai paraméterek számításához.

A másik nyomásmérő műszer a Leuter típusú önálló eszköz, ami alapvetően csak abban különbözik egy Levelogger-től, hogy kibírja és akár hónapokon keresztül meg is méri a lenti igen magas hőmérsékletet és nyomást (tartós kútvizsgálat). Továbbá közvetlenül nyomásértékeket ad, bár a légnyomás korrekciójára itt is mód van.

3.4. A mérések szervezése

Az Árpád-Agrár Zrt.-nél sokrétű mezőgazdasági tevékenység folyik, ezért a méréseket össze kellett hangolni a fűtési igényekkel. A fűtési szezonban nem lehetett kútszerkezeti vagy hidrodinamikai vizsgálatokat végezni, mert egy kút előkészítése és átszerelése a méréshez és maga a mérés körülbelül 5 munkanapot vett igénybe. A kutakat az általam megadott sorrendben vizsgáltuk, ezt a sorrendet a fűtési szükségletek, a kutak területi elhelyezkedése, és megközelíthetősége, illetve az időjárási körülmények befolyásolták. A munkához a Tatra mérőberendezés lett kitelepítve (az Árpád Agrár Zrt. telephelyére), a berendezés a mérési szezonban végig Szentés-Szegvár területen volt.

A minél pontosabb mérési eredmények az egyes vizsgálatoknál eltérő kútállapotokat igényeltek. A természetes réteghőmérséklethez a lehető legközelebbi hőmérsékletszelvény érdekében a kútszerkezet-vizsgálatokat hosszabb állásidő után volt célszerű mérni, az áramlási viszonyokat ellenben bemelegített kútban. A vizsgálat előtt a kutakat 20 órán keresztül üzemeltettük.

A mélységi mérések nyáron vagy ősszel folytak, hogy a fűtést a legkevésbé befolyásolják. A kialakult metodikában először megbontottuk a kútfejet és kiépítettük a szivattyút, hogy a szondákkal végig tudjuk mérni a teljes kútszerkezetet. Az ekkora már legalább néhány hónapja lezárt kútban folytak a kútszerkezet vizsgálatok. A kútszerkezet ellenőrzése után a termelés időszakában folytak a további mérések. Kiépítésre került a termelt vizet a hálózatba visszatápláló berendezés, a villamos energia szükségletét ellátó rendszer, majd néhány napos bemelegítő termelés folyt. A bemelegítés után végzett kútvizsgálati mérések:

- áramlási profil,
- nyomásgradiens,
- kapacitás,
- visszatöltődés.

A mérések előrehaladást és a mérési körülményeket a terepi jegyzőkönyvekbe rögzítettük, melyeket az észlelőkkel a mérés sorozat teljes ideje alatt, kutanként vezettünk. A mérés során az egyedi kutak vizsgálatára a következő „menetrend” alakult ki:

- Szivattyú kiépítése
- Statikus vizsgálatok, kútszerkezet vizsgálat
- Kút átépítése a kompresszoros termeltetéshez, lubrikátor felépítése
- Vízmérőrendszer összeszerelése, szivattyús visszatápláló egység felépítése

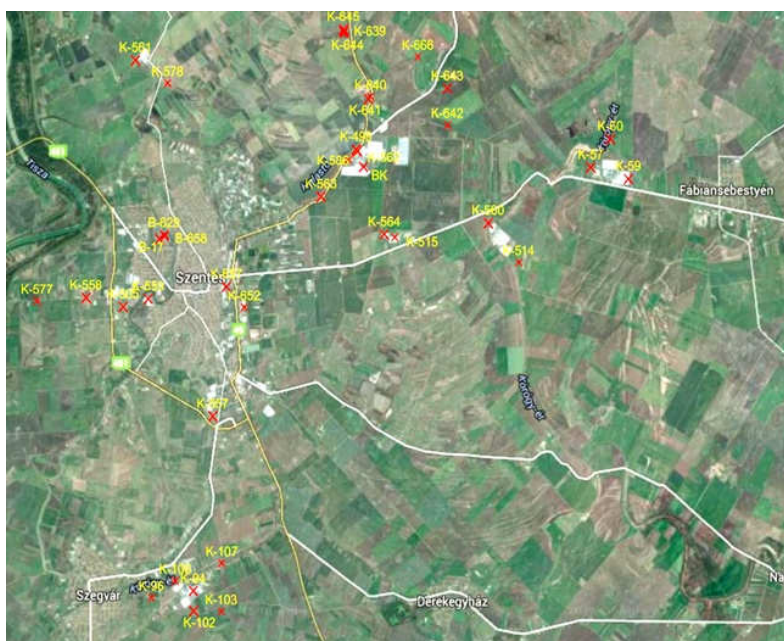
- Kompresszor beépítés
- Előzetes termeltetés (24-48 óra)
- Dinamikus vizsgálatok:
 - Áramlásmérés
 - Nyomásgradiens-szelvényezés
 - Nyomás visszaalakulás (visszatöltődés) mérés
 - Kapacitás lépcsők

A méréseket minden esetben digitálisan rögzítettük, ezért a mérést követően az adatsorokat az észlelő azonnal fel tudta tölteni a Geo-Log Kft. FTP tárhelyére, így azok letöltésével a feldolgozást már a mérés napján megkezdődhetett. A kiértékelő a Geo-Log Kft. irodájában — az adatsort mélység-, illetve időhelyesen beolvasva — megkezdte a szelvények összerajzolását, majd kiértékelését.

3.5. A vizsgált terület földtani, vízföldtani viszonyai, adottságok, rétegek jellemzői

3.5.1. Földtani jellemzők

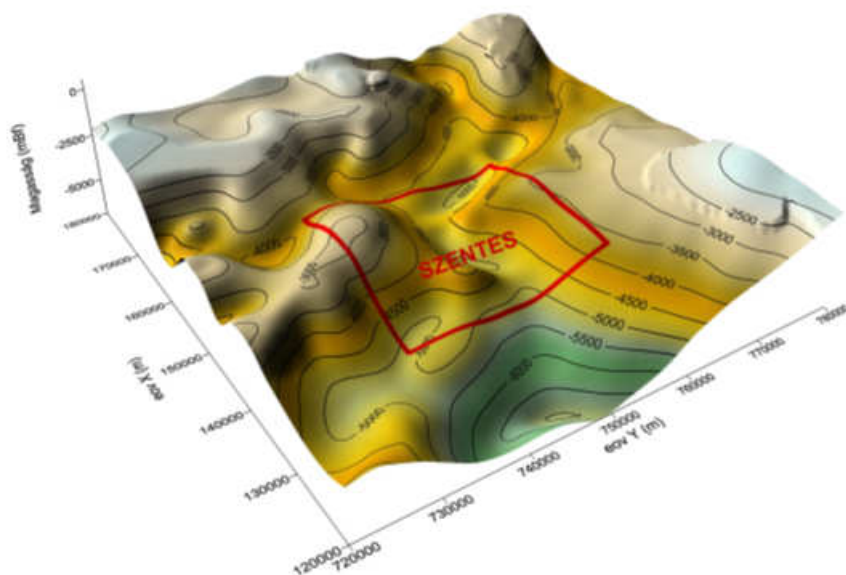
A tanulmányozott terület Szentes és Szegvár térségében, az Alföld déli részén, a Tisza-folyó bal partján található, mintegy 81-85 mBf. magasságú térszínen (3.9. ábra). A terület földtani felépítését az Alföldre jellemző üledékképződés jellegzetességei határozzák meg.



3.9. ábra A tanulmányozott terület, Szentes elhelyezkedése (Szanyi, 2015)

3.5.2. Szerkezetföldtani elhelyezkedés

A vizsgált terület a Makói-árokknak nevezett szerkezetföldtani egység É-i kiemelődő részéhez tartozik, az Alföld medencealjzata itt 3000-5000 m mélységre tehető. Az aljzat fekvésintjének térképe a tágabb térségben a 3.10. ábrán látható.



3.10.ábra Szentes környéki medencealjzat fektérképe (Szanyi, 2015)

3.5.3. Üledékképződés

A medence süllyedése eltérő sebességgel zajlott le az időben: a miocénben indult meg, ekkor jellemzően márgás, aleuritos üledékek halmozódtak fel a medencében. A süllyedés legintenzívebb szakasza azonban a pannóniai időszakban következett be, ennek következményeként a miocénre települő üledékek összes vastagsága meghaladja a 4000 m-t, amelyek a Pannon-tengerbeli üledék-felhalmozódás eredményei. A felső-pannóniai korú homok-homokkőrétegek felső 300-400 m vastagságú része alapvetően laza homokrétegeket tartalmaz. Míg a mélyebb rétegek homokkőves kifejlődésűek. A felső pannóniai összlet alsó határa a területen 2000 – 2500 m mélység közé esik, Szentestől Szegvár felé mélyülő tendenciát mutatva (3.11 ábra). A felsőpannon üledékekre a levanteinek nevezett finomabb üledék összlet települ, amelyet pleisztocén üledékek borítanak.

A felső-pliocén rétegek fedőjéből üledék folytonossággal fejlődik ki a pleisztocén folyóvízi összlet, amely 400-600 m vastagságban található a területen. Az alsó és középső pleisztocénben durva és középszemcsés hordalékok képződtek. A felső-pleisztocén üledékképződésre a finomszemcsés rétegek túlsúlya a jellemző, előtérbe kerültek az agyagos-iszapos üledékek. Vízföldtani jellemzők

Vízföldtani szempontból Szegvár térségében három fontosabb vízadó rétegcsoportot különíthetünk el. Az első a vastag negyedidőszaki folyóvízi összlet, amelynek homokos, helyenként kavicsos rétegei adják az ország ivóvízkészletének jelentős részét is. A területen az alsó-középső pleisztocén 500-550 m mélységű homokrétegeiből már langyos hévíz is nyerhető.

A hordalékot alkotó homokrétegek jó víztartóak, a homok aránya meghaladja az 50 %-ot, az átteresztőképességük 1500 mD. A második vízadó szintet a levantei üledékek adják, ahol viszont kevesebb a homokrétegek aránya (30-40 %) és azok átteresztőképessége is kisebb (500 mD). A finomszemcsés, aleurolit és agyagmárga csak vékonyabb rétegekben jelenik meg, ez jelzi, hogy az üledékbehordás és a lerakódás üteme gyors volt, ezért a deltafrontot és a deltasíkságot nem lehet elkülöníteni egymástól, egy litofácies egységbe sorolhatók csak be.

3.5.4. A megnyitott rétegek

A vizsgált terület környezetében az Újfalui Formáció homokkő rétegeit három (többé kevésbé elkülöníthető) mélységtartományban nyitották meg (3.11. ábra).

- A szint: 1500-1800m-ig szűrőzött rétegek
- B szint: 1800-2000m-ig szűrőzött rétegek
- C szint: 2000m alatt szűrőzött rétegek

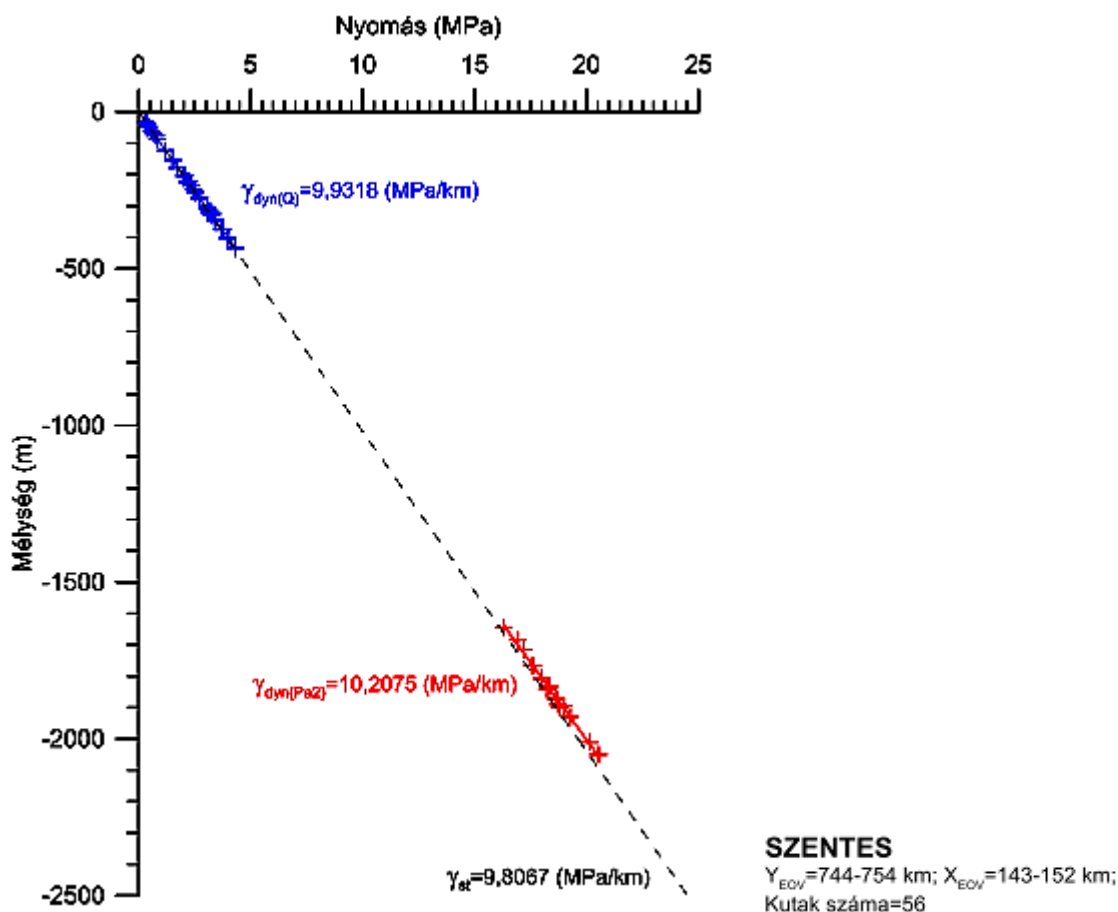


3.11. ábra A szegvári megnyitott rétegek (SZ = Szegvár)

A kutak utólagos perforációjakor igyekeztek az egymás mellett levő kutak esetében különböző mélységtartományban megnyitni a rétegeket, például a Szentes VII kútcsoport esetében (3 db kút), 3 különböző mélységtartomány víztároló rétegeit csapolják meg a kutak. Az Árpád-Agrár Zrt. kútjai mindhárom szintet megcsapolják. A jól vezető homokrétegek permeabilitása 1000-2000 mD között változik, a homok aránya 25-30 %.

3.5.5. Vízzintadatok

A vizsgált terület nyomásviszonyait az jellemzi, hogy mind a negyedidőszaki képződményekben, mind a felső-pannóniai összletben nagyobb a nyomás a hidrosztatikusnál, a vizsgált terület tehát a kiáramlási zónába tartozik. Az 3.14. ábrán a Szentes környéki kutak létesítéskori vízzintadatai láthatóak a mélység függvényében, ami alapján megállapítható, hogy a negyedidőszaki képződményekben 0,13 MPa-lal, míg a felső pannóniai összlet alján 0,44 MPa-lal nagyobb a nyomás a hidrosztatikusnál. Azaz természetes állapotban a mélység növekedésével egyre nagyobb nyomást kapunk, a felszín közelében hidrosztatikus a nyomás, míg a felső pannon alján a hidrosztatikus nyomást hozzávetőleg 40 m-rel meghaladja a potenciometrikus szint.



3.12. ábra Nyomás és mélység adatok a szentesi kutaknál

A vízádókban a szivárgás iránya szakirodalmi adatok alapján K – Ny -i, ami a Maros hordalékkúp felől érkező utánpótlódásnak köszönhető, amelyet az Altnóder-Liebe féle rétegvízszint-térkép is alátámaszt. A pleisztocén és pannon fekéjében is ugyanez az irányítottság figyelhető meg.

A vizsgált kutak környezetének regionális hidrodinamikai jellemzőit a Nemzeti Technológiai Program (No. TECH. 08 A4 DA THERM) keretében 2009-2011 között, a Geo-Log Kft.-vel együttműködésben elvégzett komplex kútvizsgálati mérések alapján lettek meghatározva. A 3 fő rétegcsoport adatainak méréseihez az Árpád-VII kútcsoport 3 kútján (K-644, K-639, K-645) végzett egymásra hatás vizsgálat valamint kapacitás vizsgálat és visszatöltődés mérés volt a legalkalmasabb. Az egymásra hatás tesztsorozat lényege a termelőkút ciklikus termeltetése közbeni észlelés a figyelő kutakban. 12 óra termeltetést 6 óra leállás követett.

3.1. táblázat A kiértékelés alapján a felső rétegcsoport (A szint) vízföldtani paramétereit

Jelölés és megnevezés	Vízföldtani paraméterek
Q_{ii} – a leállítást megelőző vízhozam	1131,8 m ³ /d
s – depresszió	4,74 m
q – fajlagos vízhozam	239 m ³ /d/m
k – permeabilitás	5638 · 10 ⁻³ μm ²

K – szivárgási tényező	13,0 m/d
T – transzmisszivitás	701 m ² /d
S – tárolási tényező	99,5 · 10 ⁻⁶
n ₀ – porozitás	0,25
a – piezovezetőképesség	7,05 · 10 ⁶ m ² /d

3.2. táblázat A kiértékelés alapján a felső rétegcsoporthoz (B szint) vízföldtani paramétereit

Jelölés és megnevezés	Vízföldtani paraméterek
Q _ü – a leállítást megelőző vízhozam	1307,5 m ³ /d
s – depresszió	10,2 m
q – fajlagos vízhozam	128 m ³ /d/m
k – permeabilitás	566 · 10 ⁻³ μm ²
K – szivárgási tényező	1,71 m/d
T – transzmisszivitás	104 m ² /d
S – tárolási tényező	113 · 10 ⁻⁶
n ₀ – porozitás	0,21
a – piezovezetőképesség	0,922 · 10 ⁶ m ² /d

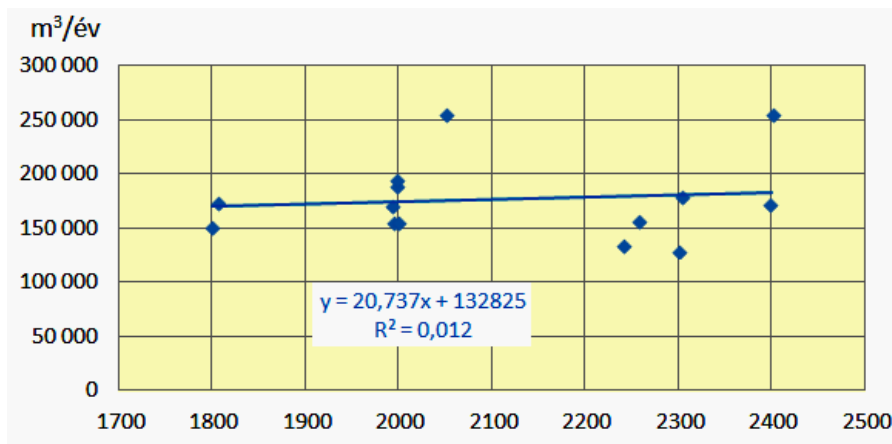
3.3. táblázat A kiértékelés alapján a felső rétegcsoporthoz (C szint) vízföldtani paramétereit

Jelölés és megnevezés	Vízföldtani paraméterek
Q _ü – a leállítást megelőző vízhozam	1375,2 m ³ /d
s – depresszió	19,7 m
q – fajlagos vízhozam	69,8 m ³ /d/m
k – permeabilitás	340 · 10 ⁻³ μm ²
K – szivárgási tényező	1,22 m/d
T – transzmisszivitás	99,8 m ² /d
S – tárolási tényező	154 · 10 ⁻⁶
n ₀ – porozitás	0,2
a – piezovezetőképesség	0,647 · 10 ⁶ m ² /d

3.4. táblázat A Szentlászlói területhez tartozó kutak 3 kútcsoportja

Kútcsoport neve	Kontingens m ³ /év	Megnevezés	Létesítés éve	Mélység m	Szűrőzés m	Hőm. °C	Hozam m ³ /év
I. kútcsoport	654 464	I. kút	1964	1995	1800-1975	85	154 860
		II. kút	1970	1800	1640-1793	82	150 850
		III. kút	1970	1992	1678-1936	78	170 150
		IV. kút	1972	2303	2060-2235	96	178 604
II. kútcsoport	305 600	V/1. kút	1979	2240	2040-2210	94	134 800
		V/2. kút	1979	2000	1785-1993	84	155 100
		VI/1. kút	1978	2398	2046-2255	97	172 500
		VI/2. kút	1978	1998	1694-1989	86	189 000
		VII/1. kút	1979	2257	2053-2205	96	156 900
		VII/2. kút	1979	1806	1534-1754	76	174 300
		VII/3. kút	1980	1998	1800-1998	80	194 100
		VIII. kút	1988	2300	2004-2143	90	128 900
III. kút-csoport	512 000	AL/1. kút	1969	2050	1801-2019	85	256 000
		AL/2. kút	1971	2401	2135-2401	94	256 000

Az összehasonlítás szerint a kutak mélysége és az éves hozama között nincs összefüggés, tekintve, hogy a kitermelés sem volt egységes az év folyamán (3.13. ábra).

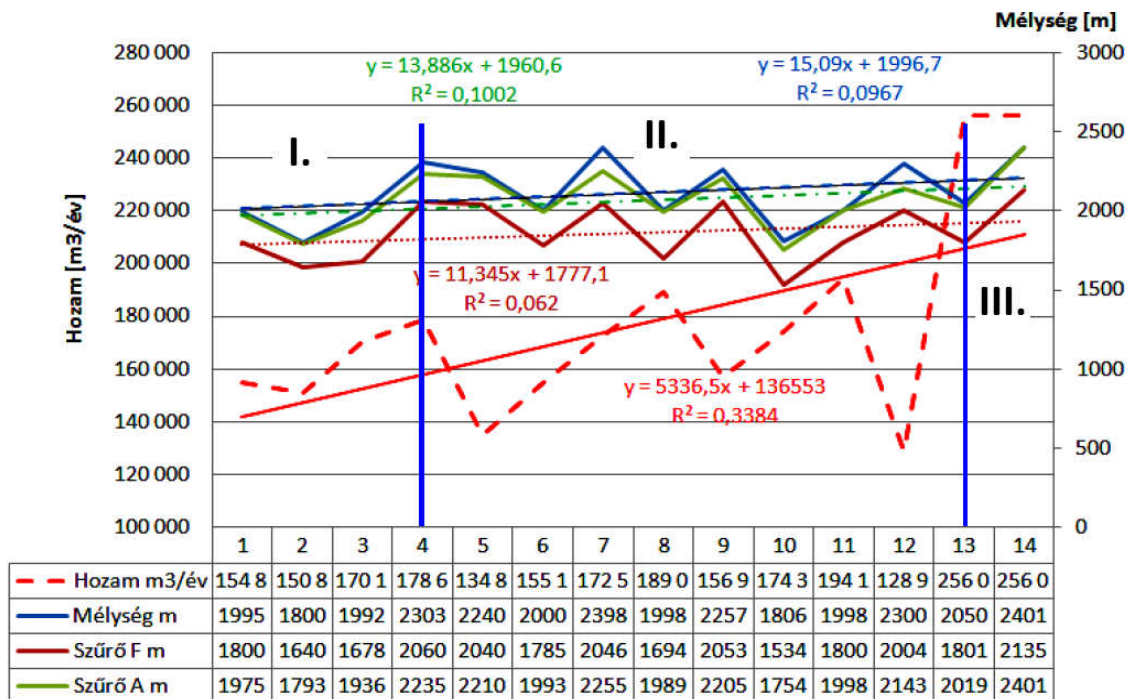


3.13. ábra Nincs összefüggés a kutak mélysége és hozama között ($R^2=0,09$)

3.5. táblázat A kutak átlagmélysége és hozama

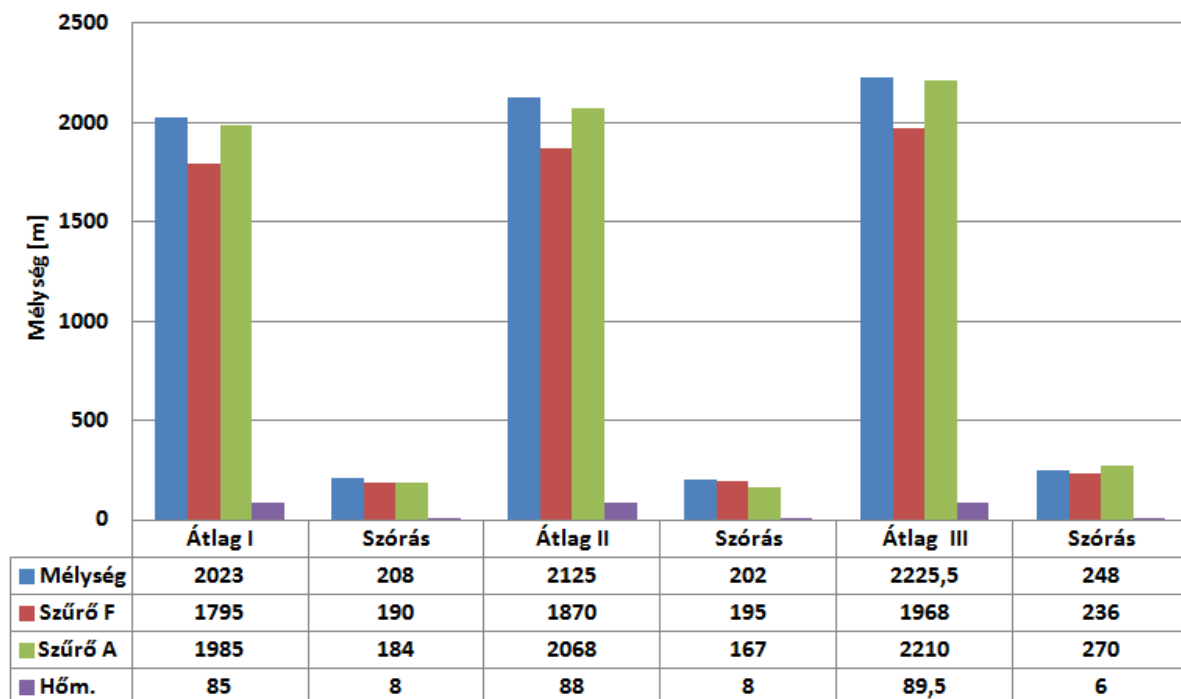
	Mélység	Hozam
	m	m ³ /év
Átlag	2119	178246
Szórás	203	38376

Míg a mélység szórása~10%-os eltérést mutat, a területhez tartozó energia felhasználó helyek energia igénye a termeléstől függően változik és az átlagok szórása~20%-os. De az egyes csoportoknál sincs szoros korreláció. A szűrőzési mélység kevésbé, inkább a hozam és a mélység mutatott szorosabb korrelációt.



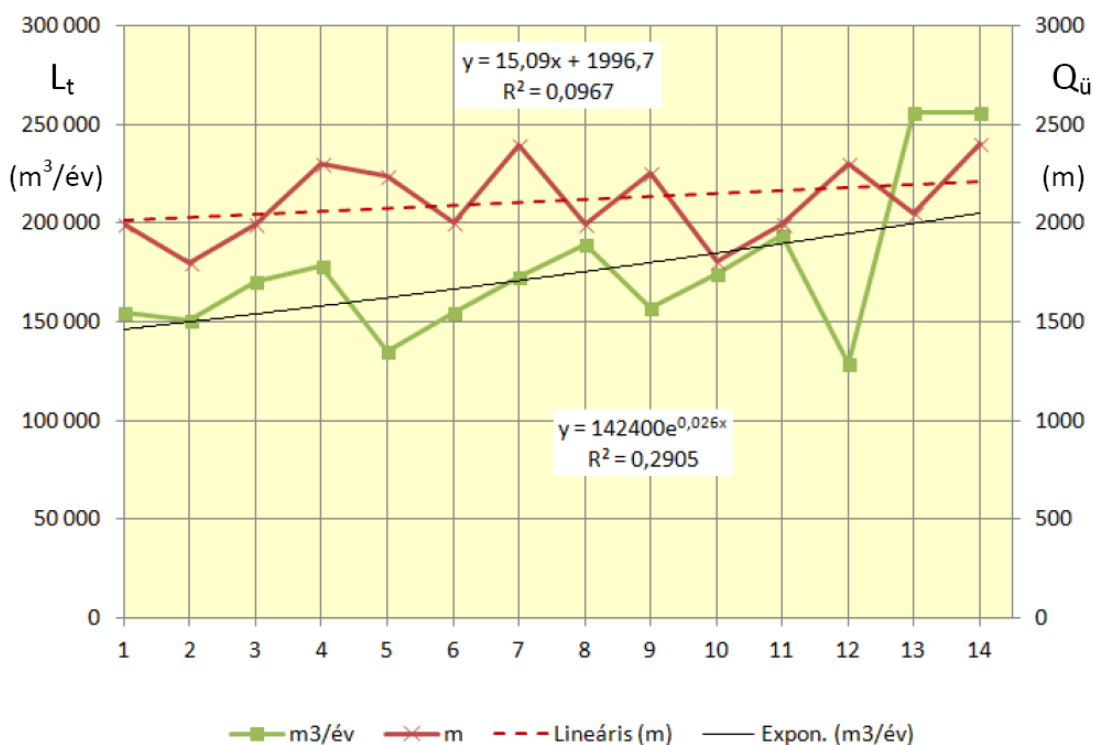
3.14. ábra Az egyes csoportoknál sincs szoros korreláció

A Szentlászlói területhez tartozó kutak 3 kútcsoportja a talpmélység és a szűrőzések felső és alsó értéke hasonló trendet mutat, de a III. csoport mélyebb kutjai is csupán $\sim 2,0^{\circ}\text{C}$ -al adnak magasabb hőfokú vizet, ami a termelő rétegek közötti összefüggésre utal (3.15. ábra).



3.15. ábra A három csoport konkrét értékei

Külön kiemelve a talpmélység és a különböző, de az előzőek szerint egymással összefüggő kutak hozama a talpmélység növekedésével statisztikailag nő.

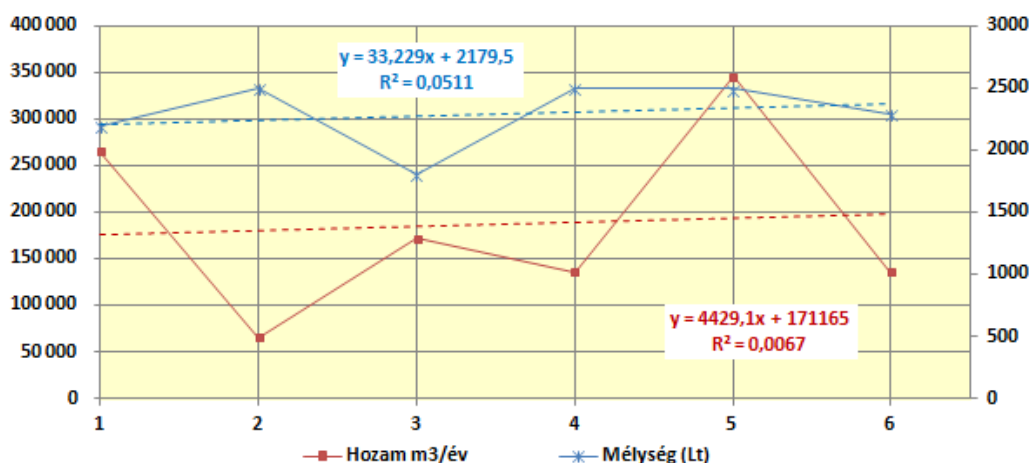


3.16. ábra A kutak mélysége (L_t) és hozama (Q_{ii}) közötti összefüggés (Szentlászló)

A Szegvári területhez tartozó kutak a Szentesi Árpád-Agrár Zrt. IV. kútcsoportjába tartoznak az alábbiak szerint:

3.6. táblázat A Szegvári területhez tartozó kutak csoportja

Kútcsoport neve	Kontingens m ³ /év	Megnevezés	Létesítés éve	Mélység m	Szűrőzés m	Hőm. °C	Hozam m ³ /év
IV. kútcsoport	1 120 000	Szegvár I.	1968	2193	1810-2154	80	265 490
		Szegvár II.	1970	2500	2046-2497	91	65 710
		Szegvár III.	1978	1800	1663-1767	67	171 800
		Szegvár IV.	1981	2500	1999-2443	90	135 700
		Szegvár V.	1988	2491	2007-2477	92	345 400
		Szegvár VI.	1992	2291	1880-2195	92	135 900



3.17. ábra A kutak mélysége és éves hozama (szegvári, szentesi kutak)

3.7. táblázat A kutak átlagmélysége, hozama és hőmérséklete

	Mélység	Hozam	Hőm.
	m	m ³ /év	°C
Átlag	2 296	186 667	85
Szórás	275	101426	10

Amint az ábra is szemlélteti a hat szegvári kút mélysége, és éves hozama a kutak átlagában közel azonos tendenciát mutat, ami a vízadó rétegek összefüggésére utal. A nyert víz átlag hőfoka 85 °C, a szórása $\sigma=10^{\circ}\text{C}$ volt.

4. EREDMÉNYEK

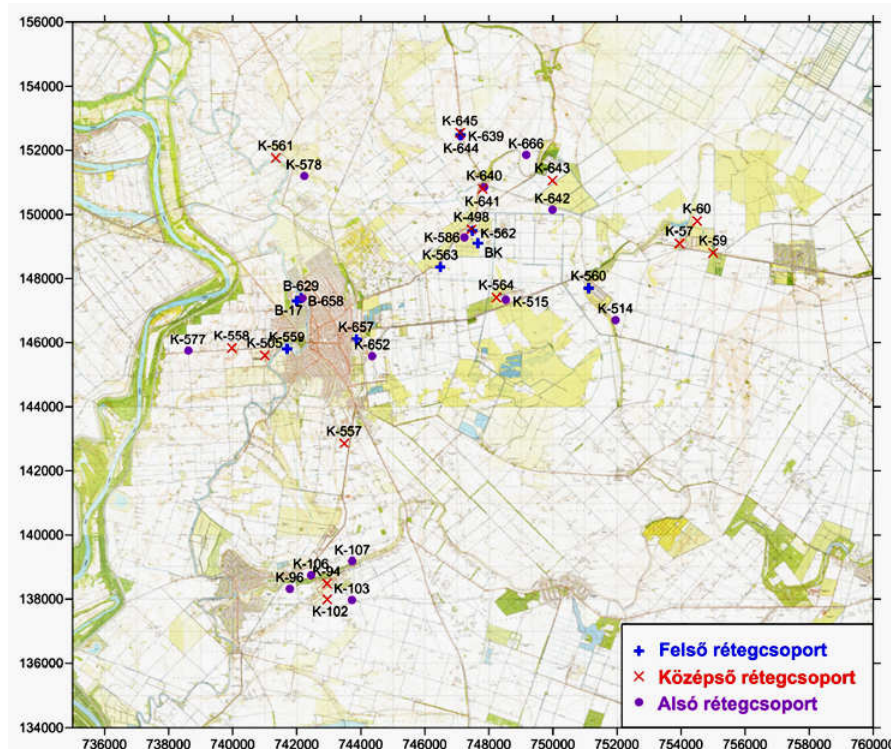
Ebben a fejezetben mutatom be a kutatás során elért új tudományos eredményeket és eljárásokat, amelyek a termálvíz hőjének ésszerű és okszerű felhasználásához, valamint a kitermelés fenntarthatóságához elengedhetetlenek.

4.1. A rétegek közötti vízcserre összefüggéseinek meghatározása

A Szentes tágabb térségében jelenleg 51 db hévízkút található, ebből a tárgyi területre vonatkozóan 38 üzemelő kutat vettünk figyelembe a modellezés során (4.1. ábra). Ezen kutak létesítéskori adatait a 4.1. táblázat tartalmazza.

Ahogy már említettük az Újfalui Formáció összetételt homokkő, aleurolit és agyagmárga rétegek alkotják homokkő rétegek túlsúlyával. Jellemzően mederkitöltő és torkolati zátony üledékek dominálnak, melyek jó tároló tulajdonsággal és korlátozott vízszintes kiterjedéssel bírnak, azonban a sokszoros folyóbevagódás és egymásra rétegzés miatt hidrodinamikai kapcsolatban állnak egymással. Ezért 5-25 m-es jól vezető homokos rétegek váltakoznak rosszul vezető agyagos-aleuritós képződményekkel, ahogy a Szentes térségében készült karotázs szelvények is mutatják.

A felső pannóniai képződményekben a kutak hozama 900-2500 l/perc között változik. A nyugalmi nyomások a kutak létesítése után, a termelés megkezdésekor pozitívak voltak.

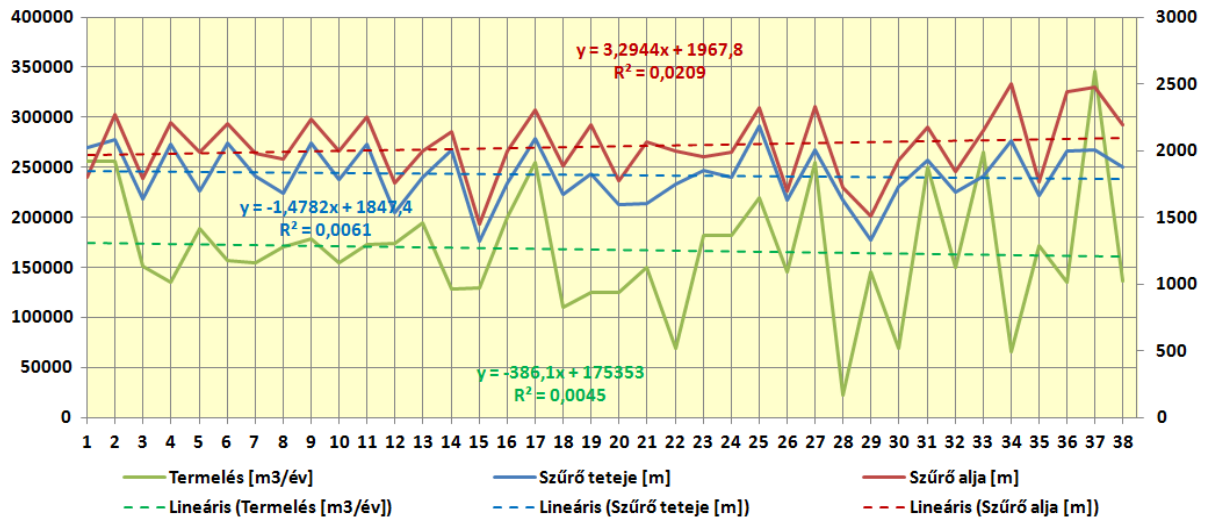


4.1. ábra Szentes térségében található hévízkutak helyei és jelei

4.1. táblázat Szentes térségében található hévízkutak létesítéskori adatai

(Az Árpád-Agrár Zrt. kertészeti telepein lévő kutak vastagítva, kiemelve)

Száma	EOV Y [m]	EOV X [m]	Talp [m]	Szűrő teteje [m]	Szűrő alja [m]	Termelés [m ³ /év]	Modell réteg
1	741347	151764	2025	2025	1801	256000	17, 19
2	742231	151198	2401	2083	2266	256000	21
3	747489	149493	1798,5	1640	1793	150850	11, 13, 15
4	747855	150857	2239,5	2046,5	2209,3	134800	21
5	749982	151063	1998	1694	1989	189000	15, 17, 19
6	747112	152442	2257	2053	2205	156900	21
7	747458	149539	1995	1809	1983	154860	15, 17, 19
8	746484	148355	1992,5	1678	1936	170150	13, 15, 17
9	747234	149283	2303	2060	2235	178604	21
10	747800	150800	2000	1785,5	1993	155100	15, 17, 19
11	749981	150148	2398	2046	2255,5	172500	21
12	747111	152480	1806	1534	1755	174300	11, 13, 15
13	747101	152539	1999	1800,5	1998,7	194100	15, 17, 19
14	749166	151854	2893	2004	2143	128900	21
15	747655	149100	1450	1320	1450	130000	9
16	743485	142855	2000,5	1755	1995	200000	15, 17, 19
17	742169	147389	2344,7	2093,7	2300,7	255000	21
18	743863	146106	1997	1674,5	1885,5	110000	13, 15, 17
19	751957	146712	2199	1829	2192	125000	17, 19, 21
20	751114	147698	1815	1593	1776	125000	11, 13, 15
21	754500	149800	2190	1603	2065	150000	15, 17, 19
22	755000	148800	2001	1751	1994	69100	15, 17, 19
23	741000	145600	2004	1850	1952	182500	17, 19
24	739973	145828	2001	1803	1984	182500	15, 17, 19
25	738612	145745	2500	2187	2323	219000	21
26	741695	145797	1796	1631	1699,5	146000	11, 13
27	744358	145584	2346	2006	2329	255000	21
28	742000	147300	1725	1633	1720	22000	11, 13
29	742136	147388	1593	1329	1510,18	145000	9
30	753956	149091	2004	1736	1929	69133	15, 17, 19
31	748528	147342	2203	1928	2172	250000	19, 21
32	748239	147413	1900	1690	1843	150000	13, 15, 17
33	742941	138481	2193	1810	2154	265490	15, 17, 19
34	741786	138317	2500	2076	2497	65710	17, 19, 21
35	742950	137988	1800	1663	1767	171800	11, 13
36	743720	137972	2500	1999	2443	135700	17, 19, 21
37	742446	138743	2496	2007,75	2477,89	345400	17, 19, 21
38	743737	139182	2291	1880	2195	135900	15, 17, 19
Átlag			2104	1819	2032	167824	
Szórás			291	211	253	63808	



4.2. ábra Szentes térségében található hévízkutak termelési és szűrőzési összefüggései

A szűrőzések átlagos mélysége ~200 m eltérést mutat az egyes kutak között, de hasonló az alsó - és a felső szűrők szórási értéke is. A trend az évi termelésnél is hasonló lefutású, viszont az egyes kutaknál igen jelentős az eltérés az energiaigény volumene, ill. az esetleges meghibásodások okozta termeléskiesések miatt (4.2 táblázat).

4.2. táblázat A 38 db területen lévő kút jellemző adatainak átlagai és eltérései

	Szűrőzés teteje [m]	Szűrőzés alja [m]	Termelés [m ³ /év]
Átlag	1 819	2 032	167 824
Szórás	211	253	63 808

Fontosabb adatok a részletesebben vizsgált termálkúton

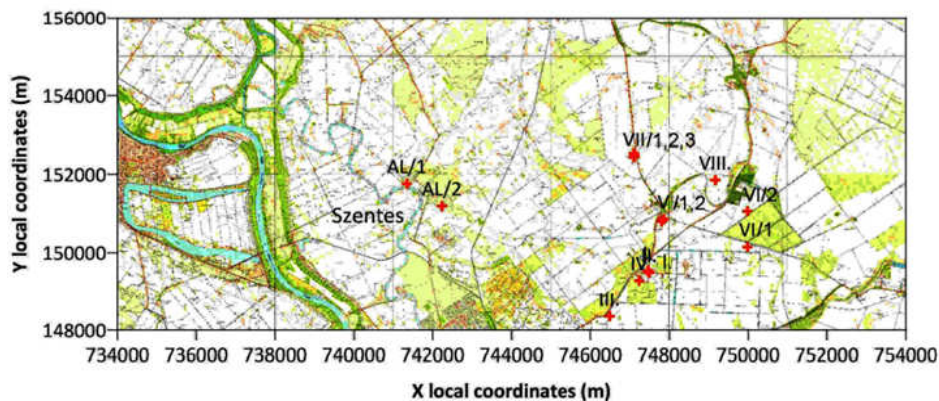
A közreműködéssel az Árpád-Agrár Zrt-ben a Jedlik projekt keretében. 2009-2012. évben a Geo-Log Kft. szakembereivel 14 db szentesi és 6 db szegvári hévízkútban komplex geofizikai, kútszerkezeti, hidrodinamikai és gázanalitikai vizsgálatok, valamint tartós kút egymásra hatás vizsgálatok folytak.

Irányított kitermelési körülmények között dinamikus vízkészlet-modellezés folyt, homokkőbe történő visszasajtolás megvalósíthatósága céljából.

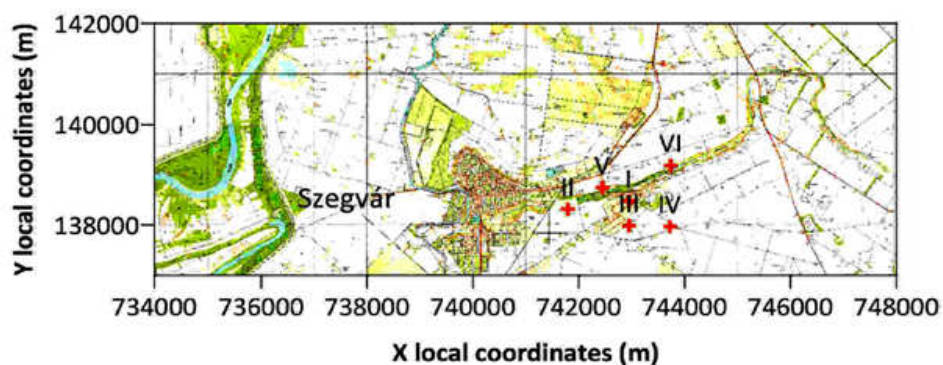
E kutatást a Nemzeti Technológiai Program támogatta. Az értékelésben a két cég szakemberei és a Szegedi Tudományegyetem kutatói is részt vettek.

Cél volt a használt termálvíz homokkőbe történő visszasajtolás technológiai adaptálhatóságának kidolgozása, a felső-pannon hévíztárolók közettani, hidrodinamikai és hőtranszport tulajdonságainak megfelelően. Valamint a Dél-alföldi régió porózus közetteteiben található (túlnyomórészt felső-pannon) hévíztárolók hidrodinamikai és termodinamikai paramétereinek meghatározása és hévízföldtani modellezése — a legfrissebb geológiai-geofizikai-hidrológiai ismeretek szintetizálásával, és a modellek finomítása a kitermelési teszterületeken felvett adatok alapján.

A jellemző adatok és értékelések eredményei



4.3. ábra A kutak területi elhelyezkedése Szentesen

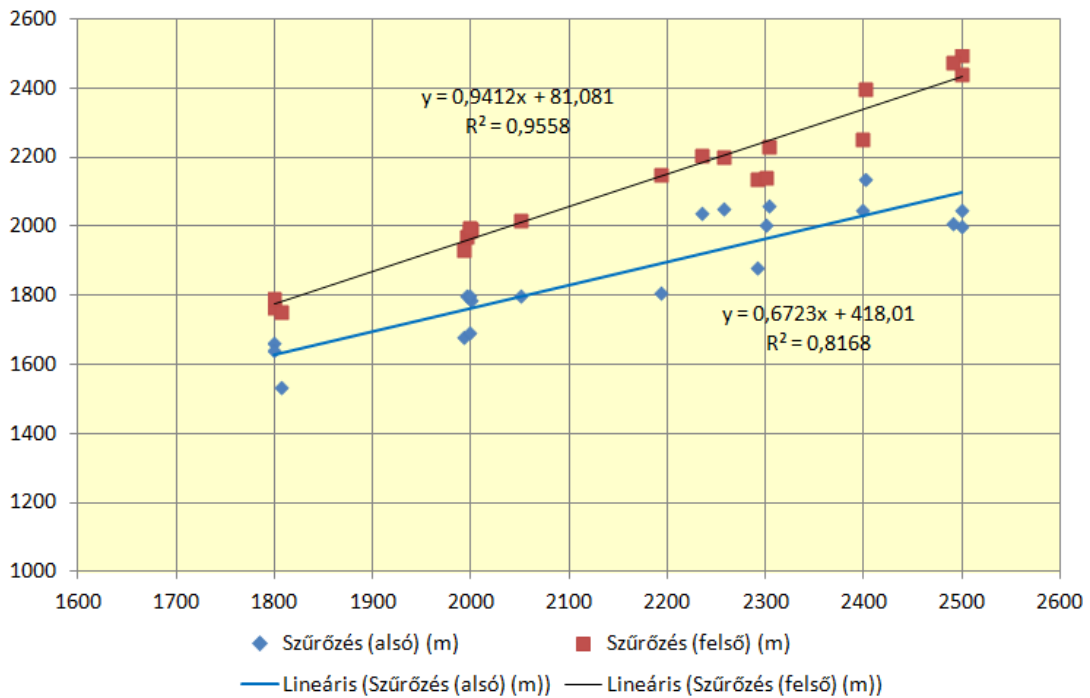


4.4. ábra A kutak területi elhelyezkedése Szegváron

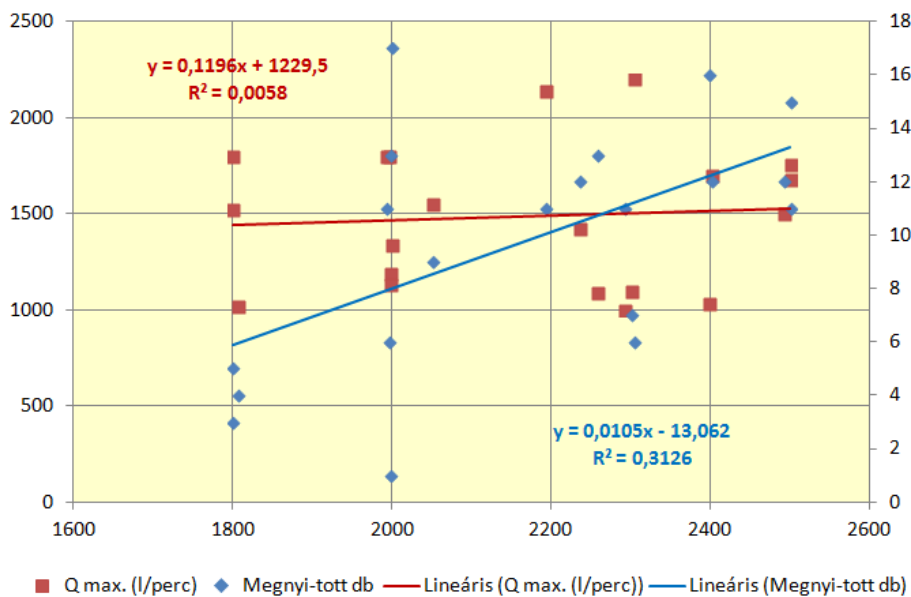
4.3. táblázat A kutak előzetes adatai

	Létesítés éve	Talp mályság	Szűrőzés (alsó)	Szűrőzés (felső)	Megnyi- tott	Q max.	Víz hőfoka
		(m)	(m)	(m)	db	(l/perc)	(°C)
Szegvár	1968	2193	1810	2154	11	2140	80
Szegvár	1970	2500	2046	2497	15	1680	94
Szegvár	1978	1800	1663	1767	3	1519	69
Szegvár	1980	2500	1999	2443	11	1760	90
Szegvár	1988	2491	2008	2478	12	1500	92
Szegvár	1990	2291	1880	2138	11	1000	82
Szentes	1964	1995	1800	1975	6	1800	85
Szentes	1970	1800	1640	1793	5	1800	82
Szentes	1970	1992	1678	1936	11	1800	78
Szentes	1972	2303	2060	2235	6	2200	96
Szentes	1979	2235	2039	2209	12	1420	94
Szentes	1979	2000	1785	1993	17	1340	84
Szentes	1978	2398	2046	2255	16	1030	97

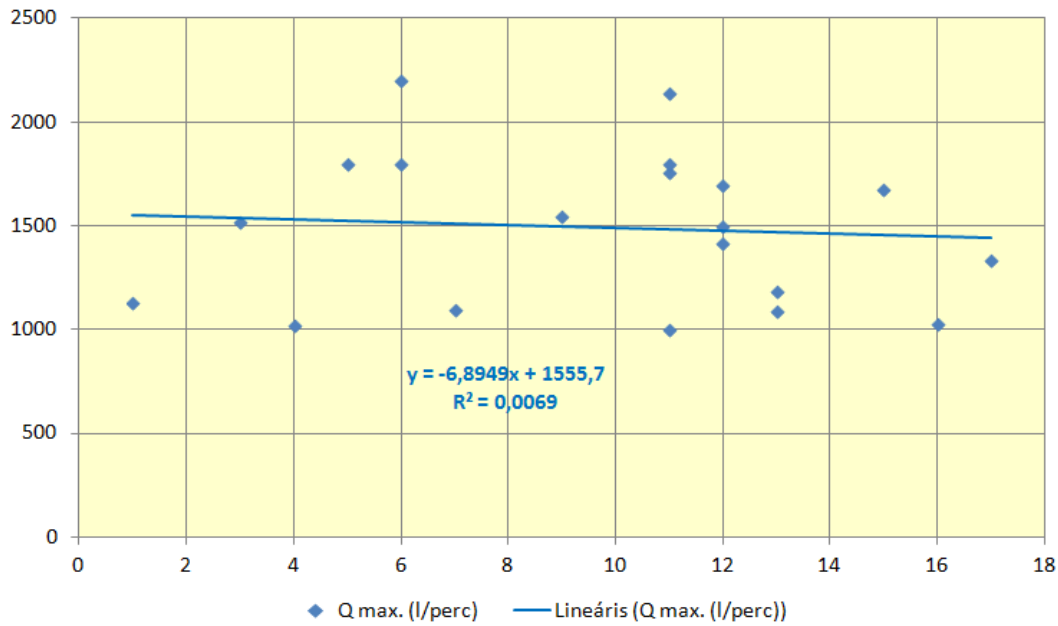
Szentes	1978	1998	1694	1989	13	1190	86
Szentes	1979	2257	2053	2205	13	1090	96
Szentes	1979	1806	1534	1754	4	1020	76
Szentes	1980	1998	1800	1998	1	1130	80
Szentes	1969	2050	1801	2019	9	1550	85
Szentes	1971	2401	2135	2401	12	1700	94
Szentes	1988	2300	2004	2143	7	1100	90
Átlag		2165,4	1873,75	2119,1	9,75	1488,45	86,5
Szórás		236,0	175,6	227,2	4,4	370,2	7,7



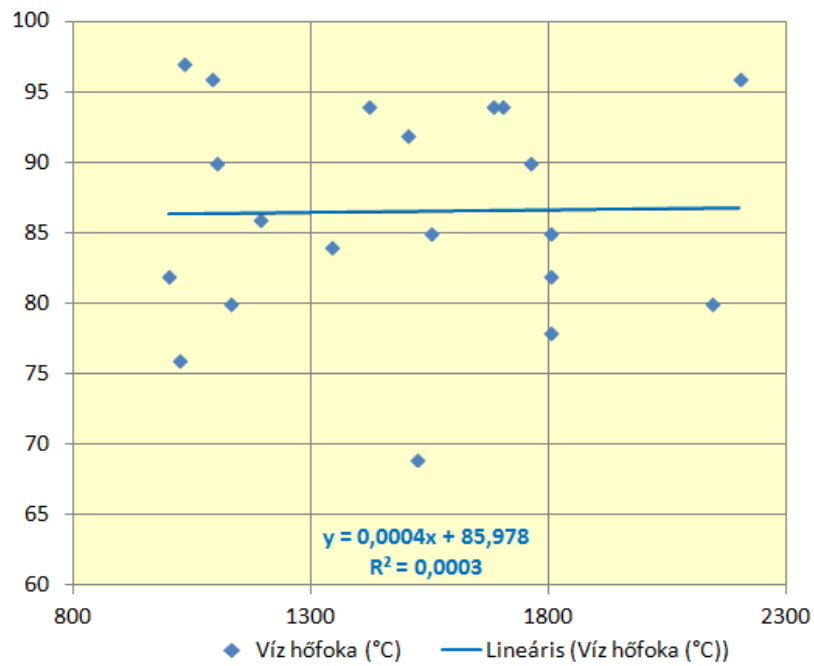
4.5. ábra A szűrőzés és a mélység összefüggése (m)



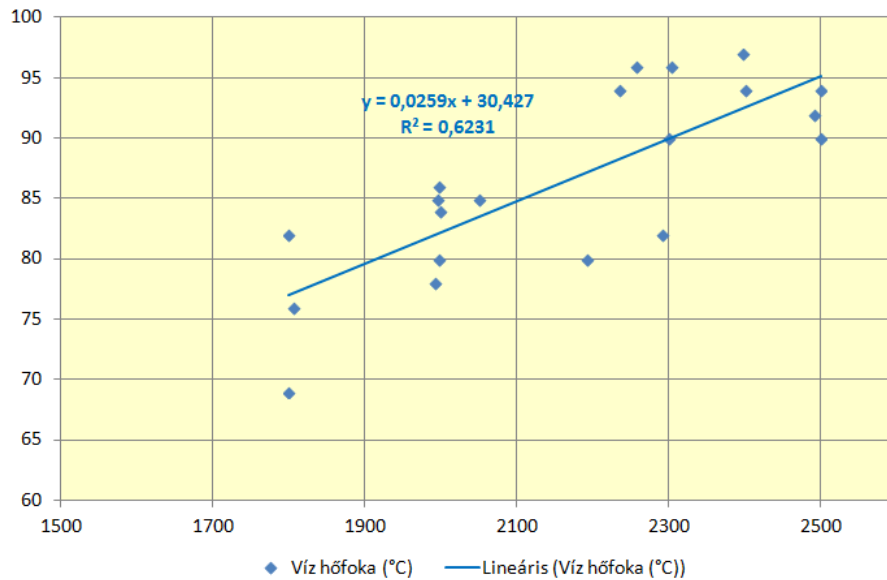
4.6. ábra A talpmélység (m), a hozamok és a megnyitott szűrők közötti összefüggés



4.7. ábra A megnyitott szűrőzések száma (18,0 db) és az átlagos hozam (1488 l/perc, $\sigma=370$ l/perc, ~24%) közötti nincs értékelhető összefüggés.



4.8. ábra A kutak hozama és a víz hőfoka közötti összefüggés



4.9. ábra A talpmélység (m) és a víz hőfoka közötti összefüggés

Problémát okozott, hogy az Árpád-Agrár Zrt.-nél sokrétű mezőgazdasági tevékenység folyik, ezért össze kellett hangolni a méréseket a fűtési szükségletekkel. Ez azt jelentette, hogy a fűtési szezonban nem lehetett kútszerkezeti, geofizikai vagy hidrodinamikai vizsgálatokat végezni, mert egy kút előkészítése és átszerelése a méréshez és maga a mérés körülbelül 5-7 munkanapot vett igénybe.

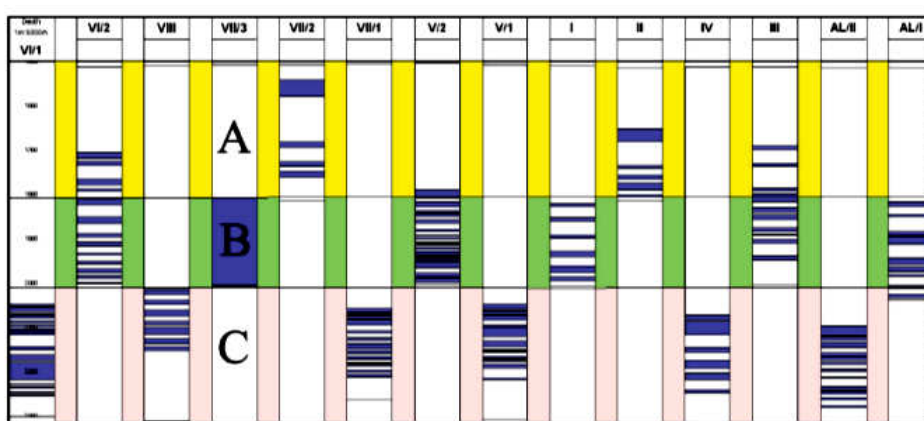
A vizsgálatba vont hévízkutak az Újfalui Formáció homokkő rétegeit három (többé-kevésbé elkülöníthető) mélységtartományban nyitották meg:

- A szint: 1800m-ig szűrőzött rétegek
- B szint: 1800-2000m-ig szűrőzött rétegek
- C szint: 2000m alatt szűrőzött rétegek

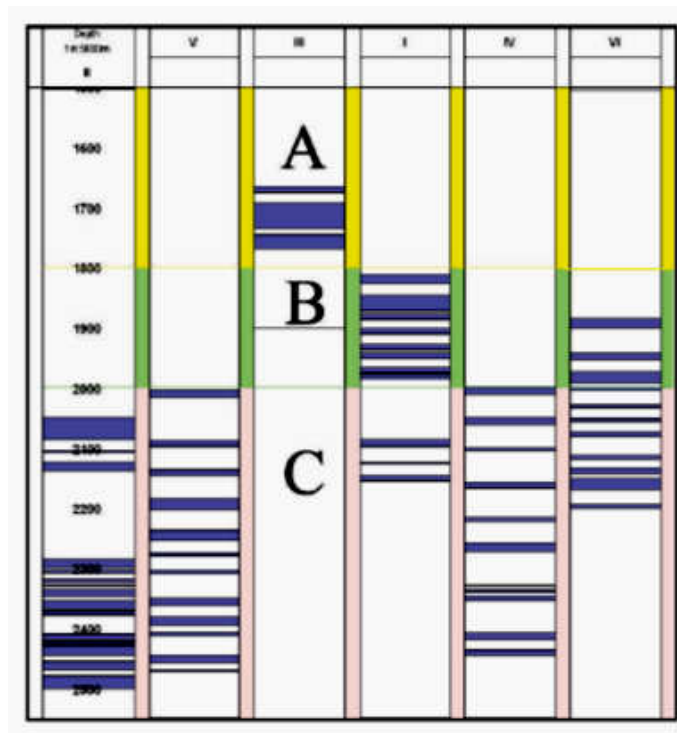
A kutak utólagos perforációjakor igyekeztek, az egymás mellett levő kutak esetében különböző mélységtartományban megnyitni a rétegeket, például a Szentés VII kútszoport esetében (3 db kút), 3 különböző mélységtartomány víztároló rétegeit csapolták meg.

4.2. Szűrőzések közötti jellemzők

A kutankénti kútszerkezetet ellenőrző méréseket és azok kiértékelését (talpmélység, lyukbőség, stb.), valamint az áramlás- és hőmérsékletmérés eredményeit a megrendelő felé kiadott szelvény, illetve jelentés tartalmazza. Jelen összefoglaló jelentés Szentésen és Szegváron mért 20 db kút összehasonlítását, együttes értelmezését tartalmazza.



4.10. ábra A szentesi kutak perforált szakaszai

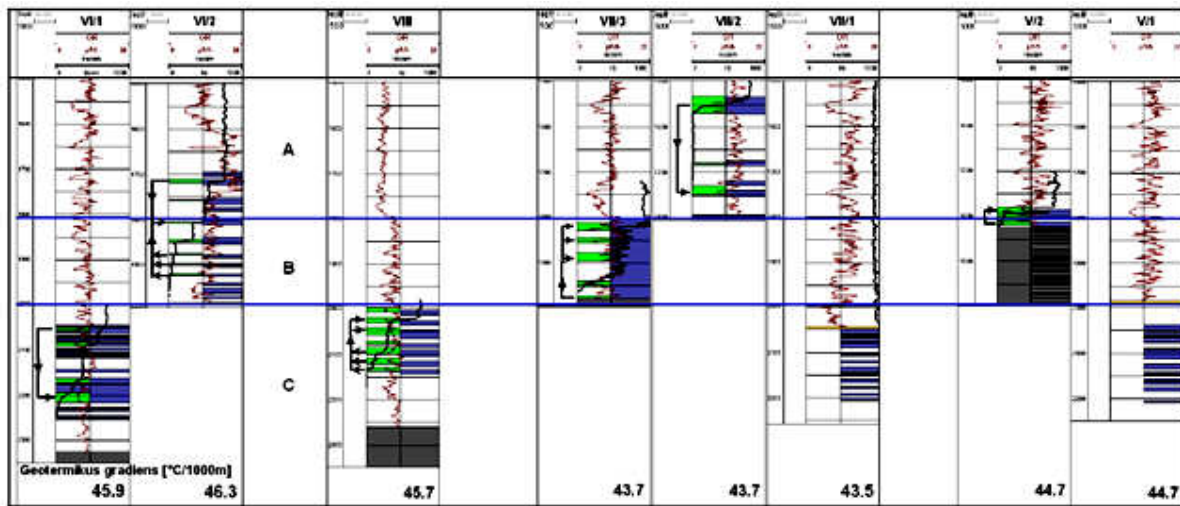


4.11. ábra A szentesi kutak perforált szakaszai

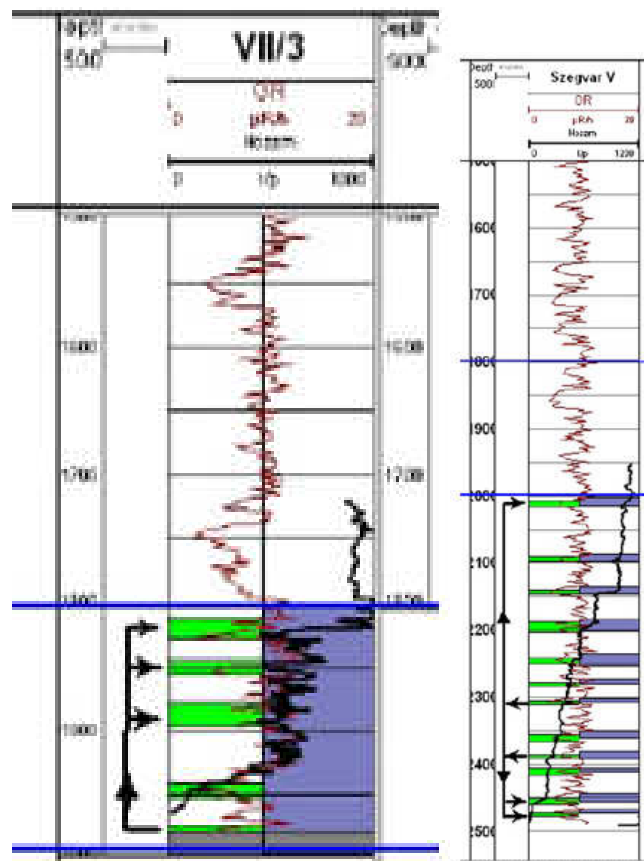
A kutakban termelés mellett és lezárt állapotban is folyt a folyamatos hőmérséklet szelvényezés a talptól a felszínig. A lezárt kutakban (általában) a nyári termelési szünetben voltak mérések, amikor a kút már viszonylag régen (néhány hete) le volt állítva. Ezért a téli termelés miatt felmelegedett kút hőmérséklete már kezdett visszaállni a tényleges közethőmérsékletre. Termelés mellett pedig akkor, amikor a kút már 1–2 napja termelt, tehát már közelítőleg termelte az üzemi hőmérsékletet.

Az ábrákon az egymáshoz közeli kutakat rajzoltuk egymás mellé, az összefüggések keresése céljából. Az ábrákon a következők láthatóak:

- természetesgamma-szelvény (piros)
- áramlásmérés-görbe (fekete)
- szűrőzött szakaszok (lila csík)
- nem járható kútszakaszok (szürke csík)
- aktív szakaszok (zöld csík)
- átfejtődések iránya (fekete nyíl)
- járható szakasz alja (sárga)
- számított reciprok geotermikus gradiens (rajzmező alján)

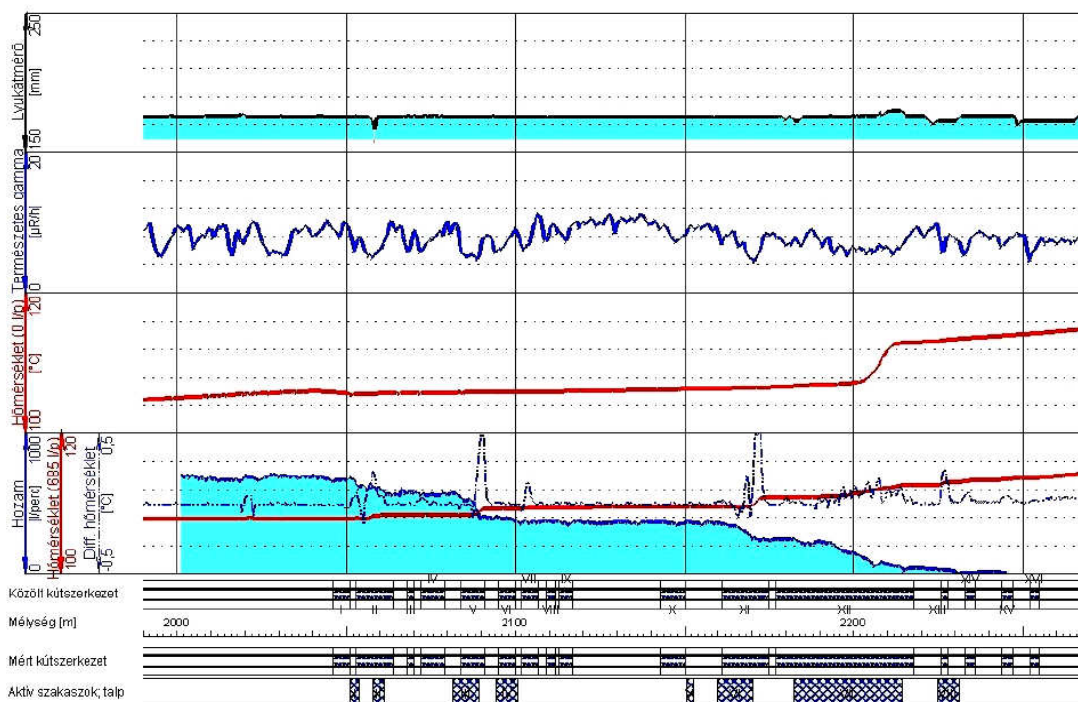


4.12. ábra Belső átfejtődés a szentesi kutakban I.



4.13. ábra A felszíni és mélységi nyomásmérések (szentesi kutak VII/3)

A VI/1-es kutat vizsgálva megállapítható, hogy 2000m alatt a hozam folyamatosan csökken, a hőmérséklete viszont nő, a differencia hőmérséklet egyes szelvényekben rövid szakaszomon jelentős változást mutat. Ezeken a szakaszokon a hozam is meredekebb csökkenést jelez.



4.14. ábra A VI/1-es kutat vizsgálatánál rögzített jellemzők

4.2.1. A rétegek egymásra hatásának vizsgálata

(megbízott közreműködő: GEO-LOG Kft.)

A lezárt kutakban főként a nyári termelési szünetben voltak a mérések, általában néhány héttel a leállítás után. A jelentős téli termelés miatt a felmelegedett kút hőmérséklete már kezdett visszaállni a tényleges közethőmérsékletre. Termelés mellett pedig akkor, amikor a kút már 1–2 napja termelt, tehát már közelítőleg az üzemi hőmérsékleten volt.

A kutakban végzett mérések ábrázolása

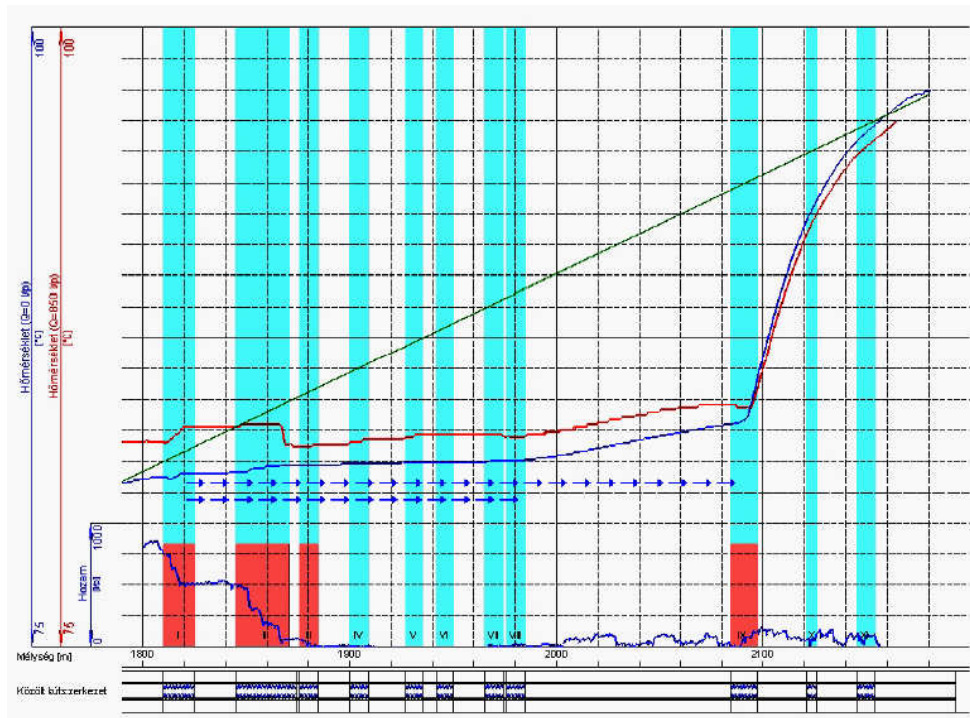
Az ábrák jelei:

- zöld vonal – a kútban mért talphőmérséklet összekötve a magyarországi ún. „pince hőmérséklettel” (10 °C), ami az elvi hőmérséklet menetnek felel meg.
- kék görbe – a lezárt kútban mért hőmérsékletszelvény
- piros szaggatott egyenes – a szelvényre illesztett egyenes
- piros görbe – a termelés mellett mért hőmérsékletszelvény
- a felső ábrán kék görbe – az áramlásmérés szelvénye
- piros oszlopok – az aktív szűrők
- kék szaggatott nyilak – belső vízáramlás iránya lezárt kútnál
- ábrák felett: hőmérsékleti gradiens (zöld egyenes meredeksége)

A mérések eredményeit a helyhiány miatt csak példákön mutatom be.

4.2.2. Hőmérséklet, hozam és az áramlás irányainak értékei, a jellemzőbb eredmények

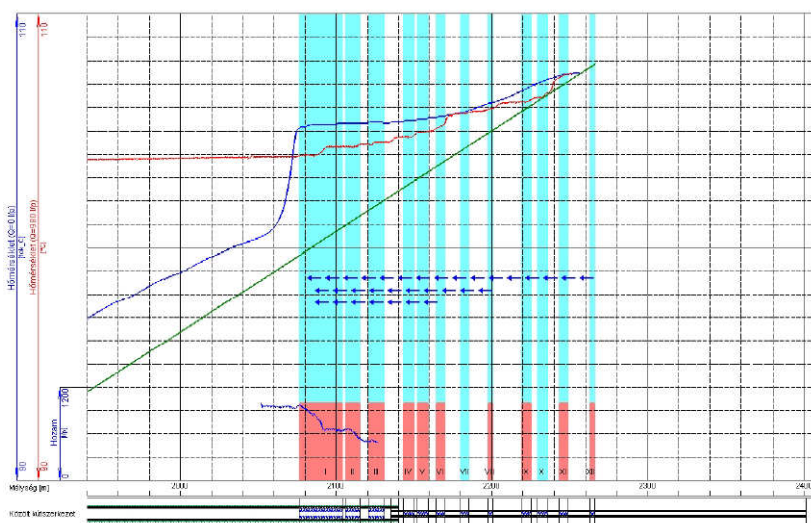
1. példa: 10 helyen szűrőzött, s csupán négy aktív szűrővel rendelkező kút. A kiegyenlítő vízárám lefele irányul.



4.15. ábra Szentes, Árpád-Agrár Zrt. Alkotmány I. sz. termálkút 97.1°C/2000m, számított geotermikus gradiens 43.5 [°C/1000m]

Termeléskor a IX, VIII, VI és II szűrő dolgozik. Lezárt kútnál a II szakasz termelését (a IV szakasz is termel, de jóval kisebb mértékben) a VI szakasz nyeli el. Szintén a VI szakasz nyeli el a VIII szűrő termelését.

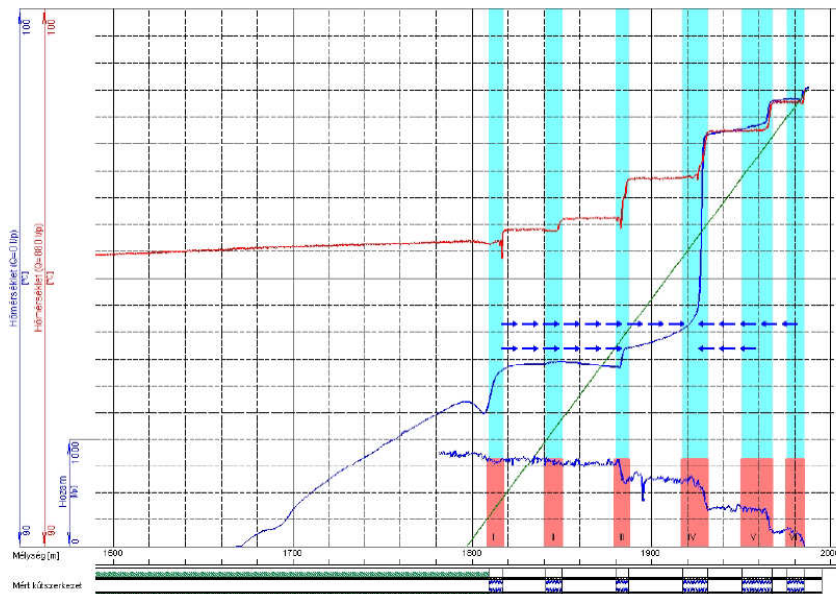
2. példa:



4.16. ábra Szentes, Árpád-Agrár Zrt. Alkotmány II. sz. termálkút 96.2°C/2000m, számított geotermikus gradiens 43.1 [°C/1000m]. A kiegyenlítő vízárám felfelé irányul.

Termeléskor majdnem minden szakasz működik kisebb-nagyobb mértékben. Lezárt kútnál a XII, VII és VI szakasz felfelé termel, mit az I szűrő nyel el. Érdekes, hogy a szűrőzött szakaszon a lezárt kútnál felfelé áramló víz melegebb a termeléskor feláramló víznél. Az ok: termelés mellett a X vagy XI réteg relatív hideg vize lehűti a termelt vizet, a lezárt állapotban pedig ez a réteg nem termel.

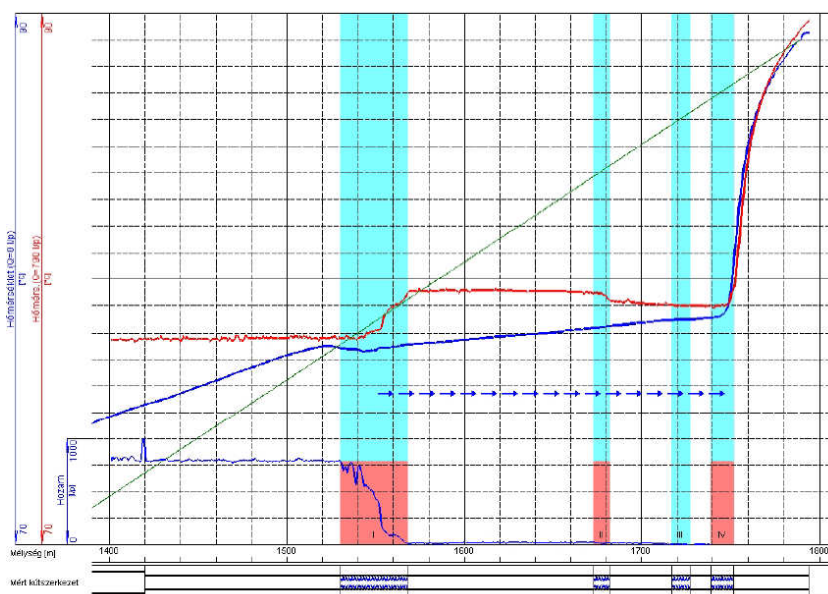
3. példa



4.17. ábra Szentés, Árpád-Agrár Zrt. I. sz. termálkút $99.8^{\circ}\text{C}/2000\text{m}$, számított geotermikus gradiens $44.9 [^{\circ}\text{C}/1000\text{m}]$ Kétirányú áramlás alakult ki.

Minden szűrő termel, lezárt kútnál az I és II szakasz termelését kismértékben a III-as, de főleg a IV-es szakasz nyeli el. Érdekes, hogy a VI és V szűrő is termel lezárt helyzetben, a IV szakasz felé és éppen annyit, mint termelés közben.

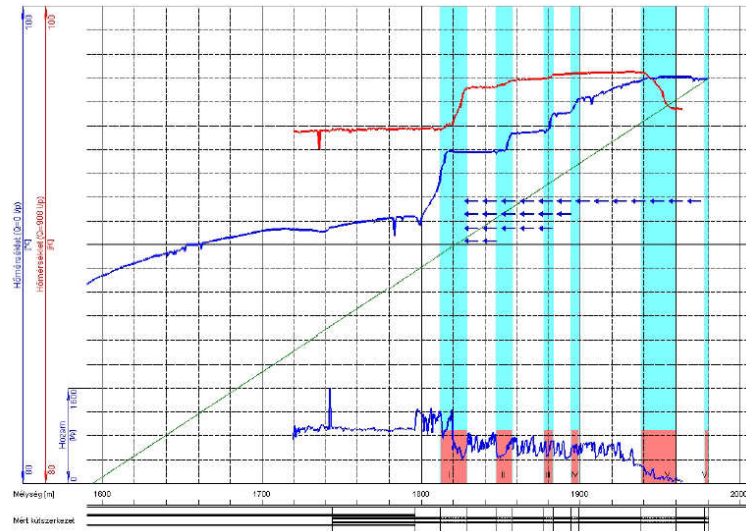
4. példa



4.18. ábra Szentés, Árpád-Agrár Zrt. VII/2. sz. termálkút $98.0^{\circ}\text{C}/2000\text{m}$, számított geotermikus gradiens $44.0 [^{\circ}\text{C}/1000\text{m}]$ (áramlás a gyengén termelő réteg felé)

Az I réteg lezárt kútnál intenzíven termel lefelé, amit a IV réteg nyel el. A termelés kezdetén ezt a lehűlt vizet termeli vissza a kút. A legjelentősebben az I réteg termel.

5. példa



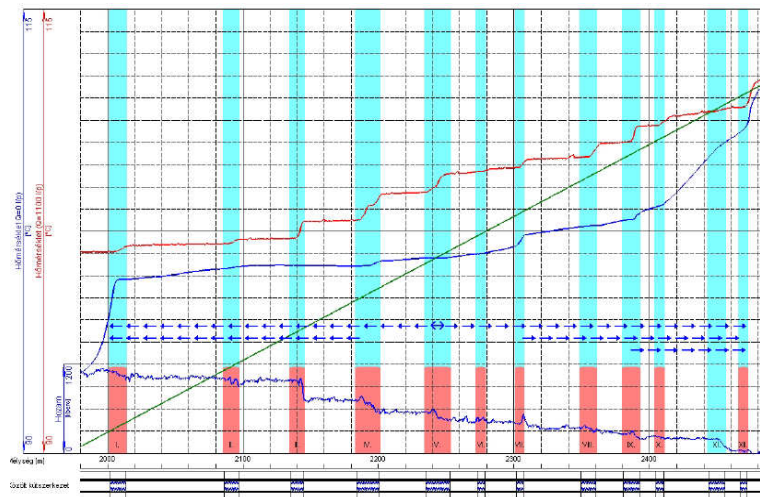
4.19. ábra Szentes, Árpád-Agrár Zrt. VII/3. sz. termálkút 98.0°C/2000m, számított geotermikus gradiens 44.0 [°C/1000m]

A kútban az V és az I szűrő termelése a jelentős a további szakaszok termelése minimális.

Lezárt kútnál ezek a szakaszok termelnek, amit az I szakasz nyel el. A termelés melletti hőmérsékletszelvény alsó (az V szűrőbe eső) szakasza nem értelmezhető, azonban a lezárt kútban mért szelvény alapján a kút kb. 1980 m körül is termel.

A többi szűrő szintén termel, amit az I szűrő nyel el. Termeléskor az I szűrő termelése a legjelentősebb.

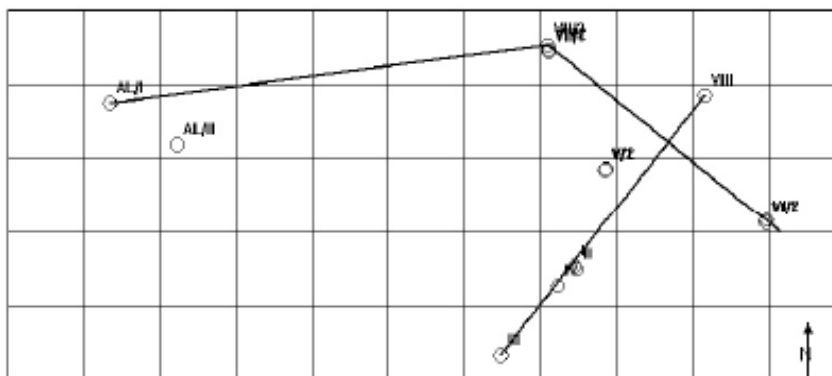
6. példa



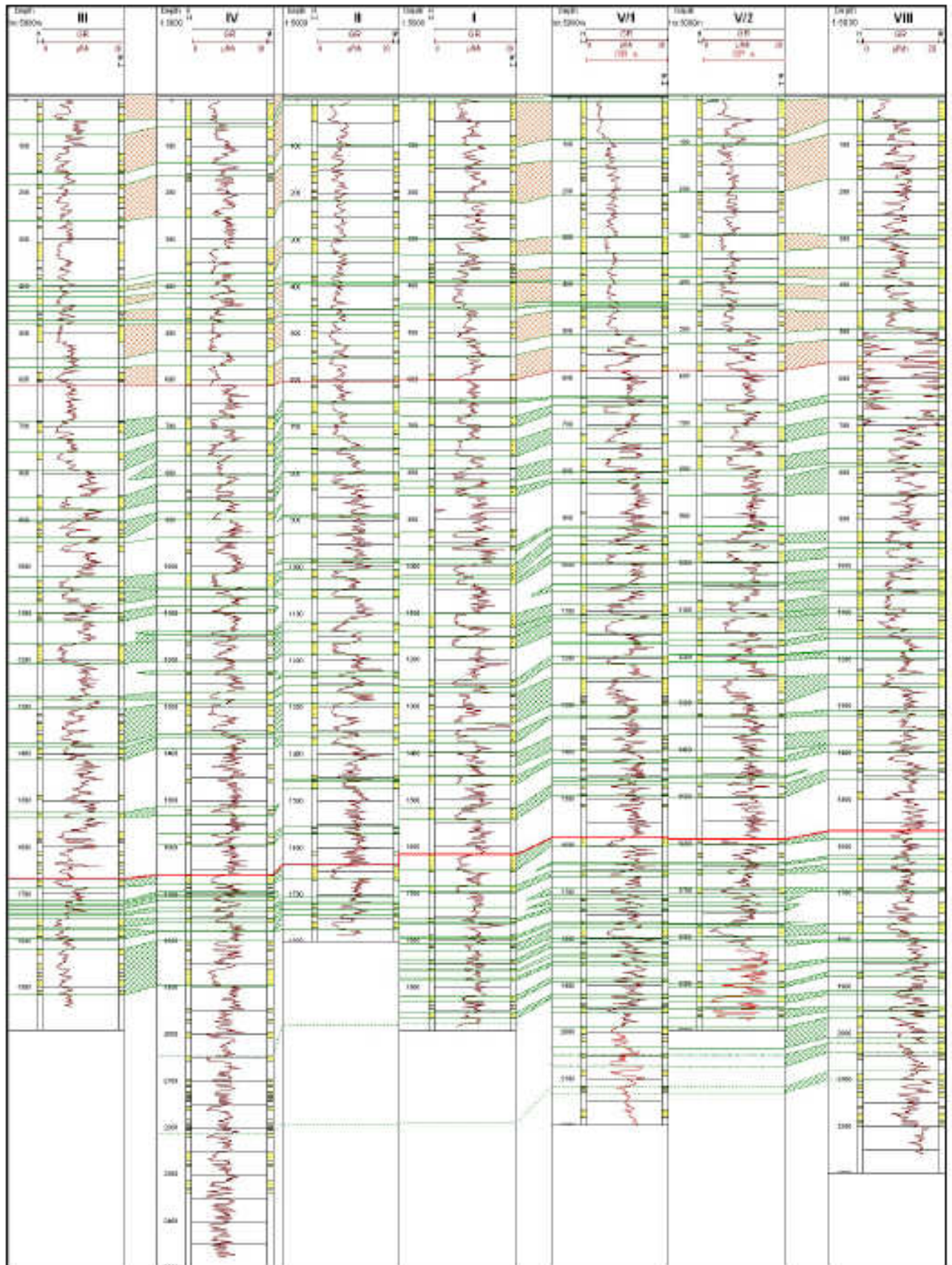
4.20. ábra Szegvár, Primőr V. sz. termálkút 92.0°C/2000m, számított geotermikus gradiens 40.9 [°C/1000m]

Az utóbbi lezárt kútnál az a furcsa helyzet áll elő, hogy a középső (V-ös) szűrő lefelé és felfelé is termel. A lefelé termeléshez hozzá járul még a VII, IX és X szakasz is, az I szűrő nyeli el.

Korreláció a kutak között

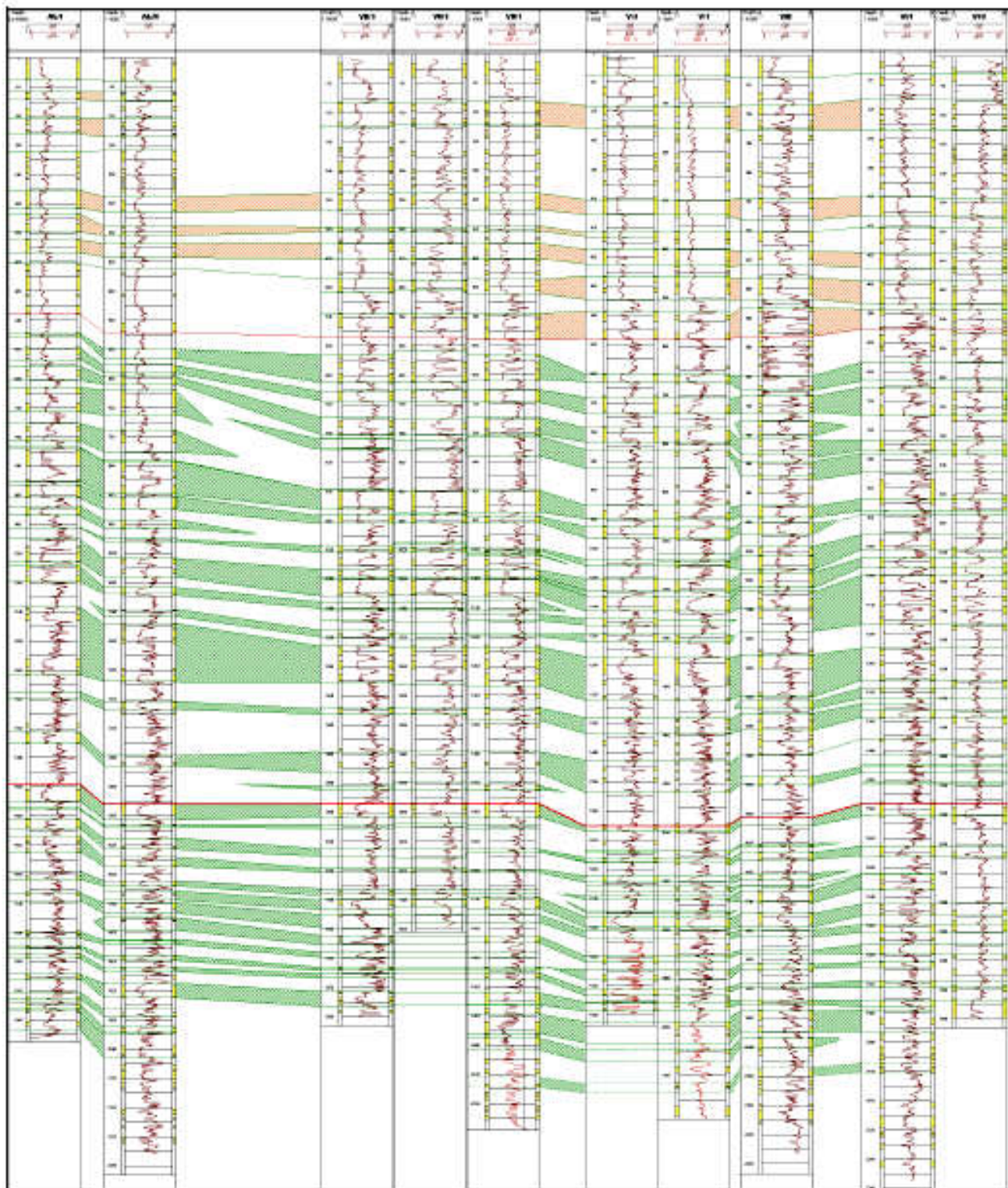


4.21. ábra Szentesi kutak elhelyezkedése és a korrelációs vonalak (WellCAD)

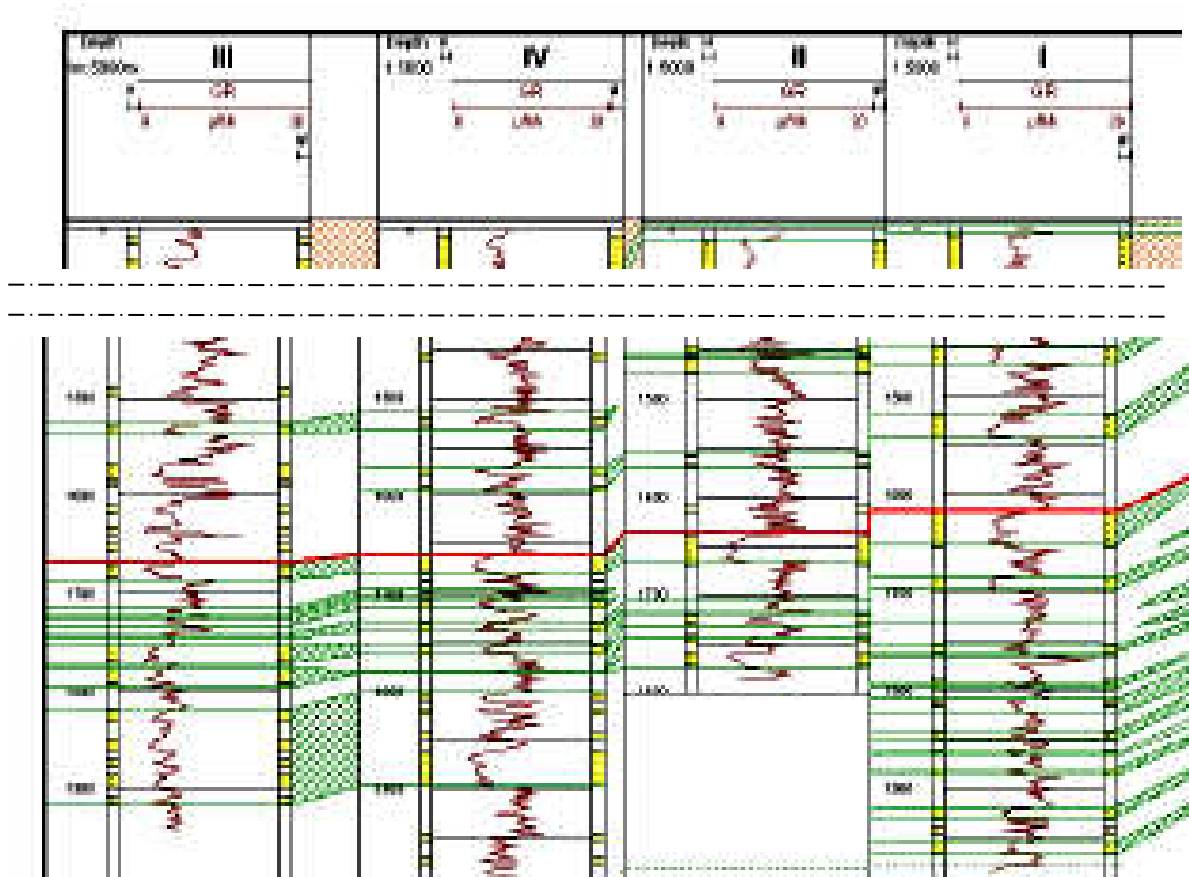


4.22. ábra Szentesi kutak korrelációi I.

(piros vonal példa okán egy réteg korrelációját jelképezi)



4.23. ábra Szentes kutak korrelációi II.
(piros vonal példa okán egy réteg korrelációját jelképezi)



4.24. ábra Nagyított részlet a szentesi korreláció I.-ből, egy 1500-1800m közötti réteget kiemelve, a szűrőzés és az egymással összefüggés jellemzésére

4.2.3. Következtetések a kutak tulajdonságaira

A kiértékelések alapján (a bemutatott példák is igazolják) megállapíthatók, hogy:

- a hőmérséklet gradiensek az egymáshoz közeli kutaknál rendkívül jól egyeznek
- a gradiensek között felismerhetők a területi változások,
- az átfejtődések iránya igen változatos, sok kútban a középső réteg felé van átfejtődés alulról és felülről is (VI/2, I, IV, AL/I)
- az átfejtődések iránya ugyan sok használható információt ad az egyes termelőrétegek nyomásviszonyairól, ami a kutak termeltetésének tervezéséhez, esetleges új kút tervezéséhez figyelembe lehet venni.
- visszasajtoló kút tervezésénél lényeges az átfejtődés iránya és a nyelő, valamint termelő réteg helyzete, hőfoka

Hasonló tapasztalatokról számol be Barcza et al. (2011), miszerint rétegirányú és a vertikális szivárgási tényezők egyaránt, hasonló nagyságrendben előfordultak.

Megállapítható, hogy a több szűrővel ellátott kutaknál az átfejtődés, egyes rétegek nyelése mindig megfigyelhető, tehát a visszasajtolás valamilyen mértékben mindig kivitelezhető. A vizsgált kutak elhelyezkedése, a mérésekhez használt eszközök, módszerek, a mérések kivitelezése, a kiértékelések és az egységes vizsgálati módszer lehetővé tette az eredmények összehasonlítását a korábbi eredményekkel is.

Az egymás mellett ábrázolt diagramokat áttekintve fellelhetők a kútparaméterek közti hasonlóságok, amelyek következtetések levonását teszik lehetővé. A tervezéssel konkrét konklúzió levonásához további célirányos vizsgálatok kellenek.

A nyomás- és hőmérsékletadatok alapján már most is feltételezhető az egész mező együttes értelmezése. E vizsgálatok segítették a terület hidrogeológiai megismerését, a termelő kutak műszaki és hidrodinamikai paramétereinek konkrétabb jellemzőit.

Ezek támpontokat adnak a jövőben szükséges visszasajtolás tervezéséhez is.

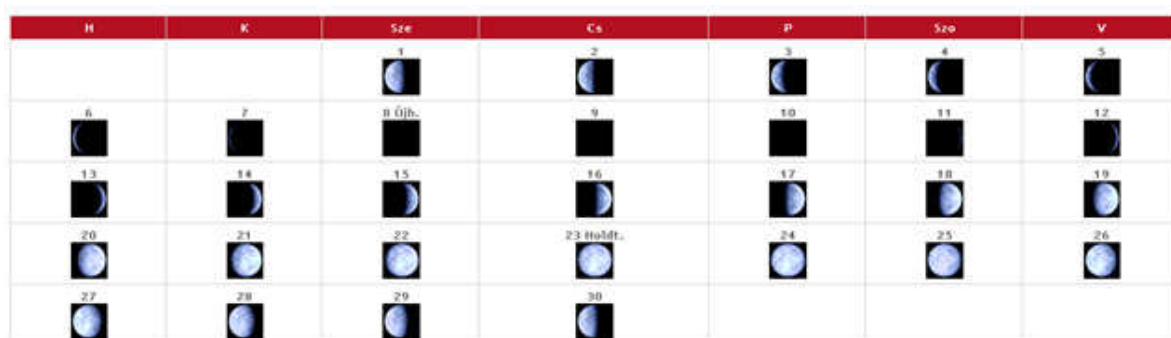
A visszasajtolás az üzemeknek többletberuházást jelent, viszont jelentős költségméréséklést is eredményez, hiszen nem szükséges a környezetvédelmi díj megfizetése, amely jelentősen drágítja a geotermikus energia fajlagos költségét. A visszasajtolás összességében költségnövelő tényező, hiszen a végrehajtásához új kút fúrására van szükség és a visszasajtolás is energiafelhasználással jár. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy az energiafelhasználása nem számottevő. Hódmezővásárhelyen a szentesihez hasonló homokkő bázison több éve működik kísérleti un. nyelő kút.

A mérések eredményeiből megállapítható, hogy körültekintően kell eljárni a visszasajtolásnál, ellenkező esetben a kút talp mélységében lévő szűrők könnyen eltömődnek és dugulásokat okoznak, melyek elhárítása igen jelentős költséget jelent.

4.2.4. Az árapály hatása a termálkutak mérésére

A mérések során a nagy felbontóképességű műszerek alkalmazása megmutatta, hogy a megfigyelő kúton az aktív kút pulzáló termelésváltozásának hatására, s a létrejövő nyomásváltozást egy sor tényező zavarja:

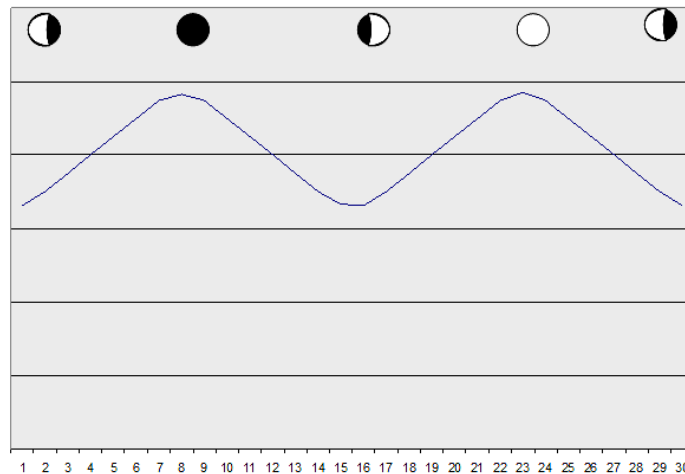
- A földi árapály periodikus hatása, ami a közetfeszültség változásának nyomáseredője. Nagyságát befolyásolja a vizsgált tároló porozitása és a pórusméret megoszlása. Mértéke irodalmi adatok alapján: 0,1 – 5 kPa
- A napi felszíni hőmérsékletváltozás periodikus jellegű hatása. A hatást a kút felszínre nyúló részében lévő fluidum tágulása, ill. összehúzódása, a sűrűségváltozás okozza. A hatás nagysága a megfigyelőkút közvetlen körzetének áteresztőképességével arányos. Általában 0 – 30 kPa
- A teljesen véletlenszerű nyomásváltozások, így a légnyomásváltozások tároló eredője, vagy az elektronikus mérőműszerek működési zaja. Tapasztalataink szerint a tárolókban előfordul teljesen értelmezhetetlen zaj is. A felszín felé nyitott kutak barometrikus nyomásváltozási tartománya ± 4 kPa.



4.25. ábra A Hold fázisai a mérés idején (2010. szeptember)

A fenti ábra alapján jól látható, hogy a Hold legnagyobb vonzást a Nap együttállásával a vizsgált időszakban Újholdkor 2010.szeptember 8.-án és Holdtöltekor, 2010. szeptember 23.-án fejtette ki a Földre. A két dátum közül az Újhold a mérések során regisztrált időszakba beleesik. A

mérések során regisztrált nyomás értékeket az adott hónapra felrajzolva a következő ábra szerinti periodikus lefutást kapjuk:

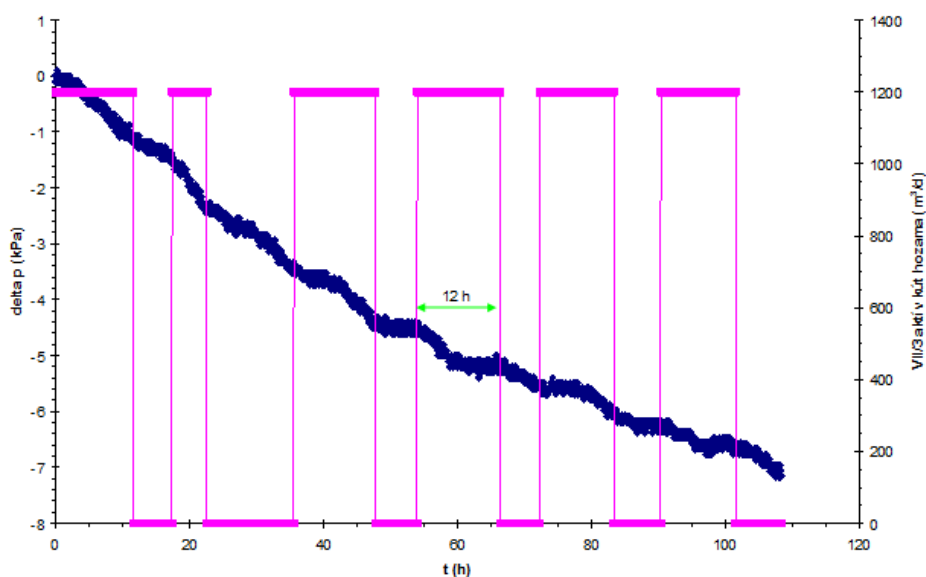


4.26. ábra A mérések során kapott nyomásértékek jellege

Az ábra szerint a 2010. szeptember hónapban a Földre ható összegzett Nap és Hold tömegvonzás hatására kialakuló nyomásváltozás struktúráját mutatja. Ez a ciklus a vizsgált időszakban a következők szerint alakul:

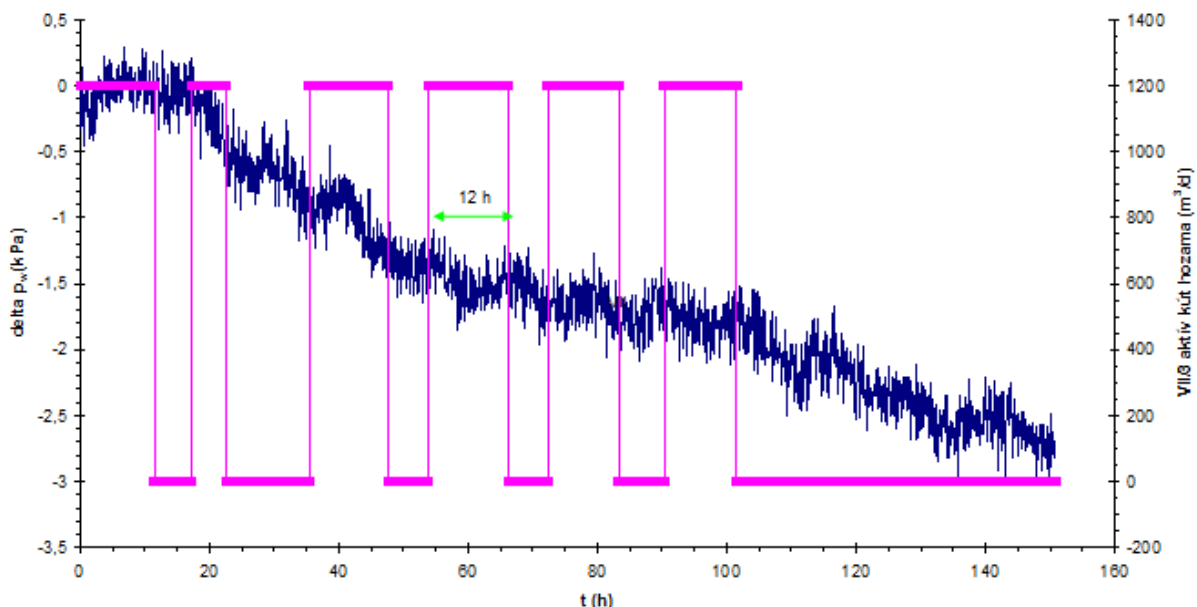
- 2010.szeptember 01. –utolsó negyedbe lép a Hold
- 2010.szeptember 08. – Újhold negyedbe lép a Hold
- 2010.szeptember 15. – első negyedbe lép a Hold
- 2010.szeptember 23. – Holdtölte vagy Telihold negyedbe lép a Hold

A mért adatokban a fenti séma szerinti nyomásváltozás egy szinusz hullámhoz hasonló alapváltozást generál. A nyomás változása az egyéb zavaró tényezők hatására a tényleges Holdálláshoz képest előresíethet, késleltethet, intenzitása erősödhet, illetve gyengülhet. Ez az alap szinusz hullám megfigyelhető az alábbi mérési adatok feldolgozásával készült ábrán.

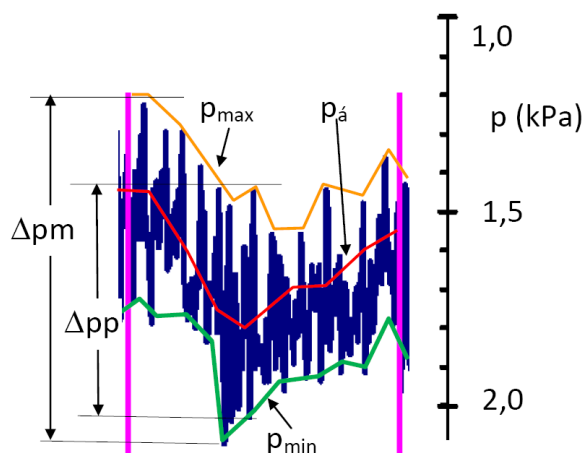


4.27. ábra V/2 és VII/3 kútpár pulzációs interferencia mérése során a nívóváltozásból származtatott nyomásváltozás (2010.09.06.12.00 h) (Gyenesé I.)

Mivel a Hold hatása a Nappal történő együttállásból adódó havi ciklikusságon túlmenően még a napi ciklikusságból is áll, így a mérési eredményeket ábrázolva és felnagyítva a napi ciklikusság sémáját is megkapjuk.



4.28. ábra VII/2 és VII/3 kútpár pulzációs interferencia mérése során kapott nyomásváltozás 1000 m mélységben folyamatos kitermelés mellett (2010.09.06.12.30-9.12.1920 h) (Gyenesé I.)

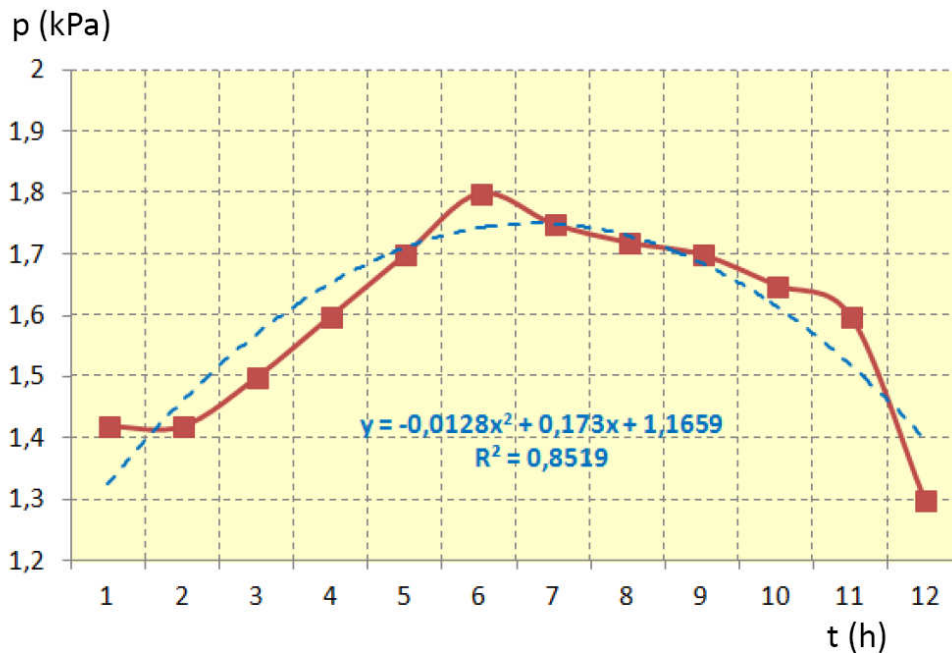


4.29. ábra A maximum, a minimum és az átlagos értékek változása 12 órás időszakban

Ahol

- $\Delta p_m = 0,9$ kPa a maximális változás 12 óra alatt
- $\Delta p_p = 0,6$ kPa egy órás időszakban a méret változás
- $\Delta p_a = 0,35$ kPa az átlagérték legnagyobb változása a 12 órás időszakban

12 órás nyomásváltozás átlagos lefolyását a 4.30. ábra szemlélteti. A trend parabolikus összefüggést jelez ($R^2 = 0,8519$).



4.30. ábra 12 órás nyomáscsökkenés változás átlagos lefolyása

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a Nap és a Hold állása bizonyos feltételek teljesülése esetén befolyásolja a felszín alatti vizek – esetünkben a vizsgált kutak nyugalmi és üzemi vízszintjének értékét. A vizsgálatok során a vízszint változása az egyéb zavaró tényezők nélkül is havi ciklikusságban mintegy 70 cm-es, napi ciklikusságban ~15cm-es változást mutat.

4.3. A kertészeti lehetséges fűtési rendszerek és a geotermikus fűtés összehasonlítása

A hajtatasos zöldségtermesztésnél az energiának meghatározó szerepe van a termelés mennyisége, minősége és gazdaságossága szempontjából is. Az ésszerű kialakítású termesztő rendszer gazdaságos, energiatakarékos használatának alapvető eleme a célra orientált, PLC-vezérelt üzemeltetés. Zöldség-hajtatas céljára termesztő berendezéseket (növényházakat) használunk, mivel a növények igényei szerinti környezeti tényezők szabályozása csak „mikrokörnyezetben” lehetséges. Ma már jelen vannak olyan felszereltségű termesztő berendezések, amelyekben a növények biológiai igényei évszaktól és időjárástól függetlenül folyamatosan biztosíthatóak.

A fűtési energiahordozó jelentősen összefügg az alkalmazható hőátadó rendszertől, s ezzel a termesztés technológiai kialakításoktól. Összességében tervezési szempont lehet a legtakarékosabb, legkisebb veszteséget jelentő megoldás, de az is, hogy mennyire hatékony, korszerű megoldást használunk, ami kivitelében lehet költségesebb. A két lehetőség kombinációja adhatja a leginkább optimális megoldást. Nem elhanyagolható annak mérlegelése, hogy az energiahordozók árai a jövőben hogyan változnak (hatnak).

4.3.1. Növényházak energia ellátása, a használható energiahordozók

Napjainkban az üvegházak építése reneszánszát éli. A korszerű nagy légtérű házak a legfejlettebb építési technológiák és a legkifinomultabb műszaki megoldások segítségével nagyléptékű fejlődést valószínűsít az ágazatban. A gyakorlatban december-január és május közé eső hónapok a téli fűtési idény nagy részét lefedik, ezért a téli termesztés nem képzelhető el a növényházak fűtése nélkül. A gyakorlatban erre elméletileg több energiaforrás is használható,

azonban a hazai gyakorlat, valamint a kertészetekben rendelkezésre álló fejlesztési forrás és szerény jövedelmezőség miatt valójában csak néhány terjedt el.

Hőelőállítás égetéssel:

- tüzifa, faapríték
- pellet
- szén
- földgáz v. tartályos gáz
- fűtőolaj.

Égetés nélkül:

- termálvízből hőelvonással.

Segédenergiával (villamos energia, földgáz, pirolízis gáz) a környezetből hő hasznosítása:

- hőszivattyú (levegő - levegő, talaj - levegő, vagy elhasznált víz-levegő)

Hazánkban mindegyik energiahordozó rendelkezésre áll, hogy melyik a legjobb megoldás az elsősorban gazdaságosság kérdése. A berendezések várható élettartama változó, azonban a számítás során célszerűnek tűnt egységes 15 éves élettartammal számolni. A teljesítményigényt ~1600 kW-ban határoztam meg, mivel a mai korszerű nagy légterű, oldalán dupla üvegezésű, energiaernyővel felszerelt, talaj-, vegetációs- és hajtáscsúcs fűtéssel rendelkező 5-5,5 m vápamagasságú, 10000 m² alapterületű üvegház tervezési energiaigénye ezt megközelíti. Munkahelyemen az elmúlt néhány év időjárás viszonyait figyelembe véve a fenti intenzív kultúrával betelepített 1,0 ha-os üvegház hőigénye ~300-320 kWh/m²/év (4.31. ábra).



4.31. ábra Korszerű magas légterű növényház (saját felvétel)

A hőigény meghatározására

A gyakorlatban általánosan használt összefüggés a hőszükségletre:

$$Q = K' (t_b - t_k) F_{\text{ü}} \quad (4.1)$$

ahol:

$Q =$ az óránként szükséges hőmennyiség (kJ/h)

$K' =$ „hőfogyasztási” tényező (kJ/m² h °C)

$t_b - t_k = \Delta t =$ a külső és a belső hőmérséklet különbsége (°C)

$F_{\text{ü}} =$ a növényház határoló felületének nagysága (m²)

Az értékelt fűtőanyagok

Tüzifa, faapríték

Az üvegházak fűtésénél az elmúlt években egyre kedveltebb energiahordozó lett a fa. Ezt összességében általában a lombhullató erdők vágásából származó, építő- és bútorigipari célra kevésbé alkalmas vagy alkalmatlan fa, ezek nyesedéke, valamint építőipari minőségű fa szelezése és hánca alkotja.

Előnye:

Könnyen beszerezhető mind hasábfá mind apríték formában. Ára az elmúlt években nem változott kiugróan, a fűtés költséggel pontosan lehet kalkulálni, ezért kiszámítható költségkalkuláció végezhető.

Hátránya:

A gyakori nagy szállítási távolságok miatt sokszor kiszámíthatatlan költségeket és kockázatot rejt. Az útdíj megjelenése tovább drágítja a helyszínre jutását. A tömeg/térfogat aránya és a fűtőérték/tömeg aránya alacsony. Ritkán lehet kedvező áron alacsony víztartalmú nyersanyaghoz jutni, hiszen az elmúlt 10 évben a fával történő fűtés a lakosság körében is reneszánszát éli, ezért időben igen változó a piac keresleti.

Pellet

Az elmúlt években jött igazán divatba. Nagy nyomáson préselt szálás, rostos anyag, amelyet vagy saját anyaga, vagy belekevert kötőanyag tart össze. A pelletet néhány milliméteres átmérőtől több centiméteres átmérőig terjedő anyagrudak alkotják az alapanyag és a használt pelletálási technológia függvényében.

Előnye:

A pellet viszonylag könnyen beszerezhető, fűtőértéke alapján többféle minőségben is. Egységes mérete (hossza és átmérője) miatt az égetése jól automatizálható. Ára a felhasznált alapanyagok függvénye, az elmúlt évek átlagát nézve stabil, nagy ingadozásokat nem mutat, ezért a fűtés költség jól kalkulálható.

Hátránya:

A pellet gyártása energiaigényes folyamat, elsősorban a présgépek teljesítménye és magas villamos energia fogyasztása miatt, ami rontja a hasznosítás energiamérlegét. A szállítási költsége jelentős, főként a közúti szállítás jellemzi, ami a nagy térfogatigénye miatt robusztus gépjárművek használatát igényli.

Barnaszén, kőszén

Az elmúlt évtizedek piaci átalakulása miatt a meglévő szénkészletek „bőségesnek” mondhatók. A kormány tervei alapján a közeljövőben több hazai szénbánya újraindítása várható. Az elmúlt évek kutatásainak valamint új, ún. tiszta szén technológiák bevezetésének köszönhetően a környezetvédelmi és határfok megítélése nagymértékben javult.

Előnye:

Ára stabil, mivel a piac inkább kínálati, így a beszerzés nem okoz nehézséget. Szállítási költsége a hagyományos - vasúton történő szállítással nagymértékben csökkenthető. A kazánok ára kategóriájában kifejezetten kedvező.

Hátránya:

Ha a felhasználási hely vasúttól távol esik, akkor a közúti szállítás megdrágítja a felhasználást. Automatizálása nehézkes, gyakorlatilag állandó emberi felügyeletet kíván, így az élőmunka igénye összehasonlításban magas.

Földgáz, tartályos gáz

A földgáz szénhidrogén alapú gázok gyúlékony elegye. Legfőbb összetevői a metán, etán, propán és bután. A tartályos vagy más néven cseppfolyós PB gáz propánból, butánból, vagy propán-bután keverékből áll.

Előnye:

Mivel a cseppfolyós gáz vegyi összetétele nagyon egyszerű, az összes alternatív energiahordozó közül a legtisztább és a legmagasabb fűtőértékkel rendelkezik. A rendszer kitűnően automatizálható, tiszta üzemet biztosít, a kazánok fejlettek, jól szabályozhatóak, kifejezetten rugalmas fűtési mód. Üvegházak esetén külön előny lehet téli időszakban az égéstermék széndioxid felfogása és a növényekhez vezetése, ami a termelési hozamot fokozza, a költségeket csökkenti.

Hátránya:

A tartályos gáz ára az elmúlt években drasztikusan emelkedett, több helyen ellehetetlenítve a kizárólag gázfűtésre alapozott kertészetek életét.

Fűtőolaj

A kőolaj sokféle, változatos összetételű szerves vegyületet tartalmaz. Ezeket nem tiszta állapotukban nyerik ki, hanem alkalmazási területeik szerinti csoportonként választják el. Ennek egyik finomítási terméke a fűtőolaj.

Előnye:

A rendszer jól automatizálható, modern berendezésben tiszta üzemet biztosít, a kazánok fejlettek, jól szabályozhatóak, rugalmas fűtési mód. Telepítési költsége alacsony, a kazánok ára elfogadható. A rendszer gyors indíthatósága miatt pót (kiegészítő) vagy vészfűtésre a legalkalmasabb.

Hátránya:

Az olaj világszerte árára esetenként hektikus változásokat mutat, nehéz több évre-évtizedre tervezni, ezért a költségkalkuláció is nehézkes.

Termálvíz

Hazánkban a legtöbb helyen elérhető földhő legegyszerűbb felszínre juttatásának segédközege. A földhő a föld belső hője, amely elsősorban különféle radioaktív izotópok bomláshőjéből valamint konvekciós áramlás súrlódási hőjéből táplálkozik.

Előnye:

A termálvíz minden átalakítás nélkül alkalmas a hőenergia szállítására, átadására akár közvetlen, akár közvetett módon. A termálkút üzemeltetési költségei a kinyerhető hőenergiához viszonyítva alacsonyak, ezért a termálvízre alapozott fűtés versenyképes. Az ország kertészkedéssel foglalkozó – elsősorban síkvidéki – területein szinte kivétel nélkül elérhető. Helyben kinyerhető hőenergia, nincs szükség szállításra, nem importfüggő, évszaktól, napszaktól, időjárástól

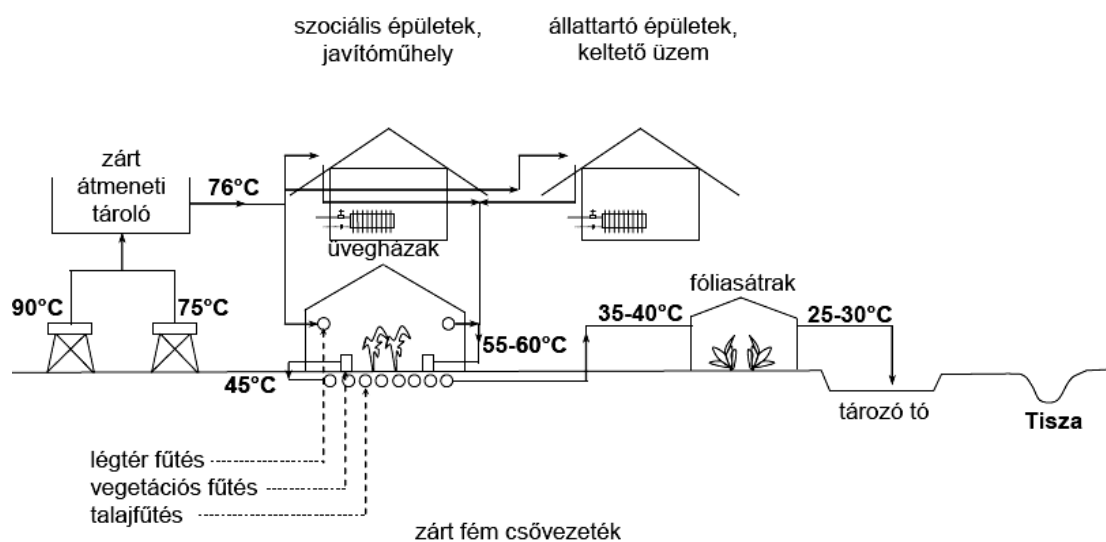
független. A rendszer jól automatizálható, de csak jól méretezett puffertartállyal. A kinyert földhő megújuló energiának minősül, a kitermelt víz utánpótlódástól függően korlátozottan megújuló.



4.32. ábra Üvegházi palántanevelés termálfűtéssel januárban (saját felvétel)

Hátránya:

A termálkút fúrás költsége kifejezetten magas. A víz vezetékzése, felhasználási helyre juttatása esetenként komoly infrastruktúra kiépítését igényli. Nem mindenütt érhető el, nem mindenütt található kitermelésre alkalmas vízadó réteg. A vízelhelyezés több évtizede visszatérő probléma, felszíni elhelyezés vagy visszasajtolás? A rendszer hosszú távú működése, a kutak szerkezetének jó állapotban tartása csak lomha szabályzási hiszterézissel biztosítható, ellenkező esetben a kútkárosodás elkerülhetetlen. Ennek a szabályzásnak alapfeltétele a nagyméretű puffertartály, ami költséges telepítést igényel. A kitermelés és a vízkormányzás villamos energiát igényel. A felszíni vízelhelyezés környezetvédelmi aggályokat vet fel magas sótartalmú vizek felszíni elhelyezése esetén. A visszasajtolás ivóvízbázis- védelmi aggályokat vet fel a vízadó rétegnél sekélyebb rétegbe történő visszasajtolás esetén.



4.33. ábra A termálfűtés felhasználása az Árpád Agrár RT. gazdaságában
(Forrás: Szilágyi, 2002)

A talajhő hőszivattyús hőhasznosítása

A hőszivattyú olyan berendezés – kalorikus gép –, mely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki és azt magasabb hőmérsékletű helyre szállítsa.

Előnye:

A berendezés az elmúlt évtizedben nagy fejlődésen ment keresztül, egyre jobb hatásfokkal rendelkezik. A meghajtás oldalról telepíthető villamos hajtású, illetve belsőégésű motorral hajtott berendezésként is. A hőelvonásra használt közeg lehet a levegő, a talaj (szondás vagy kollektoros) valamint felszíni víz és a termál csurgalékvíz is. Önmagában teljes értékű és kiegészítő fűtésre is alkalmas. Nagyon jól szabályozható és jó hatásfokú lehet jól megválasztott hőlépcsők esetén. Egységnyi bevezetett segédenergiával 3-4-szeres mennyiségű fűtési energia állítható elő. Megbízható berendezés, karbantartási igénye alacsony.

Hátránya:

Telepítése és üzemeltetése fokozott figyelmet és szakértelmet kíván. A nagy fűtési energiaigény esetén magas áramfogyasztással kell számolni. Hatékonyság szempontjából a hasznos közeghőmérséklet behatárolt.

4.3.2. Az energiahordozók összehasonlításának eredményei

A rendszerek bekerülési költsége és a fajlagos energia ára

Mivel a fűtési igény országosan tájegységenként különböző külső tényezők hatására változhat, ezért a 4.4-4.6 táblázatokból vett értékek nem alkalmazhatóak általánosságban minden területre, inkább csak összehasonlítási célt szolgálnak.

A 4.5. táblázatban található energiahordozók ára meghatározásakor a magyarországi ipari felhasználókra vonatkozó árak átlagértékét vettem alapul. A berendezések árának meghatározásakor igyekeztem a jó minőségű, a jó ár/érték arányú berendezést kiválasztani. Mivel a piacon nagyon sok gyártó termékei megtalálhatók, az olcsóbb kategóriától a prémium kategóriáig, ezért a táblázatba egy hazai értékesítési- és szerviz hálózattal rendelkező gyártó árait illesztettem be. A termálkút fűrésére hazai – referenciával rendelkező - kútúró cég ajánlatával számoltam.

Az üzemeltetési költségek meghatározásakor figyelembe vettem a rendszerek használatával együtt járó adó és bírság tételeket is. Mindegyik energiatermelési mód esetén legális, engedélyezett, a hatósági előírásoknak messzemenően kielégítő üzemeltetési móddal számoltam. A díjak tartalmazzák a környezetvédelmi és környezetterhelési díjakat is. Itt egy ellentmondást fel kell oldani. A környezetvédelmi díjak egy része a hazai gyakorlatban bírságként kerül meghatározásra, miközben a nyugat-európai gyakorlat szerint a bírsággal sújtott tevékenységek nem folytathatók. Ezért is a hazai elnevezés nemzetközi összehasonlításban zavaró lehet, aggályokat vet fel és konfliktust okozhat, hiszen itt adó jellegű költségként számolunk bírságnak nevezett környezetterhelési díjakkal.

Hazai körülmények között a téli növényházi termesztés a 30 °C-os hőlépcsőt jelent (Δt). A növekvő fosszilis energiahordozó árak miatt a téli termesztés a geotermikus energia hatékony felhasználás mellett egyre inkább versenyképes.

Végül is a tervezőktől és üzemeltetőktől kapott adatok, valamint az internetes weblapos ajánlatok alapján határoztam meg az egyes rendszerek költségeit 1600kW hőteljesítmény igényt figyelembe véve (4.4. táblázat). Hasonlóan jártam el a tüzelőanyagok árának megjelölésénél is (4.5. táblázat)

4.4. táblázat Az egyes rendszerek bekerülési költsége

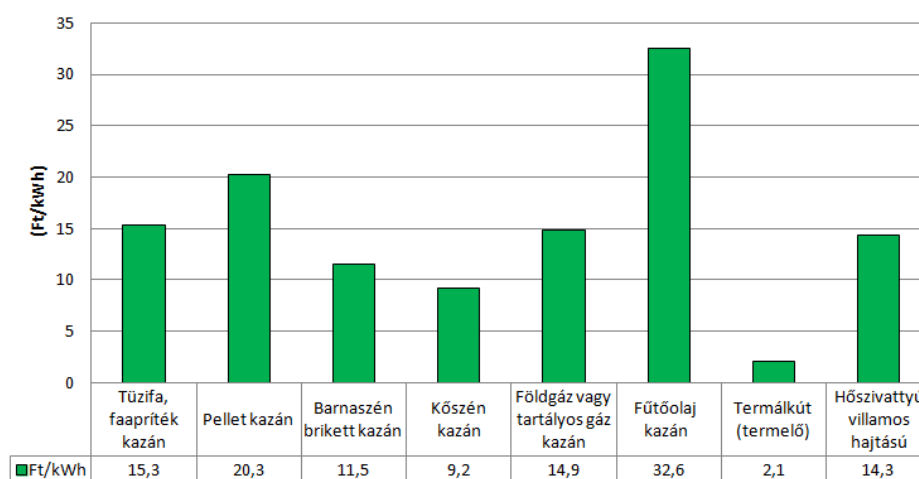
	A bekerülési költsége	A várható élettartama	Élettartamra vonatkoztatott éves ár
	[Ft]	év	[Ft/év]
Tüzipfa, faapríték kazán	26 500 000	20	1 325 000
Pellet kazán	25 000 000	15	1 666 667
Barnaszén brikett kazán	15 000 000	20	750 000
Kőszén kazán	15 000 000	20	750 000
Földgáz vagy tartályos gáz kazán	7 500 000	25	300 000
Fűtőolaj kazán	18 000 000	20	900 000
Termálkút (termelő)	145 000 000	40	3 625 000
Hőszivattyú villamos hajtású	128 000 000	25	5 120 000

4.5. táblázat Az egységár és a kinyerhető tényleges energia

	Fűtőérték ill. kinyerhető energia egységenként	Az energiahordozó egységára	Az átalakítás hatásfoka	Kinyert tényleges energia
Tüzipfa, faapríték	4,0-4,4 kWh/kg	45 Ft/kg	75%	3-3,3 kWh/kg
Pellet	5 kWh/kg	75 Ft/kg	75%	3,75 kWh/kg
Barnaszén brikett	5,6 kWh/kg	54 Ft/kg	85%	4,76 kWh/kg
Kőszén	8,2 kWh/kg	63 Ft/kg	85%	6,97 kWh/kg
Földgáz vagy tartályos gáz	9,7-12,5 kWh/m ³	135 Ft/m ³	94%	9,12 - 11,75 kWh/m ³
Fűtőolaj	11,1 kWh/kg	330 Ft/kg	92%	10,2 kWh/kg
Termálvíz	0,06 kWh/kg (dt=85/30)	0,0247 Ft/kg	n.é	n.é
Hőszivattyú, levegős	1 kWh/kWh	35-45 Ft/kWh	COP 3,5-4	3,5-4,0 kWh/kWh
Hőszivattyú, talajhős	1 kWh/kWh	35-45 Ft/kWh	COP 5-6	5-6 kWh/kWh

4.6. táblázat A fajlagos energia költség és az éves energia költség

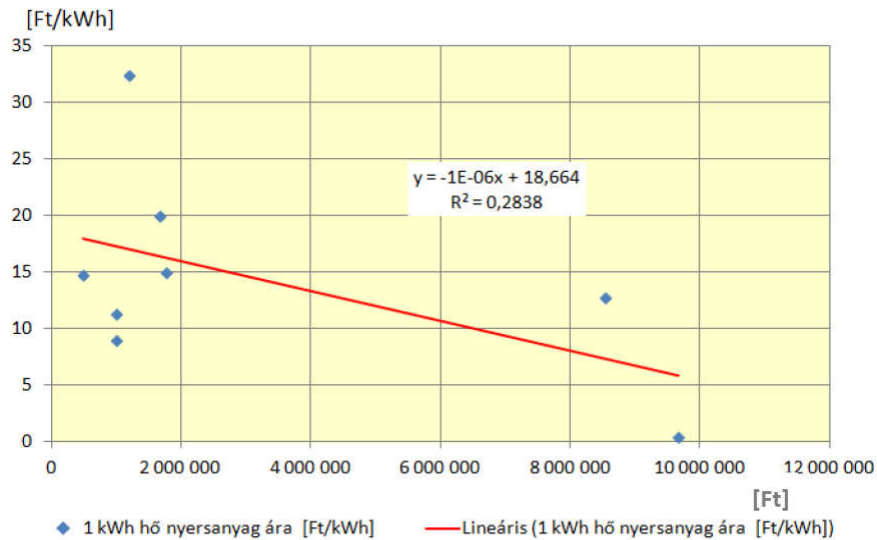
	A rendszer 15 éves megtérülésre vonatkoztatott éves ára	1 kWh hő nyersanyag ára	Éves energia költség (nyersanyag + berendezés) 15 éves megtérülésre
	[Ft]	[Ft/kWh]	[Ft/év]
Tűzifa, faapríték kazán	1 767 000	15	88 167 000
Pellet kazán	1 667 000	20	116 867 000
Barnaszén brikett kazán	1 000 000	11,3	66 318 400
Kőszén kazán	1 000 000	9	53 012 800
Földgáz vagy tartályos gáz kazán	500 000	14,8	85 748 000
Fűtőolaj kazán	1 200 000	32,4	187 536 000
Termálkút (termelő)	9 667 000	0,4	12 028 600
Hőszivattyú villamos hajtású	8 534 000	12,8	82 262 000



4.34. ábra 1,0 kWh hő teljes ára a rendszer 15 éves megtérülése esetén

A diagram (4.34. ábra) adataiból is látszik, hogy a legelőnyösebb a termálkutas fűtési rendszer, majd ezt követik a kő- és barnaszén-féleségek, a hőszivattyúzás 4. helyen van. A számítás helyes az adott szituációkra, de a hőszivattyús rendszereknek további lehetősége is van, amelyet majd a következőkben mutatok be. A részletezése előtt meg kell említeni, hogy a termálvizes megoldás a legegyszerűbb technikai rendszerre vonatkozik (lásd 4.37. ábra A variáció).

A rendszer 15 éves megtérülésre vonatkoztatott éves ára és a hő nyersanyag árának a viszonya negatív tendenciát mutat, tehát a beruházási költség növekedésével a szolgáltatott hő nyersanyag ára csökken. A szénes rendszerek energia költsége e viszonylatban alacsony, de egyéb más költségtényezőkkel is számolva (CO₂, porképződés, hamu stb.) az előny eliminálódik.



4.35.ábra A rendszer 15 éves megtérülésre vonatkoztatott éves ára és a hő nyersanyag árának a viszonya

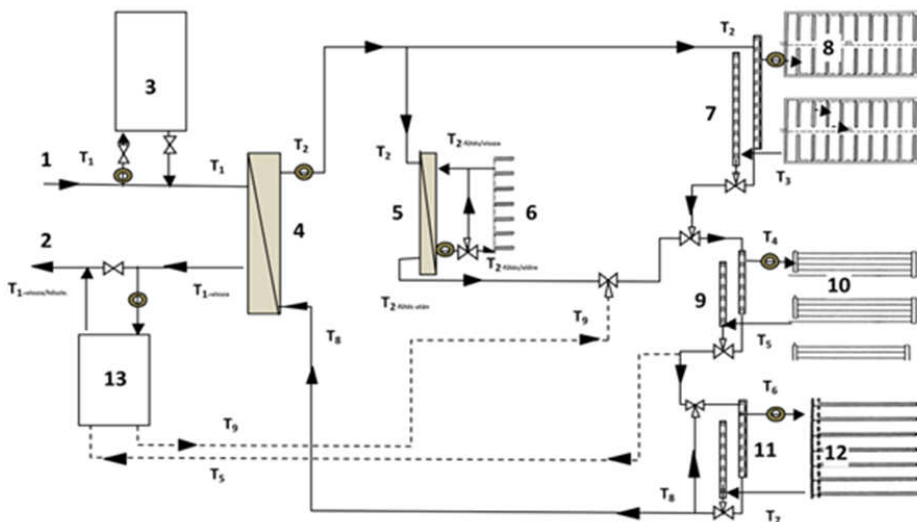
4.4. Növényházi fejlesztés a fenntarthatóság érdekében

4.4.1. Hőszivattyú használata, gazdaságossága, környezetvédelmi aspektusok

Termálvizes rendszer és a hőszivattyúzás alkalmazása

A korszerű nagy légtérű házak a legfejlettebb építési technológiák és a legkifinomultabb műszaki megoldások segítségével nagyléptékű fejlődést valószínűsít az ágazatban.

A korszerű kertészeti termesztő rendszerekben a fluidomok geotermikus energia tartalmát több lépcsőben hasznosítják, s a fenntarthatóságáról sem feledkeznek meg (4.36. ábra).



4.36. ábra Korszerű növényház elvi fűtési rendszere

Az ábra jelei: 1- termelő kút, 2- elnyelő kút, 3- puffertározó, 4- főkörök hőcserélője/hőközpont, 5- szociális épületek hőcserélője, 6- szociális épület fűtése, 7- vegetációs fűtés osztó-gyűjtői, 8- vegetációs fűtés, 9- hajtáscsúcs fűtés osztó-gyűjtői, 10- hajtáscsúcs fűtés, 11- talajfűtés osztó-gyűjtői, 12- talajfűtés, 13- hőszivattyú

4.7. táblázat Fűtőközeg hőmérséklet értékek a rendszer különböző pontjain

A fűtési ágak jele	Víz hőmérséklet [°C]	A fűtési ágak jele	Víz hőmérséklet [°C]
T1	80	T3	55
T1 vissza	25	T4	38
T1vissza/hősziv.	10	T5	35
T2	75	T6	35
T2 fűtés/előre	70	T7	25
T2 fűtés/vissza	40	T8	25
T2 fűtés után	35	T9	45

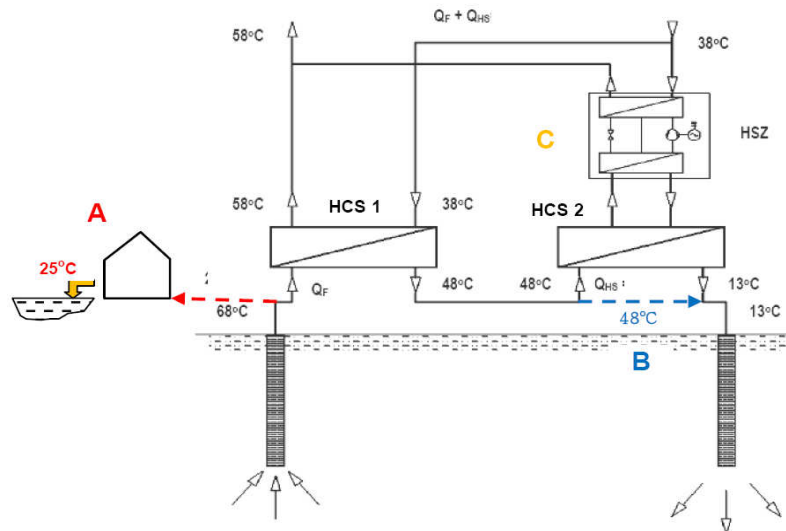
A magas technikai színvonalon megvalósuló növényházak a mai - határok nélküli - nyitott kereskedelmi időszakban valójában egy viszonylag szűk időintervallumban képesek jelentős haszonnal működni. Ez az időszak a dél-nyugat európai és észak-afrikai fűtés nélküli üvegházak dömpingidőszaka és a hazai szabadföldi zöldségtermesztés és fűtés nélküli növényházak dömpingidőszaka közötti néhány hónapos intervallum. A gyakorlatban december és május közé esik.

A hazai zöldségtermesztés versenyképességét és rentabilitását a geotermikus energia felhasználása alapvetően meghatározza. A felhasználás további növelése nemzeti érdek. Ahhoz, hogy e kincs a jövő nemzedékek számára is rendelkezésre álljon, a felhasználásával igen körültekintően kell eljárni.

Igen fontos momentum, a készlet mennyiségi fenntartása. Ezért is azokon a területeken ahol jelenleg bőségesen és megfelelő entalpiatartalommal áll rendelkezésre, de a készlet több millió éves és nincs belátható időn belüli természetes pótlódása, ott csak a kivett, majd az entalpiájában leszegényített fluidum közvetlen visszavezetése, visszatáplálása lehet az elfogadható megoldás. A szakemberek ezt már régen felismerték és számos kísérlet folyt és folyik a sikeres, gazdaságos visszatáplálására.

További eredménye: ha a hőenergiáját leadó vizet a víztároló rétegekbe visszasajtolják, akkor a felszíni élővizek hő- és sószennyezése nem következik be.

Ahogy korábban említettem a kutakból nyert termálvíz felszíni elhelyezése (4.37. ábra A variáció) környezetvédelmi aggályokat vet fel magas sótartalma miatt (ezért van a környezetterhelési bírság). Termál kutakba a vízadó rétegbe való visszasajtolás (4.37. ábra B variáció) ivóvízbázis- védelmi aggályokat vet fel a sekélyebb rétegek esetén. Ennek ellenére a fenntarthatósági okok miatt az alkalmazására szükség lesz. További lehetőség a visszasajtolás, vagy felszíni elhelyezés előtt a magas entalpiájú fluidumból a hőenergia kinyerése hőszivattyú alkalmazásával (4.37. ábra C variáció).



4.37. ábra A termásvíz felhasználásának lehetőségei

A = a kútból kijövő termásvízzel közvetlen fűtés, a lehűlt (25°C) víz pihentető tóba vezetése

B = a kútból kijövő termásvíz hőcserélőbe vezetése (HCS-1) és a kivett hő miatt csökkent hőmérsékletű víz (48°C) visszasajtolása

C = a kútból kijövő termásvíz hőcserélőbe vezetése (HCS-1) és a kivett hő miatt csökkent hőmérsékletű víz (48°C) visszasajtolás előtt hőcserélőbe vezetése (HCS-2) és hőszivattyú alkalmazása, majd alacsony hőfokú (13°C) visszasajtolása, a nyert hő a fűtési rendszerbe vezetése

A technológiai rendszer bemutatása, a számítás módszere

A mai már a termokonvekciós rendszerekben - szinte kizárólag - a kutakból kivett hőenergiát hőcserélőkön keresztül nyerik (4.38. ábra) ki és adják át a felhasználói oldalnak.



4.38. ábra A fűtési körnél alkalmazott lemezes hőcserélő

A hőszivattyúval kinyerhető hőteljesítmények a tömegáram és a hőcserélőnél a ΔT (be- és kimenő fluidum hőfok különbségének) függvénye:

A - esetben

$$Q_{FA} = \dot{m}c(T_{68} - T_{25}) \quad (4.2)$$

B – esetben

$$Q_{FB} = \dot{m}c(T_{68} - T_{48}) \quad (4.3)$$

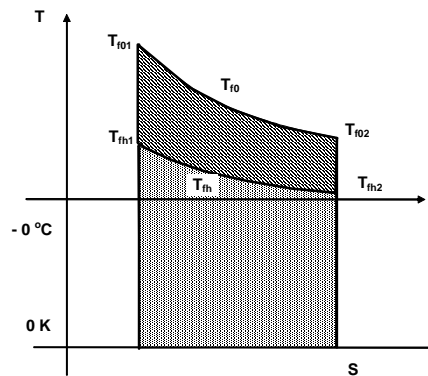
C –hőszivattyú révén

$$Q_{FC} = \dot{m}c(T_{48} - T_{13}) \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_f - 1} \quad (4.4)$$

B és C esetben együttesen:

$$Q_{F(C-B)} = Q_{FB} + Q_{FC} \quad (4.5)$$

A hőelvonási folyamatok jól leírhatók termodinamikai módszerekkel. Példa gyanánt a hőszivattyúval elvont hő és leadott fűtési hő termodinamikai átlaghőmérsékletét mutathatjuk be az ún. T-s diagrammal (4.39. ábra). Az átlaghőmérséklet, a bemenő magasabb és az alacsonyabb kimenő hőmérsékletből adódik. Praktikusan az átlaghőmérsékletet a logaritmus középhőmérséklet adja.



4.39. ábra A hőszivattyú munkája T-S diagramban ábrázolva

A termodinamikai átlaghőmérséklet felhasználásával tudjuk meghatározni a hőszivattyú alkalmazás ún. jósági tényezőjét (ε , ill. COP). Az ε valójában a T-S-ből is számítható elméleti tényező.

A hőszivattyúval a hőcserélő meleg oldali elemén (elpárologtató) és a fűtőoldalon leadott (kondenzátor) hő átlagos hőmérséklete:

Ennek megfelelően T-S diagram szerint a hőleadó oldal:

$$\overline{T}_{fo} = \frac{\overline{T}_{fo1} - \overline{T}_{fo2}}{\ln \frac{\overline{T}_{fo1}}{\overline{T}_{fo2}}} \quad (4.6)$$

és a hőfelvevő oldal:

$$\overline{T}_{fh} = \frac{\overline{T}_{fh1} - \overline{T}_{fh2}}{\ln \frac{\overline{T}_{fh1}}{\overline{T}_{fh2}}} \quad (4.7)$$

Ahol

T_{fo1} és T_{fo2} = nagyobb* hőmérsékleti pont (K)

T_{fh2} és T_{fh1} = kisebb* hőmérsékleti pont (K)

*Az ábra szerint: 1 = nagyobb, 2 = kisebb.

A már mutatott C esetre:

$$Q_{FC} = \dot{m}c(T_{fo} - T_{fh}) \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_f - 1} \quad (4.8)$$

Ezzel az elméleti fűtési tényező:

$$\varepsilon_f = \frac{\bar{T}_{fo}}{\bar{T}_{fo} - \bar{T}_{fh}} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_f = \frac{Q_{FC}}{E_o} \quad (4.10)$$

Ahol:

\bar{T}_{fo} = a fűtésre (kimenő) víz átlaghőmérséklete (K),

\bar{T}_{fh} = a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete (K).

illetve:

Q_{FC} = hasznos hőenergia (J),

E_o = a rendszer működtetéséhez felhasznált energia (J).

A valóságos ε_{fv} az elméleti értéknél kisebb:

$$\varepsilon_{fv} = \delta \varepsilon_f \quad (4.11)$$

Ahol δ a korrekciós tényező (gyakorlati számításoknál a szakirodalom szerint, a nagyobb biztonság céljából 0,4-re célszerű megválasztani).

4.4.2. Hőszivattyú alkalmazásakor a hőtermelés energetikai értékelése

A hőszivattyú segítségével történő hőtermelés során mindenkor felvetődő kérdés, hogy a felhasznált megújuló energiát (jelen esetben a geotermális hő utóhűtését) milyen hatékonysággal hasznosítja a hőszivattyú. A válasz, ha a hőszivattyú alkalmazást hagyományos (pl. földgáz alapú) hőtermeléssel hasonlítjuk össze (Büki, 2013).

Hőszivattyúnál a Q hő termeléséhez a villamos hajtásnál a felhasznált villamos energia

$$P = \frac{Q}{\varepsilon_f}, \quad (4.12)$$

ennek primerenergia vonzata, azaz pl. földgáz felhasználása:

$$G_{fg} = \frac{P}{\eta_E} = \frac{Q}{\varepsilon_f \eta_E} \quad (4.13)$$

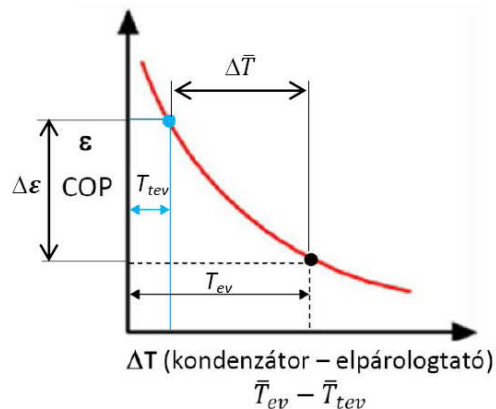
Az összefüggésben $\varepsilon_f = Q/P$ a villamos hajtású hőszivattyú fűtési tényezője,

$\eta_E = P/Q_{fg}$ a felhasznált villamos energia előállításának hatásfoka (a hőszivattyúzás mennyiségi veszteségeitől eltekintünk).

A fentiekből kitűnik, hogy a visszasajtolás, vagy elfolytatás előtti hőszivattyú alkalmazással kinyerhető energia a 60-80%-ban megközelítheti a közvetlen felhasználáskor nyert energiát.

Helyes kalkulációnál ezt az energiát, és a hőszivattyú alkalmazás üzemeltetési költségét kell szembe állítani egy új kútpár beruházási költségével, ill. elfolyatás esetén a környezetterhelési adóval. Azokon a helyeken ahol a visszasajtolás problémamentesen megoldható versenyképes lehet a közvetlen hőnyeréssel, de a megújulókból származó villamos energia felhasználásával a fenntarthatóságot a leginkább szolgálja.

A fentiek alapján, ha nagyon alacsony elpárologtatási hőfokot választunk, tehát a visszasajtolási hőmérsékletet csökkentjük, de a kondenzátorét nem, akkor romlik a jósági tényező értéke. Hasonló a helyzet a kondenzátori oldalon, ha a fűtési hőfokot növelni akarjuk (4.40. ábra).



4.40. ábra COP alakulása a kondenzátor és az elpárologtató hőmérsékletének függvényében

A valóságot megközelítő példa alapján kiszámítottam egy rendszernél a COP tényező értékét:

Az evaporátor oldalon 30°C bemenő és 13°C távozó fluidum esetén, miközben a kondenzátor oldalon 50°C kimenő és 38°C visszatérő értékek vannak.

Ekkor az elméleti COP így 13,78, ami gyakorlatban1 (a veszteségekkel) 5,5-6,0 gazdaságosnak vélhető értékre módosul.

Ha az evaporátor oldalon 25°C-os a bemenő és 8°C –os a távozó fluidum, miközben a kondenzátor oldalon 55°C –os a kimenő és 40°C –os a visszatérő érték, akkor az elméleti COP már csupán ~7,0, ami gyakorlatilag (a veszteségekkel) 2,8-3,0 értékre módosul. Ez már nem lenne gazdaságos.

4.4.3. A gazdaságossági értékelés

- A kút tömegárama: 100m³/h.
- Az első hőcserélőnél a $\Delta T = 34^{\circ}\text{C}$ (68-32)
- A második hőcserélőnél, amelynek hideg oldala a hőszivattyú elpárologtatójával működik együtt a $\Delta T = 22^{\circ}\text{C}$ (32-10).

Ezzel számolva és 5 éves élettartam esetén (itt, most nem részletezve az amortizációval és a folyamatos költségeivel együtt) még a legolcsóbb köszéntüzeléssel szemben is előnyösebb. COP=5.0 érték esetén, a szükséges hajtóteljesítmény ~400kW. A hőszivattyú ára a hőcserélővel, tartozékaival és szereléssel együtt ~60MFt.

4.8. táblázat A visszasajtoló kút elé épített hőszivattyúval (10°C-ra) kivehető energia

CSAK HŐCSERÉLŐ	Jel	Dimenzió	Kedvező COP	Éves átlag SPF
Kút hozama	m	kg/s	27,7	27,7
Kútfej hőfoka	t_k	°C	68	68
A hőkivétel utáni fluidum	t_v	°C	32	32
Fajhő	c	kWh/kg°C	4,23	4,23
A hőkivételi teljesítmény	Q_1	kW	4 218	4 218
HŐSZIVATTYÚ				
Hőszivattyúval lehűtött fluidum	t_{csz}	°C	10	10
A hőszivattyú kondenzátor oldal	t_{ko}	°C	48	48
A hőszivattyú: COP és SPF			COP = 5.5	SPF = 3,7
Korrekciós tényező	v		0,4	0,4
Hőszivattyúval nyert teljesítmény	Q_{hsz}	kW	4 123	3 090
Összes teljesítmény	$Q_{össz}$	kW	8 341	7 308

A táblázatban látható, hogy a (~100m³/h) 32°C-os fluidumot 10°C-ra lehűtve közel annyi teljesítményt kapunk mint a kútból a technológiai hőkivétellel.

Mit nyertünk (visszasajtolás esetén): nincs új kútpár fúrási kényszer, ami 350-400 millió Ft költséget jelentene, plusz a csövezés a felhasználás helyéig.

Ezzel szemben a hőszivattyú 70-80 millió Ft beruházást igényel. Nyilván a hőszivattyúnak villamos energia igénye van. COP 4-es értékkel számolva 4kWh/1kWh, ami 20Ft/kWh villamos energia költség esetén óránként $20 \times 4123/4 = 1031 \times 20 = 20620$ Ft/h költséget jelent. Ha fluidum kinyerése összesen, de csupán 5,0 Ft/kWh óra, akkor a többlet (4123×5 , azaz 20615Ft – 20620 Ft) ~ 5-10 Ft/óra.

Évi 2000 óra csúcsfogyasztással számolva 8,3 millió Ft/év a a szivattyúzás energia költsége.

A hőszivattyú élettartama 20 év akkor 4,0 millió Ft az évi amortizációs költség (az egyszerűsítés miatt eltekintettem a kutak és a rendszer karbantartási, javítási költségeitől). Ezzel a hőszivattyúzás összesen ~ 12,3 millió Ft/év. Szembe állítva a kútpár nagyobb egyszeri beruházásával, s annak 40 éves életciklusával, 10,0 millió Ft/év az amortizációja. Tehát az üzemeltetési költség az utólagos hőszivattyú fajlagos költségét jelentősen nem növeli. Lényeges, hogy kisebb az egyszeri beruházási költség, és kisebb a kockázat, mivel közel sem biztos, hogy az új kútpár milyen eredményt produkál.

Ha további variációként a kalkulációt elvégezzük, erre a teljesítményre (átlagos körülmények között, H =1400-1600m) új kút furására is, még mindig pozitív eredményt kapunk.

E rendszer különösen előnyös akkor, ha az ültetvényünket növeljük, s nő az energia igény, de új geotermikus beruházást nem kívánunk létesíteni.

Fontos megjegyezni, hogy a gazdaságos üzemeltetés nagymértékben függ a villamos energia költségétől. Ezek ismeretében ahol a kutak metán kísérőgáz tartalma alkalmas a felfogásra, ott saját – helyi áramtermeléssel kapjuk a mind környezetvédelmi, mind gazdaságossági szempontból legkedvezőbb megoldást.

A veszteségek megközelítő jellemzése

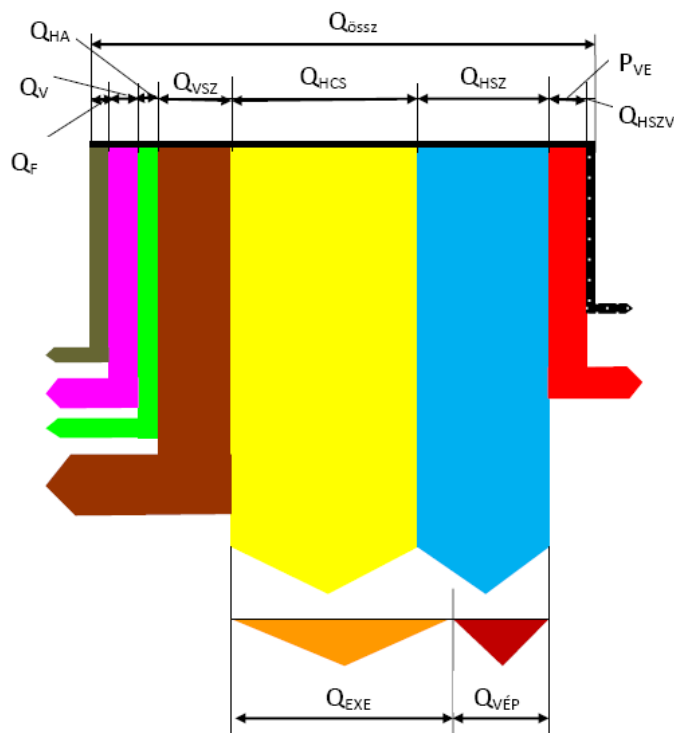
A fentebbi (globális) számítást entalpia alapon végeztem el. A számítás egyszerűsítéséhez és a különbség bemutatásához számos elhanyagolást végeztem, ami néhány százalékos hibát adhat, viszont a különféle növényházaknál mind a technológiai, mind az épületgépészeti veszteségek a kivitelettől függően eltérők lehetnek. Ennek érzékeltetésére a rendszert bemutatom exergia szemlélettel is, amelyhez útmutatóként Kontra (2012) vonatkozó kutatását használtam. Szerinte a zárt geotermikus körfolyamatot a termodinamikából ismert exergia-szemlélet jól jellemzi. Kiválóan alkalmas a veszteségek feltárására, amely energiák, esetemben a növényházban nem hasznosulnak, de a rendszer velejárói.

Az exergia részaránya annál nagyobb, minél nagyobb része a növények életterének átadott energia. A technológiai feladat, hogy minél kisebb legyen a veszteség az anergia (a pótlólagos energia igényt is beleértve).

Ha a növényház exergiája a külső hőmérséklettel azonos értéken van, s nincs energia vesztesége és nyérése, akkor a rendszernek nincs exenergiája, a fluidum összes entalpiája energia.

A vizsgálatomnál a fluidum entalpiája addig használható, amíg a növényház igényel hőt és egyensúly alakul ki a bevitt és a környezetnek leadott energia között. A Joule körfolyamathoz hasonlóan a növényház sem működhet veszteségek nélkül, sőt a növényházat elhagyó fluidum még jelentős energiával rendelkezik, mivel a külső hőmérséklet a fűtési idényben kisebb, mint a belső. Az elfolyó, vagy visszasajtolásnak alávetett fluidum energiában tovább szegényíthető, ha hőszivattyú alkalmazással az entalpiáját elveszük és magasabb (értékesebb) hőfokon a rendszeren belül felhasználjuk.

Ennek egyszerűsített működési formája a két kutas rendszer (Kontra, 2005), ahol a termelő és a visszasajtoló kút-pár, hidrodinamikailag zárt rendszernek tekinthető. A visszasajtolás, a közbenső tárolás és a hőszivattyúzás energia diagramját a 4.41. ábra szemlélteti az energia és exergia feltüntetésével.



4.41. ábra A zárt geotermikus körfolyamat

- $Q_{\text{össz}}$ = fluidum összes energiája 72°C-on
- Q_F = kútfojtás veszteség
- Q_V = távvezeték és tárolási veszteség
- Q_{HA} = hőátadási veszteség (hőcserélő, osztók.)
- Q_{HCS} = hasznos, a növényház fűtésére használt energia (a hőcserélő után)
- Q_{VSZ} = a visszasajtolt fluidum energiája (hőszivattyúzás után)
- Q_{HSZ} = a hőszivattyú kondenzátorán leadott hasznos, a növényház fűtésére használt energia
- P_{VE} = a hőszivattyú hajtására felhasznált energia (villamos)
- Q_{HSZV} = a hőszivattyúzás egységein fellépő veszteség
- Q_{EXE} = a hasznosult hőenergia (exergia)
- Q_F = a növényház veszteség energiája (konduktív, konvektív (légcseré), radiáció)
- $Q_{VÉP}$ = az növényház hőveszteségei

Végül is:

$$Q_{EXE} = (Q_{HCS} + Q_{HSZ}) - Q_{VÉP} \quad (4.14)$$

Miközben az összes energia (veszteség):

$$Q_{veszt} = Q_{\text{össz}} - Q_{exe} \quad (4.15)$$

Az entalpia alapján végzett számításból kiindulva, a diagram arányai alapján látható, hogy az összes ($Q_{\text{össz}}$) energiát 100%-nak tekintve a növényházban a termelési célból hasznos exergia (Q_{exe}) $\cong 40\%$ -ra alakul, tehát az aenergia (Q_{veszt}) $\cong 60\%$.

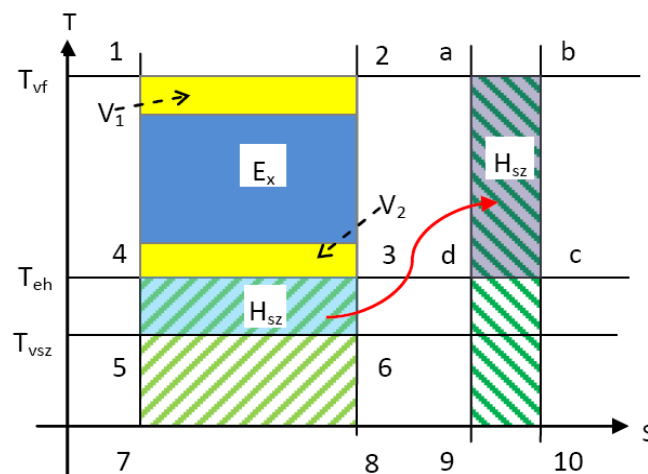
A hőszivattyúval kiegészített fűtési rendszer vizsgálata exergia alapon

Ha a 4.36. ábrán bemutatott növényház elvi fűtési rendszerében a vegetációs fűtési energiát a T_5 hőfokon visszük a rendszerbe. A hőszivattyúval előállított $T_4=T_5$ hőfokú fűtővíz ezt a hőfokigényt jó COP mellett képes biztosítani. Ha e folyamatot exergia szemlélettel vizsgáljuk a 4.42 ábra szerint, akkor a következő jellemzés valósul meg.

A T-s diagramban az állapotváltozási vonalak alatti területek a hőt jelentik, így azt mondhatjuk, hogy T_{vf} hőmérséklet biztosításához az 1-2-7-8 pontok által határolt terület jelzi a szükséges hőmennyiséget. A környezetben rendelkezésre áll a 3-4-7-8 terület által jelzett hőmennyiség. Exergetikailag ha a referencia hőmérséklet egyenlő a környezeti hőmérséklettel, akkor az 1-2-3-4 terület (a V_{sz} veszteségeket leszámítva kapjuk) a hasznos felhasznált energia (E_x). A vegetációs fűtés hőfokát (T_5) (hőmennyiséget) a hőszivattyú szekunder (kondenzációs) oldaláról segítjük, amit a környezetnek vissza nem adott hőből veszünk el.

Az ábrán a két terület a 3-4-7-8 és az a-b-9-10 egyenlő kell legyen (veszteségekkel nyilvánvalóan nagyobb). Ennek az exergiatartalma (a-b-c-d) megfelel a vegetációs fűtéshez megkívánt hőfokszintnek.

Jó exergetikai hatásfokú fűtési rendszerünk abban az esetben, ha pontosan annyi exergiát használunk el, mint amennyi szükséges. A gyakorlatban ehhez kell megválasztani a hőszivattyút.



4.42. ábra A hőszivattyú alkalmazása révén a rendszer exergiája növekszik

Összefoglalva: A hőszivattyú alkalmazás révén a rendszer exergiája növekszik, a fűtővíz jelentősen különbözik jellemzőiben a környezetétől. Ez fennáll mind a belső, mind a külső környezetre is, de lényeges, hogy a kritikusabb téli időszakban magasabb exergia tartalommal rendelkezik, mint egy forró nyári napon.

4.4.4. A hőszivattyúk alkalmazásának környezetvédelmi megközelítése

Az alábbiakban összehasonlítom, hogy egységnyi hőenergia gázkazános, illetve (villamos energiával hajtott) hőszivattyús előállítására mennyi széndioxid kibocsátással jár.

Fűtés földgázzal, kazánal

Magyarországon a fűtési célú hőenergiát döntő részben földgáz eltüzelésével termelik meg.

Alapadatok:

- 1 m³ földgáz elégetésével keletkező CO₂ mennyisége: 1,88 kg
- a földgáz fűtőértéke: 35 MJ/m³
- egy átlagos gázkazán tüzeléstechnikai hatásfoka: 85%

Eredmény: 1 GJ hasznos hőenergia megtermelésekor 63,3 kg CO₂ jut a levegőbe.

A fajlagos széndioxid kibocsátás: 63,3 kg/GJ

Fűtés hőszivattyú alkalmazással

A villamos energiával hajtott hőszivattyú nem a működése helyén hoz létre széndioxid kibocsátást, hanem a villamos energiát megtermelő erőműben. Mivel Magyarországon a villamos energiatermelést az jellemzi, hogy a Paksi Atomerőmű adja az alapellátást, a fosszilis energiahordozóval működő erőművek pedig a fogyasztási igényeknek megfelelően egészítik ki a termelést. A hőszivattyúk elterjedésével többlet igény keletkezik, amely villamos energiát feltétlenül a fosszilis erőművek fogják szolgáltatni. Ezek az erőművek 2012-ben kb. 13 millió MWh energiát adtak ki a villamos hálózatra, miközben hozzávetőlegesen 17 millió tonna széndioxidot bocsátottak ki a légkörbe.

Alapadatok:

a, Vonalra adott villamos energia 2012-ben:	13 006 772 MWh
b, Fosszilis erőművek CO ₂ kibocsátása 2012-ben:	16 693 000 t
c, Villamos energia szállítási vesztesége:	9,1 %
d, Hőszivattyú jósági tényezője (COP):	4,5

A fajlagos széndioxid kibocsátás: 87,2 kg/GJ

Azt is mondhatjuk, hogy a hőszivattyús hőenergia előállításnak minimálisan 6,26-os jósági tényezővel (COP) kellene megvalósulnia ahhoz, hogy a széndioxid kibocsátás ne legyen nagyobb, mintha földgázt közvetlenül kazánban égetnénk el. Kertészeteknél a kedvező hőmérsékleti szintek következtében e feltétel mindenképpen teljesül.

Fentiek analógiájára kiszámítható a nitrogén oxidok és a szénmonoxid kibocsátás fajlagos értéke mindkét hőellátási módra. Ugyanez azonban nem tehető meg a kéndioxiddal, mert a földgáztüzeléssel ilyen anyag nem kerül a levegőbe, míg a fosszilis erőművek kéndioxid kibocsátása 2012-ben mintegy 230.000 tonna volt.

4.5. Puffer tároló mérési eredmények

A növényházi fűtési rendszerben előnyös, ha az energia ellátás puffer-tárolón keresztül történik.

A havi, ill. napi egyenetlen hőigény, amit a külső, időjárásfüggő hőmérséklet generál, de

- a tápláló kutak vizellátó rendszerének meghibásodása is indokolja, és a
- hőtárolást biztosító puffer-tartály rendszer után az üvegház fűtése folyamatos maradhat.

A napi hőigény ingadozások kiküszöbölésére termálvizes fűtési rendszereknél a puffertartály alkalmazásával tartalék fűtés rendelkezésre állása küszöbölhető ki, ami lehet tartalék gázfűtési rendszer, vagy tartalék termálkút is.

A nappali hőigény kielégítésére és a puffer tartály töltésére a termálkút folyamatos üzeme megfelelő, az éjszakai igényekre a kút és a puffertartály együttes vízmennyisége alkalmas.

A hőfogyasztók hőleadói a fűtővizet a tárolóból kapják, melyet szivattyú keringtet a fűtési körben. Mivel a talaj hőmérséklete évszaktól függetlenül azonos hőmérsékletű, ezért megfelelő méretezés esetén az egész fűtési idényben, kiegészítő fűtés alkalmazása nélkül képes biztosítani mind a hőveszteség pótlásához, szükséges fűtőteljesítményt.

A Szegváron megvalósított puffer tároló

A mai korszerű puffer tárolók mérete és méretezése a felhasználás jellegétől, a rendelkezésre álló víz mennyiségétől, hőjétől, a felhasználási hely méretétől, a csőrendszer méretezésétől, a növényház jellemzőitől és a termesztett növénytől függ.

A létesítés megkezdése előtt ismert:

- a létesítmény alapterülete,
- kiválasztásra kerül az épület, melynek az alapvető hőtechnikai jellemzőit a szállító rendelkezésre bocsátja.
- a termesztésre kerülő növény és a termesztési időszak,
- a rendelkezésre álló termálvíz energiatartalma, azaz a kutak hőtéljesítménye,
- a létesítmény és a kutak távolsága (a szállítócsövek jellemzői stb.)

Általánosságban legelterjedtebbek a könnyűszerkezetes tartályok. Ezek vasbeton alapra épült lemez aljú és oldalú hengeres, tetején tetővel záródó tartályok. Szerkezetük előre hajlított fekete lemezből készül. A tartályok külső-belső korrózióvédő bevonatot kapnak, majd ezt követően kerül sor a két rétegű, összesen 20 cm vastag közetgyapot szigetelésre. A burkolás előtti utolsó fázisban helyükre kerülnek a hőmérséklet- és vízszint távadó berendezések.

A tartály belsejében a bekerülő víz mennyiségétől és összetételétől függően hullámtörő és gáztalanítást elősegítő terelő lemezek vannak. A gáztalanítás a tartállysapkán elhelyezett csövön át történik. Fontos a tartály anyagából és méretéből adódó villámvédelmi védőföldelés kialakítása.



4.43. ábra 750 m³-es könnyűszerkezetes termámvíz kiegyenlítő tároló (Szegvár)

A fentebb jelzett tényezők mellett a méret meghatározásánál figyelembe vettük a növényház jellemzőit, valamint a területet jellemző klimatikus viszonyait.

A növényházak fűtőrendszerének folyamatosan azt a hőt kell pótolnia, amely a burkolaton és a szellőző levegővel átadódott a környezetnek. Ha a házak határoló szerkezetét 90–95%-ban egyneműnek vesszük, és az ezen távozó (Q_o) hőt tekintjük alap hőveszteségnek, akkor az egyes hőleadó felületek hőveszteségéből számítható:

$$Q_o = A_h \cdot k_o (t_i - t_e) \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (4.16)$$

ahol:

- A_h – a növényházburkolat felülete [m²],
- k_o – a növényház burkolatának hőátbocsátási tényezője [W m⁻² K⁻¹],
- t_i – a növényház belső légtér-hőmérséklete [°C],
- t_e – a növényház külső környezetének légtér-hőmérséklete [°C].

A szériában gyártott növényházaknál az épület hőtechnikai jellemzői ismertek, de a helyi viszonyoktól való alakításnál végrehajtott módosítások miatt célszerű ellenőrző számításokat végezni.

A hőátbocsátás olyan hőátviteli mód, amelyben a hővezetés, a hőátadás – vagy konvekció – és a hőszugárzás egyidejűleg valósul meg.

Függ:

- a növényházburkolat belső hőátadási ellenállása [$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$],
- a növényházburkolat külső hőátadási ellenállása [$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$],
- a növényházburkolat vastagsága [m],
- a növényházburkolat anyagának hővezetési tényezője [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$].

A transzmissziós tényező pedig:

- a növényházburkolat belső felületének hőátadási tényezője [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$],
- a növényházburkolat külső felületének hőátadási tényezője [$\text{W m}^2 \text{K}^{-1}$],
- a növényházburkolat n-edik elemének hővezetési tényezője [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$],
- a növényházburkolat n-edik rétegének vastagsága [m],
- a növényházburkolatot alkotó rétegek számától [db]

A légcserével kialakuló hőtranszportot az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$Q_1 = z \cdot V_h \cdot \rho_l \cdot [c_p \cdot (t_i - t_e) + r \cdot (x_i - x_e)] \quad [\text{W}] \quad (4.17)$$

A hőtranszport függ:

- az óránkénti légcsereszám, amely megadja, hogy a termesztő berendezés légtérfogata óránként hányszor cserélődik ki [h^{-1}],
- a termesztő berendezés légtérfogata [m^3],
- a levegő sűrűsége [kg m^{-3}],
- a levegő állandó nyomáson mért fajlagos hőkapacitása [$\text{Wh kg}^{-1} \text{K}^{-1}$],
- a növényház belső légtér-hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],
- a növényház külső környezetének léghőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],
- a víz párolgáshője [$\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$],
- a növényház 1 kg-nyi levegőjének abszolút vízgőztömege [kg kg^{-1}],
- a növényházi külső környezet 1 kg-nyi levegőjének abszolút vízgőztömege [kg kg^{-1}].

A termesztő berendezés határoló felületére vonatkoztatott szellőzési tényező:

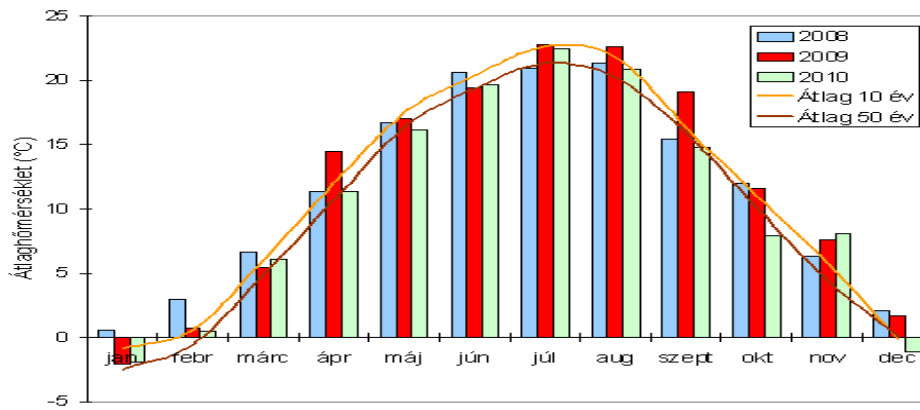
$$k_1 = Q_1 \cdot [A_h \cdot (t_i - t_e)]^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.18)$$

A_h – a növényházburkolat felülete [m^2].

A mérések eredményei

A növényházak fűtését a külső hőmérsékletváltozás határozza meg, amely folyamatosan változik, s a változások igen gyorsak és jelentős mértékűek lehetnek.

A téli minimum és a nyári maximum között 23-25 $^{\circ}\text{C}$ is tapasztalható, de fűtésre az éjszakai minimumok miatt a meleg időszakban is szükséges. A hazai havi átlaghőmérsékletek alakulását a 4.44. ábra szemlélteti (OMSZ 2011).

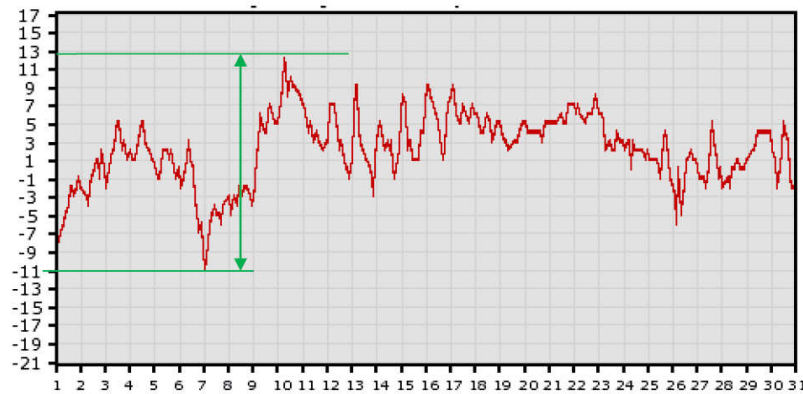


4.44. ábra Az évi havi középhőmérsékletek alakulása Szentes térségében

Forrás: http://www.amsz.hu/eszleles/static_charts/

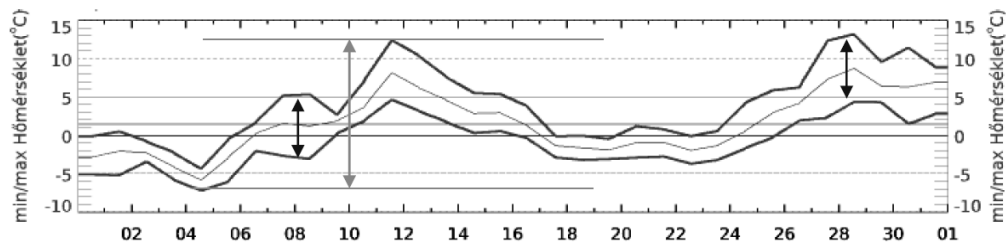
https://www.meteoblue.com/hu/id%C5%91j%C3%A1r%C3%A1s/el%C5%91rejelz%C3%A9s/archive/budapest_magyarorsz%C3%A1g_3054643?fcstlength=-15&year=2016&month=1

A januári óránkénti átlaghőmérséklet alakulása a 4.45 ábrán látható, hogy 4 nap alatt 24°C –os eltérés is kialakul, amelyet a fűtési teljesítménnyel követni kell és még ezt fokozza, hogy az időjárás éppen napsütéses, nagy radiációval, vagy ködös-felhős, amikor a szórt a gyengébb szórt sugárzás érvényesül.



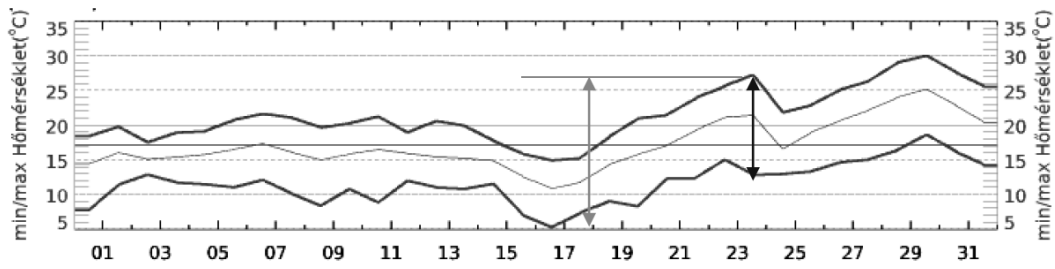
4.45. ábra Januári óránkénti átlaghőmérséklet alakulása (példa – OMSZ, 2015)

A következő ábrákon a fűtési szempontból figyelemre méltó hideg, átmeneti és meleg időszakot mutatom be az OMSZ adatbázisa alapján (4.46-48. ábrák)

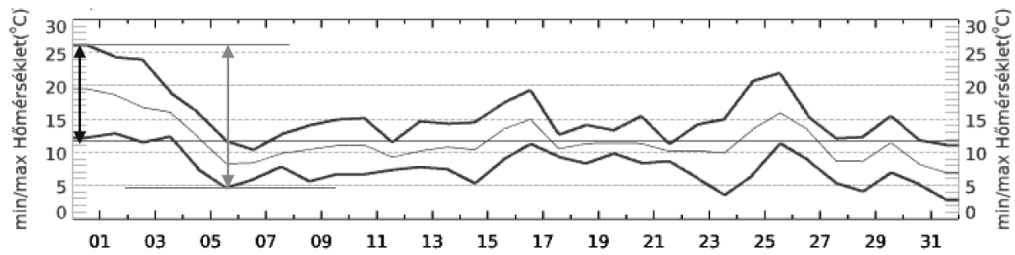


4.46. ábra 2016 január (hideg) hónapban mért napi maximum, minimum és átlaghőmérséklet alakulása a napi átlag ~10°C, a max. és a min. különbsége ~20°C volt, miközben a minimum 17,0°C-ra alakult

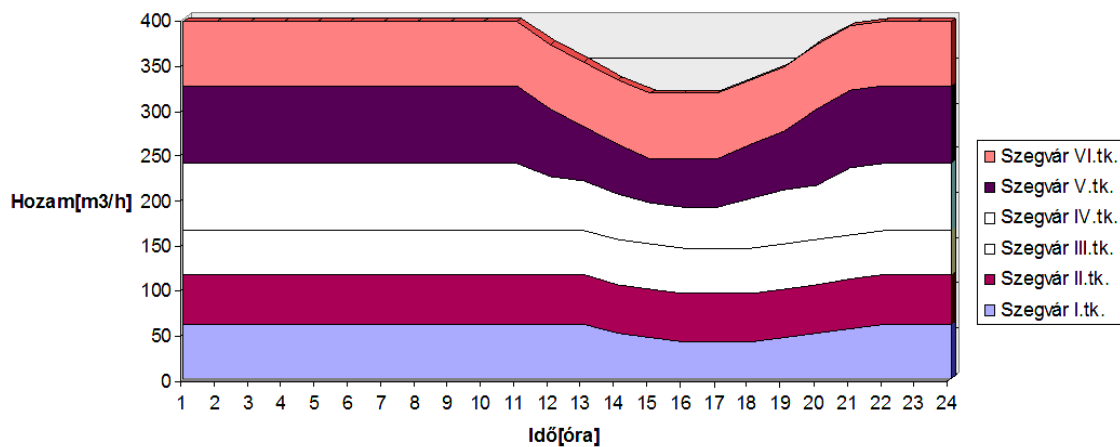
Forrás: <http://www.csatolna.hu/archive/Beka/korabbi/korabbi.shtml>



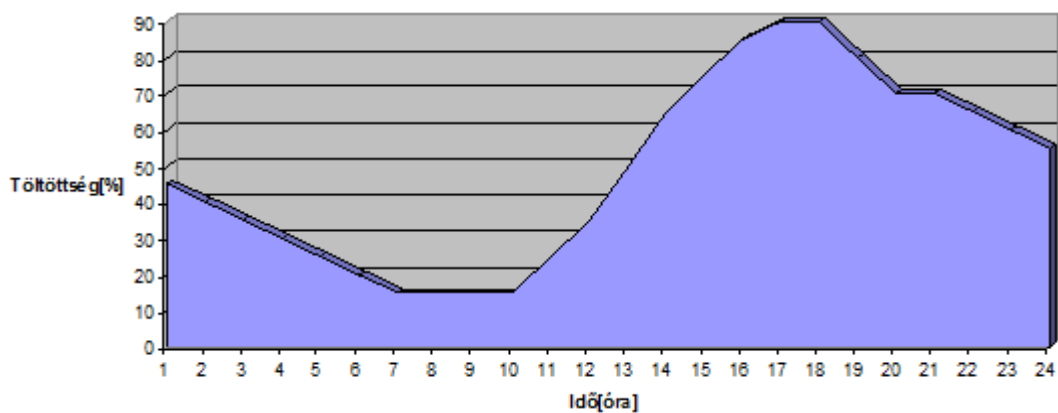
4.47. ábra 2016 május (meleg) hónapban mért napi maximum, minimum és átlaghőmérséklet alakulása



4.48. ábra 2016 október (átmeneti) hónapban mért napi maximum, minimum és átlaghőmérséklet alakulása

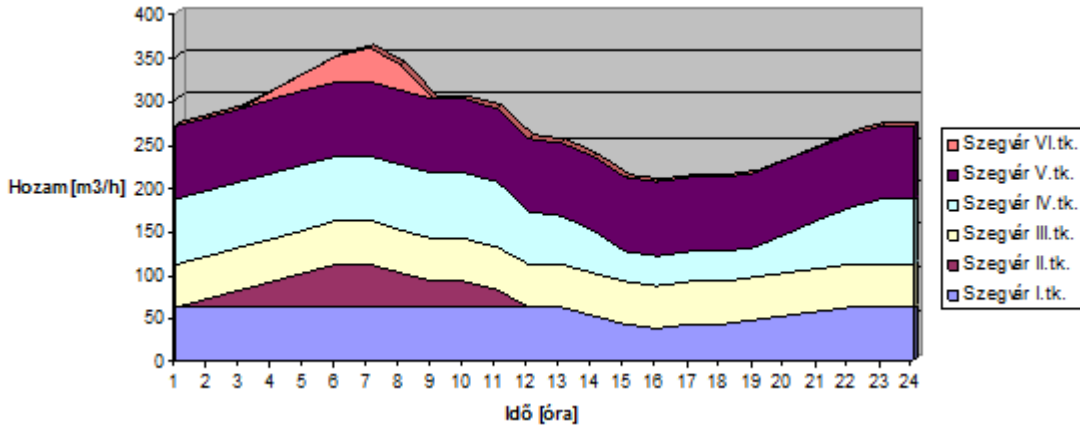


4.49. ábra 6db szegvári termálkút hozama hideg időben (400 m³/h)

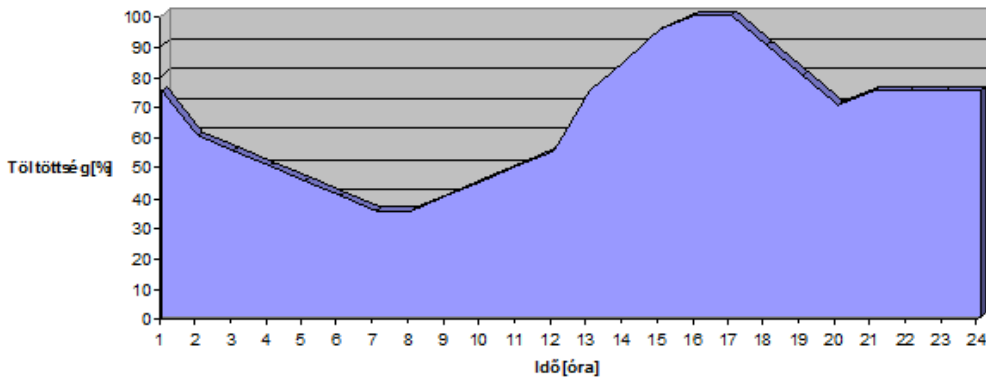


4.50. ábra A szegvári puffertartály töltöttségi szintje hideg időben

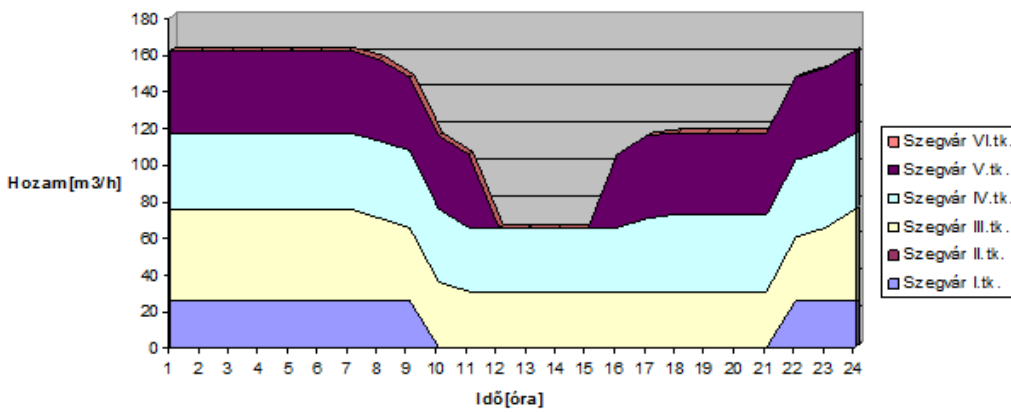
100% = 750 m³



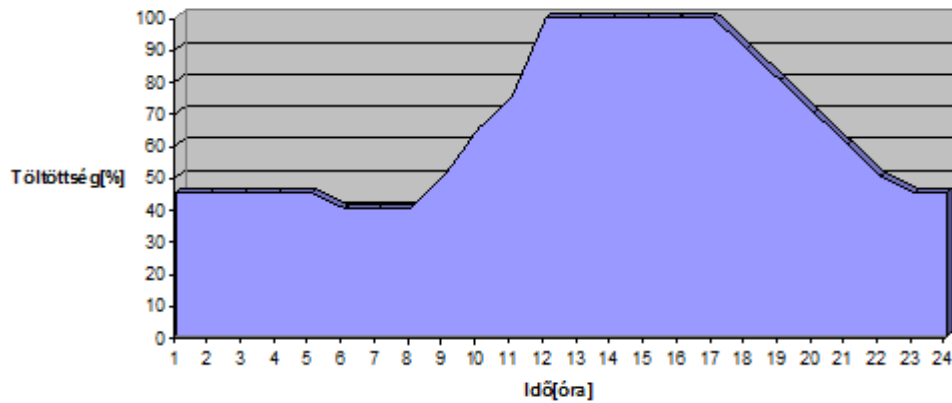
4.51. ábra 6db szegvári termálkút hozama átmeneti időben



4.52. ábra A szegvári puffertartály töltöttségi szintje átmeneti időben

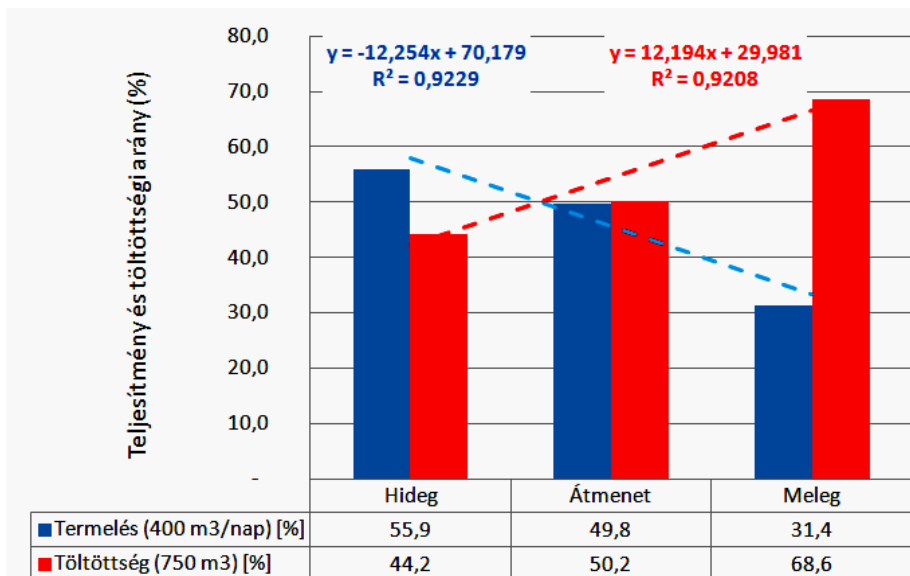


4.53. ábra 6db szegvári termálkút hozama meleg időben



4.54. ábra A szegvári puffertartály töltöttségi szintje meleg időben

Ha összehasonlítjuk a töltöttség és a folyamatos vízpótlás (termelés) arányát (4.55. ábra), szignifikáns kapcsolatot találunk a három időszak között. Hideg környezet idején ha nagy a termelés mértéke és jelentősen fogyatkozik a tárolt mennyiség, ami a kiegészítést szolgálja. Meleg időszakban a tároló töltöttebb, nincs szükség az összes kút termelésére.



4.55. ábra A tároló töltöttségének és a folyamatos vízpótlás (termelés) arányának alakulása a jellemzőbb környezeti hőmérsékleti időszakokban.

A tároló nem csak az időjárás okozta változó fűtési teljesítményingadozást hivatott kiegyenlíteni, hanem a kutak termelésében bekövetkező csökkenés esetén (szivattyú meghibásodás) szolgáltat átmeneti időtartamra energiát.

A magasabb üvegházak és fóliaházak nagyobb légtömeget foglalnak magukba, aminek nagyobb a kiegyenlítő hatása. A belső hőmérséklet kevésbé tud felszökni, mint a kislégterű létesítményben. Minél nagyobb légterű a növényház, annál kisebb a külső valamint a belső hőmérséklet közötti különbség (még a legnagyobb melegben is), miközben a magasságnak nincs számottevő energia felhasználást növelő hatása.

4.6. Új tudományos eredmények

1. A termálkutakban a vízadó rétegek mozgásának jellemzői az üzemeltetés fázisaiban

A Szegvár és Szentés térségében lévő 20 db termálkút részletes vizsgálata, valamint az in situ mérések eredményei alapján megállapítottam, hogy a talajszinthez számított nyugalmi vízszint az elmúlt 40 évben 25-30 m-t csökkent. Bizonyítottam, hogy a kutak pihentetése során az egyes vízadó rétegek között átfajtdéssel „fluidum rétegcseré” alakul ki. Tehát a különböző vízadó rétegek közötti átfajtdés miatt, a nyugalomban lévő kutakban is van fluidum mozgás, ami azt is jelenti, hogy termelés közben vízadó rétegek, víznyelő rétegekként is képesek működni. Általában a nyugalmi időszakban, az időszak kezdetén a töltődés az addig vízadó réteg felé irányul, s ezáltal az áramlás a kúttesten keresztül vertikálisan fel és lefelé is irányulhat az egyes szűrőzött rétegek között.

2. A kutak mérési idejének befolyása

A mérési adatok elemzésével kimutattam, hogy a nyugalomban lévő Dél-Alföldi porózus bázisú termálkutak vízszintjét nem csak az átfajtdések, hanem napi illetve havi periodicitást mutatva a Hold ár-apály jelensége is befolyásolja.

Igazoltam, hogy a hiteles kútmérésre és összehasonlításra csak az azonos Hold-ciklusban elvégzett mérések alkalmasak.

3. A visszasajtolás szükségessége és lehetőségei homokkő vízadó rétegeknél

Bizonyítottam, hogy a Dél-Alföld térségében a karbantartott kutaknál – a vízszintcsökkenés valamint a ~40-45 éves folyamatos termelés ellenére számottevő hozamcsökkenés még nem mutatható ki. A Dél-Alföld területén lévő kutak vízadó rétegei között a különböző áramlási és hőmérsékleti, valamint mélységi gradiensek, s a nyelési rétegek között korreláció áll fenn, ami az egymásra hatásukat mutatja. Igazoltam, hogy a használt (csökkentett entalpiájú) víz visszasajtolása lehetséges, vagyis a szükséges alapfeltétel elméletileg adott. Sikeressége azonban nagymértékben függ a kőzetváz tulajdonságaitól (szemcseméret, pórusjáratok mérete, migráló anyag tartalom stb.). Bizonyítottam, hogy a visszasajtolás tervezésére csak az adott rétegre megnyitott és beszűrőzött, a vízadó és nyelő réteg megfelelő állapotát bizonyító monitoring kút alkalmas.

4. Növényházi fűtés gazdaságossága geotermikus fluidumból nyert energiával

Kimutattam, hogy a növényházak fűtésére az összes energiahordozó közül (a jelenlegi piaci árak mellett) a konvekcióval kinyert geotermikus energia a leggazdaságosabb. Leginkább eredményes a három hőfokszintes fűtés, valamint az időjárás okozta eltérő igények miatt puffertároló és a visszasajtolás előtt a fluidumban maradt „hulladék hő” exergiájának megnövelése és az így nyert hőtartalom visszakeringtetése a rendszer vegetációs fűtési fázisába. Még azon esetben is, ha hőszivattyú alkalmazása után az exergiájától megfosztott víz visszasajtolásra kerül, s az új visszasajtoló kút költségeivel is terheljük a felhasznált fajlagos energia költséget.

5. A csökkent entalpiájú fluidum visszasajtolás előtti hőszivattyú alkalmazásának gazdaságossága, környezeti hatása

Kimutattam, hogy a hőszivattyús rendszer létesítésének költségét a nyert többlet energia (a kedvező COP, ill. SPF hatására) és az új kútpár létesítésének- és fenntartásának költségét (2015.

évi árakon) 2,5-3,0 év alatt kompenzálja. A „használtvíz” entalpiájának hasznosítása gazdasági előnye ellenére, a környezetvédelemre a jelenlegi villamos energia előállítás (energia mix) CO₂ kibocsátása alapján a földgáztüzeléshez (a közvetlen gázfűtéshez) viszonyítva, csak COP~6,0-os érték fölött van kedvező hatása. Bizonyítottam, hogy a hőszivattyú alkalmazás környezetvédelmi szempontból (légtéri kibocsátása), csak a megújuló energiákból nyert villamos energia használatával lehet jobb, mint a földgáztüzelés. A legjobb megoldás, - ha elegendő metántartalom áll rendelkezésre - a leválasztott és szárított metán elégetésével nyert villamos- vagy mechanikai energiával hajtott hőszivattyú alkalmazása.

6. Puffertároló kihasználtsága, a környezeti hőmérséklet és a fűtési igény

Igazoltam, hogy a kertészeti üvegházak fűtési rendszerébe épített puffer-tároló elősegíti a termelés biztonságát (nagyarányú s gyors időjárás változás és rendszerhibák esetén), mérsékli a tartalékként szükséges (rendelkezésre álló kútkapacitást), ill. tartalék energiaforrás létesítésének beruházási és rendelkezésre állási költségét. A meleg és a hideg időjárástól függően a tárolók töltöttsége és a fluidum kitermelése fordított arányt mutat ($R^2 = 0,92$). Bizonyítottam, hogy a visszasajtolás és a hőszivattyú használata, valamint a puffer tárolók alkalmazása egyaránt előnyös a fenntarthatósági, a környezetvédelmi valamint a kertészeti felhasználás gazdaságossága tekintetében is.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kitermelés során elsődleges szempont kell legyen az energiatakarékosság, csak annyi vizet, illetve hőt szabad kitermelni, amire valójában szükség van. Olyan szivattyús rendszereket szabad csak használni, melyek pontosan és jól szabályozhatók, hatásfokuk magas, energiaigényük, karbantartási igényük alacsony.

Fontos szempont a hő tárolása, a szabályozhatóság szempontjából előnyös a nagy hőtároló képességű puffertartályok használata. Segítségükkel a felhasználási csúcsok és völgyek kisimíthatóak, a rendszer lengései drasztikusan csökkenthetőek.

A kitermelt hő legkomplexebb és legjobb hőhasznosítására kell törekedni. A felhasználás során előnyben kell részesíteni azokat a felhasználási módokat, ahol a leginkább megoldható a kitermelt hő maradéktalan hasznosítása. Pilot projekteket kell létrehozni, ahol az új technológiák transzparenssek, tanulhatóak, megismerhetőek valamint folyamatos mérésre és megfigyelésre alkalmasak. A felhasználási helyek energiahatékonysága a felhasználás egyik legfontosabb feladata. A korszerű anyaghasználat és technológia bevezetése jelentős javulást eredményez a veszteségek csökkentése érdekében. Célszerűnek tartom az elérhető árú, jó szigetelő képességgel rendelkező szigetelő anyagok laboratóriumi kísérleti próbáját régi rendszerek felújítása során. A hő továbbításakor korszerű, kis áramlási- és hőveszteségekkel rendelkező rendszereket szabad csak kiépíteni, a meglévőket korszerűsíteni. Ez az a pont, ahol a legkisebb befektetéssel a legnagyobb eredmény érhető el a legjobb megtérülési idő alatt.

A felső-pannon homokkövekben fenntartható módon megvalósítható geotermikus energiatermelés érdekében javaslom a hazai költségviszonyoknak megfelelő visszasajtoló kútkiképzési technológia kifejlesztését: kavicságyas-szűrős és ún. „Frac&Pack” hidraulikus rétegrepesztési kútkiképzési technológiával. Fontos az így kiképzett visszasajtoló kutak működésének és a kialakuló besajtolási mechanizmusok hosszú idejű vizsgálata, értékelése és validálása. Lényeges a felső-pannon homokkövekben vízvisszasajtolás hatására bekövetkező rétegtkárosodások laboratóriumi vizsgálata és a rétegtkárosodásokat megszüntető rétegtkezelési technológia kidolgozása.

A felszíni elhelyezés sok esetben az egyetlen mód az elhűlt termálvizek kezelésére. A betározás illetve pihentetés a nagy felületű, azonban sekély mélységű tározótavakban a legkedvezőbb. A tárolás során a víz hőmérséklete a környezeti hőmérsékletre hűl. Sótartalma ugyan jelentősen nem változik, azonban kutatások folynak az így kinyert só ipari hasznosítására, növények általi megkötésére. A tározás időtartama alatt a víz csapadékvízzel hígul, valamint biológiai folyamatok indulnak el benne. Az így létrehozott tó vagy tórendszer mesterséges, azonban segítségével a mára drasztikusan lecsökkent és a folyó szabályozás előtti Kárpát-medence szikes-vizes élővilágát idéző vizes élőhelyek jönnek létre, segítve ezzel is biodiverzitást. A nádasok gyökérszónás ásványi anyag megkötő szerepe ökológiai, évközben a gazdag madárvilág számára pihenő-, fészkelő- és élőhely biztosítása ornitológiai, valamint a rendszeres vágása gazdasági szempontból sem elhanyagolható.

A tározó intenzív és extenzív halászati területként egyaránt felhasználható, partján üdülést, pihenést, rekreációt biztosít. Télen-nyáron kedvelt vízi sportok színhelye lehet.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A KONVEKCIÓS GEOTERMIKUS ENERGIATERMELÉS FENNTARTHATÓSÁGA ÉS A FELHASZNÁLÁS HATÉKONYSÁGA

A hazai geotermikus energia felhasználás több évtizedes múltra tekint vissza, elsősorban a közvetlen hasznosítás területén. Az elmúlt 10 évben a szakma és a közvélemény a hátrányos jogszabályi változásoknak köszönhetően ismerte meg jobban ezt a technológiát. A hazai energetikai felhasználók nagy része a kertészetek közül kerül ki. Az energia kinyerése és hasznosítása, a különböző technológiák, valamint a víz elhelyezése mind-mind külön szakterületet képviselnek. A mintegy 16 éves üzemeltetési gyakorlatom során nagyon kevés olyan szakemberrel találkoztam, akik a teljes folyamatot részleteiben, szakszerűen teljes komplexitásában átlátták. Az egész rendszer sikere sok szakterület és tudomány interdiszciplináris kapcsolatán alapul. Az egy-egy szakterület jeles képviselői, professzorok, épületgépészek, építészek, geológusok, geofizikusok, fűrómérnökök összehangolt munkája jelentheti az ágazat fejlődését és a felmerült problémák hatékony megoldását.

Értekezésemben 20 db ma is üzemelő termálkút kútvizsgálatán keresztül kerestem a választ a fenntartható hévízkitermelés leghatékonyabb módjaira, nem feledkezve meg a kinyert hő hasznosításáról és a végső vízelhelyezésről. Munkám során fontos szerepet kapott a hévíz-földtani összefüggések megismerése, a geológiai viszonyok feltérképezése, a kút kialakítás kérdései. Mindezek együttesen teszik lehetővé egy olyan előre tervezhető fűrési, kiképzési, kitermelési és hasznosítási rendszer kiépítését, amely megnyugtató módon kezeli mind az ökológiai, mind az ökonómiai kérdéseket. A kitermelt geotermális fluidum elhelyezése sokáig hitkérdés volt. Ehhez hozzájárult, hogy a próbálkozások során a szakma soha nem tudott leülni és valódi tényekkel és érvekkel alátámasztva vitázni a felmerült kérdésekről. Mivel a felhasználóktól nem várható el hogy visszasajtolási technológiát fejlesszenek, ezért ennek felelőssége, a tervezhető, garantált kis fűrési és üzemeltetési kockázatot rejtő kútkiképzés kidolgozása és paraméterezése a szakma feladata.

Dolgozatomban a megújuló energia hasznosításon belül a geotermikus energia hasznosítás egyik speciális esetét vizsgáltam, a termálvíz kitermeléssel járó hőhasznosítást.

Új tudományos eredményeket fogalmaztam meg. Téziseimben rávilágítottam olyan összefüggésekre, amelyek vizsgálata nélkül a jelenleg alkalmazott kitermelési és hasznosítási technológiák nem tarthatóak fenn hosszú távon.

Javaslataim kategorizáltam, amelyek minden érintett résztvevő számára hasznosítható információt szolgáltatnak.

7. SUMMARY

THE SUSTAINABILITY OF THE CONVECTION GEOTHERMAL ENERGY PRODUCTION AND EFFICIENCY OF UTILIZATION

The Hungarian geothermic energy consumption goes back several decades, especially in the field of direct utilization. In the past 10 years the profession and the public acquainted with this technology better due to disadvantageous changes in legislation. The majority of the Hungarian users of this energy are gardeners and nurseries. Extraction and utilization of the energy, the different technologies and placement of the water all represent special areas of expertise. During my 16-year long operating practice I met only very few professionals who could oversee the whole process in details and its full complexity. The success of the whole system is based on the interdisciplinary relationship between the different areas of expertise and sciences. The coordinated work of the prominent representatives of the different areas, such as professors, building engineers, architects, geologists, geophysicists and drilling engineers can mean the development of the sector and the effective solution of the problems arisen.

In my dissertation I was searching the options for the most effective ways of sustainable thermal extraction by examining 20 operating geothermic wells, not forgetting the utilization of the extracted heat and the final placement of water. Understanding the relationship between geothermic energy and geology, mapping the geological conditions and the issues of well structures played an important role in my work. All these together make it possible to build up a predictable drilling, training, extracting and utilizing system which can manage both the ecological and the economic issues in a reassuring way. Placing of the extracted geothermic fluid has long been a faith issue. Moreover, during the attempts, the professionals could never sit down to launch a debate and discuss about these issues, supported by real facts and reasons. Since users cannot be expected to develop re-injection technologies, its responsibility and the development and parameterization of a predictable well completion, guaranteeing low-risk drilling and operation, is the task of the professionals.

In my dissertation, within using renewable energy, I examined a special area of geothermic energy utilization, namely the heat utilization with thermal water extraction.

I drafted new scientific results. In my theses I highlighted and examined such relationships without which the existing extraction and utilization technologies cannot be sustained in long term.

I categorized my recommendations that can provide useful information for all participants involved.

8. MELLÉKLETEK**M1. Irodalomjegyzék**

1. Ádám, B. (2008b): Hőszivattyús földhő hasznosítás aktuális helyzete Magyarországon az EU helyzet tükrében, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
2. Alternatív energiák (Fiorentini Hungary Kft., Bp., 1998.)
<http://www.fiorentini.com/hu/hu/product/completesolutions/wellproductionunits> (letöltés: 2012.11.14)
3. Árpád-Agrár Zrt. Fejlesztési koncepció 2014-2020, Kézirat 43-44. p.
4. Árpád-Agrár Zrt.: Szentlászlói kertészet geotermikus energiával való ellátása – Megvalósíthatósági tanulmányterv, 2007. 15-18. p.
5. Árpási, M. – Bobok, E. (1998): Környezetkímélő termásvíz-hasznosítás az iparban és a mezőgazdaságban, OMIKK Környezetvédelmi Füzetek 1998/6. 17. o.
6. Árpási, M. (1998): A geotermális energiahasznosítás koncepciója. Budapest, 1998. nov., Magyar Geotermális Egyesület Tanulmány 13-15. o.
7. Árpási, M. (1998): A hasznosított termásvizek elhelyezésének kérdése Bp. Magyar Geotermális Egyesület 1-3. o.
8. Ásbjörnsson, E. J. (2016), Renewable energy and carbon reduction, Reykjavik University. Slideshow, pp. 2-6
9. Balázs, S. (1996): Zöldségtermesztők kézikönyve, Mezőgazda Kiadó 102. o.
10. Balogh, J., Náfrádi, I. (1981): Fűtés a kertészetben, Mezőgazda Kiadó, Budapest 44. o.
11. Bányai, O. (2008): A megújuló energiaforrások uniós szabályozásának aktuális kérdései Debrecen, IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia 1-7.
12. Barcza M. Bálint A., Kiss S., Szanyi J. Kovács B.: 2011 A szentes térségi hévíztározó képződmények hidrodinamikai viszonyai szivattyú tesztek kiértékelése alapján A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 81. kötet 241-253pp.
13. Barótfi, I. szerk. (1996.): Energiafelhasználói kézikönyv, Környezet-technika Szolgáltató Kft. Bp. 136-138. o.
14. Baumann, M. (2012): Épületenergetika, Edutus Főiskola, 13-15.
15. Beke J.: 2000 Műszaki hőtan mérnököknek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 350p.
16. Bencsik, J.: (2011) A geotermikus energia szerepe a magyar energiapolitikában, <http://mgte.hu/dok/napok/0602.pdf>,
17. Bezegh, A 2012, Exergia és energiahatékonyság, Az ipari ökológia keretei, Ipari Ökológia, vol. 1, issue 1, pp. 5–20. Letöltsé: https://www.researchgate.net/publication/293605878_Exergia-es_energiahatekonysag
18. Bobok E.- Takács G.- Turzó Z. et al.: (1998): Present status of geothermal energy production in Hungary (A geotermális energiatermelés jelenlegi helyzete Magyarországon) = Proceedings of Geothermal Resources Council, San Diego, 1998. pp.199-203.
19. Bobok E., 2014 A víz-visszasajtolás környezeti hatásai A tananyag kifejlesztése a TÁMOP 4.1.2.A/1-11/1-2011-0059 pályázat keretében , Letöltés (2015)

- http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0059_SCORM_MFEET5065/sc_o_04_01.scorm
20. Bobok, E. (1987): Geotermikus energiatermelés. Budapest, Tankönyvkiadó, 326 p.
 21. Boróczky M., Gerzson L., Hámori Z. et al. (2000): Növényházi dísznövények termesztése, Mezőgazda Kiadó, Magyarország,
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Novenyhazi-disznovenyek-termesztese/ch01s02.html#id502360
 22. Büki G.: (1997) Energetika. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 360p.
 23. Büki G.: 2010 Megújuló energiák hasznosítása Magyar Tudományos Akadémia Köztudományi Stratégiai Programok, Budapest, 1–79 p. ISBN 978-963-508-599-6
 24. Büki, G.(2013), A földhő hasznosítás energetikai hasznosítása, MGTÉ: Földhő hírlevél, 2008 október. 2-5. o.
 25. Dincer, I & Rosen, MA 2007, Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Elsevier, Oxford (UK), p. 13.
 26. Dincer, I & Rosen, MA 2011, 'Exergy Analysis of Green Energy Systems', Green Energy, Series of Progress in Green Energy, vol. 1, pp. 17–65.
 27. Egerszalók www.egerszalokinfo.hu (letöltés: 2012.11.14)
 28. Faapríték, pellet, agripellet égető kazán, Biokopri Kft., <http://www.apritekegeto.hu/04-A2-ekogren-multifuel-20-100-kw.php>(letöltés: 2016.06.10.)
 29. Fischer A., Hlatki M., Mezősi A., Pató Zs.: 2009 Geotermikus villamosenergia termelés lehetőségei Magyarországon Regionális Energetikai Kutatóközpont (REKK), Műhelytanulmány, Letöltés: http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/124/1/wp2009_2.pdf
 30. Geothermal direct use (A geotermális energia közvetlen hasznosítása) Engineering and design guidebook. 3rd edition, 1998. Klamath Falls, USA p. 210
 31. Geothermal direct use (A geotermális energia közvetlen hasznosítása.) Proceedings of the 1999 course. International Geothermal Days, 1999. Oregon, p. 175
 32. Gööz L. (2007): Energetika jövőidőben – Magyarország megújuló energiaforrásai Nyíregyháza, Bessenyei György Könyvkiadó, 173. o.
 33. György, Z. (2006): Egy követendő példa: geotermikus energiahasznosítás a mezőgazdaságban. – In: Geotermia és környezetipar a XXI. században. Konferencia és szakkiállítás. Előadáskivonatok, Kistelek (2006. január 30–31.). 5–9., 17–20.
 34. Halász Györgyné: 2008 Magyarország Geotermális energia az épületek energia ellátásában exergetikai szemléletmóddal, XIV. Épületgépészeti, Gépészeti és Építőipari Szakmai Napok Szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia, Debreceni Egyetem, Letöltés 2016: <http://www.hbmmk.hu/data/link/4820/1/Meghivo.pdf>
 35. Halász Györgyné: 2009 Geotermikus energia az energiaellátásban Magyarországon, Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban, konf. előadás Debreceni Akadémiai Bizottság 31 p. Letöltés:
https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/88136/MTEAR_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 36. <http://www.parlament.hu/documents/129568/554869/A+term%C3%A1lv%C3%ADz+hasznos%C3%ADt%C3%A1s%C3%A1nak+neh%C3%A9zs%C3%A9gei+a+mez%C5%91gazdas%C3%A1gban.pdf/fbb9817e-45ac-4c88-ac07-dfa704bb188f>

37. Hulya Sarak – Mustafa Onur – Abdurrahman Satman: (2005) Lumped-parameter Models for Low-Temperature Geothermal Fields and their Application, *Geothermics* 34 (2005) 728–755.
38. Jászay T.: 1992 Hőtárolók. Tankönyvkiadó, Budapest, 280p.
39. Kacz K., Neményi M. (1998): Megújuló energiaforrások, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 63. o.
40. Kalmár F. :2007 Fűtési rendszerek exergiafelhasználása Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottsága Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága MŰSZAKI FÜZETEK IV. pp.42-53 ISBN 978-963-7064-18-0 Letöltés: https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/85074/musz_fuz_jo_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y
41. Kardos S.: A geotermia hasznosítás hatásági háttere, hatásági tapasztalatok, *Geotermia Fórum Kistelek* 2007. 1-9. o.
42. Karsai G. 2013 Termálvizek visszasajtolása a nemzetközi gyakorlatban Előadás fóliák (Letöltés 2015 <http://kornyezet.elte.hu/140106/KarsaiGergely.pdf>)
43. Kerényi A. (1995): Általános környezetvédelem, Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged 32. o.
44. Kóbor B., Medgyes T.: (2007): Termálenergia-fejlesztési projektrendszer a dél-alföldi régióban, Szeged, SZTE, 38.o.
45. Kontra J.: 2012 Takarékoskodj a föld energiájával! Környezet- és energiatudatos építészet, Budapest, Letöltve <http://docplayer.hu/8223380-Takarekoskodj-a-fold-energiajaval-kornyezet-es-energiatudatos-epiteszet-budapest-2012-kontra-jeno-phd.html>
46. Kontra J.: A geotermális energia és az exergia-szemlélet, *Magyar Épületgépészet*, LIV. évfolyam, 2005/12. szám
47. Kontra J.(2010) Kistelek, <http://www.akontroll.hu/bell.php?ssz=381>, (letöltés: 2016.09.25)
48. Kontra J.(2010), A geotermális energia hő- és hévíz felhasználásának jövője ENEO konferencia, Budapest, 2-6.
49. KSH (2015), Statisztikai adatok, www.ksh.hu, (letöltés: 2016.06.21)
50. Kulcsár B. (2014): Magyarország termálkút állományának hasznosítási szerkezete és kihasználatlan kapacitásai, Debrecen http://www.eng.unideb.hu/kulcsarb/Magyary%20%C3%B6szt%C3%B6nd%C3%ADj_KO_NFERENCIA%20CIKKEK%20%C3%89S%20EL%C5%90AD%C3%81SOK/Szegedi%20MHT%20konf_cikk_20140702_04.pdf 2-6.o., (letöltés: 2015.05.05)
51. Kulcsár B.: 2012 „Jó gyakorlat – rossz gyakorlat” Esettanulmányok a geotermikus energia hasznosításáról Hallgatói Szeminárium Debreceni Egyetem Műszaki Kar Előadás, Letöltés: https://www.google.com.au/?gws_rd=ssl#q=Kulcs%C3%A1r+B.:+2012+%E2%80%9EJ%C3%B3+gyakorlat+%E2%80%93+rossz+gyakorlat%E2%80%9D+Esettanulm%C3%A1nyok+a+geotermikus+energia
52. Kulcsár B.: 2012 Geotermikus energiahasznosítás a világban és Magyarországon Debreceni Egyetem Műszaki Kar Előadás, Letöltés: http://www.eng.unideb.hu/kulcsarb/Magyary%20%C3%B6szt%C3%B6nd%C3%ADj_KIH%20CIKK%20%C3%89S%20TANULM%C3%81NY/KIH_Cikk_Kulcs%C3%A1r%20Bal%C3%A1zs.pdf
53. Landy K.: 2002 Geotermális energiahasznosítás Magyarországon, BME szakdolgozat Kézirat 69.o. Letöltés: www.kankalin.bme.hu/Dok/GEOTERM.DOC

54. Láng Z. (1999): A zöldség-, dísznövény és szaporítóanyag-termesztés berendezései és gépei, Mezőgazda Kiadó 57. o. Letöltés: (letöltés: 2016.06.10.)
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/zoldseg-disznoveny/ch03s02.html>
55. Légnyomásos vízemelő, Sulinet, http://cms.sulinet.hu/get/d/6fdf1f26-1787-415a-92b1-2152deb7fc1e/1/4/b/Large/f083_13.jpg (letöltés: 2016.06.10.)
56. Lukács G. S. (2009): Megújuló energia és vidékfejlesztés, Szaktudás Kiadó Ház
57. Mádlné Szőnyi J. et al.: 2008 A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon, Budapest, 2008. március 31. Jelentés, MTA háttéranyag, Letöltés: http://www2.sci.u-szeged.hu/geotermika/dokumentumok/MTA_geotermika.pdf
58. Mádlné Szőnyi J. (2006): A geotermikus energia. Készletek, kutatás, hasznosítás., Grafon Kiadó. (ISBN: 963 218 058 5), pp. 1-144 Letöltés: http://www2.sci.u-szeged.hu/geotermika/dokumentumok/MTA_geotermika.pdf
59. MAGYARORSZÁG MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÁSI CSELEKVÉSI TERVE. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium | Zöldgazdaság-fejlesztésért és Klímapolitikáért Felelős Helyettes Államtitkárság ISBN 978-963-89328-0-8 www.kormany.hu.
60. Magyary Z.: 2012 Geotermikus energia, Oktatási segédanyag Debreceni Egyetem Műszaki Kar
Letöltés:http://www.eng.unideb.hu/kulcsarb/Magyary%20%C3%B6szt%C3%B6nd%C3%ADj_OKTAT%C3%81SI%20SEG%C3%89DANYAG/Oktat%C3%A1si%20seg%C3%A9danyag_Geotermikus%20energia.pdf
61. MBFH (2015), Statisztikai adatok, www.mbfh.hu (letöltés: 2016.06.21)
62. Monoki, Á.- Barna, T. (2001): Környezetbarát energiák, Nimfea Természetvédelmi Egyesület, Szarvas, 2001.
63. Nádor A. 2012 A geotermikus energiahasznosítás jogszabályi – engedélyeztetési környezete a Transenergy országokban „Termálvizek az Alpok és a Kárpátok ölelésében”- Budapest, 2012. szeptember 13. Letöltés 2014. http://transenergy-eu.geologie.ac.at/Downloads/Events/Public_Event/HU/jog_NA.pdf
64. Nemzeti Cselekvési Terv -2011
www.bitesz.hu/dokumentumtar/egyebek...ig...terve/download.html (2012.09.26)
65. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, A geotermikus energia szerepe a magyar energiapolitikában, <http://www.panenerg.hu/foldho/a-geotermikus-energia-szerepe-a-magyar-energiapolitikaban> (letöltés: 2011.12.02)
66. Ősz J. – Bihari P. : (1998) Hőellátás Az akkreditált Iskolarendszerű Felsőfokú Szakképzés tankönyve Phare Program HU-9405-0201-L017-019. sz. projekt 195p.
67. Palántanevelés képgaléria, Árpád-Agrár Zrt.,
http://www.arpad.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=137:palantaneveles-kepgaleria&catid=52&Itemid=270&lang=hu (letöltés: 2016.06.10.)
68. Pannergy (2016) <http://pannergy.com/geotermia/#geotermikus-energia> (letöltés: 2016.06.10.)
69. Pap E. (1998): Helyzeti előnyünk veszélyben? 11.-13. o
70. Pátzay Gy: 2015 Energiatermelés hőerőművekben, Letöltés
<http://www.doksi.hu/get.php?lid=2416>
71. Pekár F.: Használt termálvizek felszíni elhelyezése, kezelése és továbbhasznosítása létesített vizes élőhelyeken – I., Földhő Hírlevél 2009. január 2-6. p.

72. Pengő F. (1998): Geotermikus energiahasznosítás az Árpád Szövetkezetben, Szentes, 1-5. o.
73. Pokorádi L.: () Geotermikus rendszerek modellezése Kutatási jelentés, EEA and Norway Grants, No 108-F-1 Letöltés : http://www.mk.unideb.hu/userdir/pokoradi/08_07.pdf
74. Pokorádi L.: (2008) Geotermikus rendszerek modellezése (Kutatási Jelentés) Letöltve: http://www.mk.unideb.hu/userdir/pokoradi/08_07.pdf
75. Strober I.- Bucher K.: Geothermal energy: from theoretical models to exploration and development, Springer, London, ISBN 978-30642-13351-0, ISBN 978-30642-13352-7 eBook, DOI 10.1007/978-3-642-13352-7, 252-254pp.
76. Szanyi János, Kóbor Balázs, Medgyes Tamás, Gyenese István, Czinkota Imre, Kovács Balázs, Bálint András, Kiss Sándor: 2008 A homokkő hévíztárolók tesztelésének tanulságai, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék <http://docplayer.hu/8177581-A-homokko-heviztarolok-tesztelesenek-tanulsagai.html>
77. Szikra Cs. (2010): Szoláris épületek, Budapest, http://www.egt.bme.hu/szikra/w_munkatarsak/szikra/szikra_files/A20.pdf (2016.09.10)
78. Szita G. (2016): Geotermikus energiahasznosítás Magyarországon, A veresegyházi példa, Konferencia előadás. Veresegyház.
79. Szöcs M., 2004: Geotermikus energia hasznosítása visszasajtolásos vízelhelyezéssel, Gazdasági értékelés, Kézirat, AQUIFER Kft, Budapest
80. Tóth A. (2014): Közvetlen hőhasznosítás, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 1-2. o.
81. Tóth I. (2012): Térképek a Kárpád-medencéről, <http://docplayer.hu/181484-Terkepek-a-karpat-medencero.html> (letöltés: 2016.06.10.)
82. Tóth L. (Szerk.) (2012): Alternatív energiaellátási rendszerek az agrárgazdaságban, Szaktudás Kiadó Ház Zrt. 177-223 o.
83. Tóth L., Ádám B. (2011): Fűtésre használt termálvizek visszasajtolás előtti hőszivattyúzása, Mezőgazdasági Technika 2011.52.8. 2-5. o.
84. Tóth, L. (Szerk.) (2016): Hagyományos és megújuló energiarendszerek, Szaktudás Kiadó Ház Zrt.. 140-184. o.
85. Török S. (2011): Áramlástan gépek, Jegyzet, Szent István Egyetem Kiadó 190p.
86. Tervezetek, rendeletek, törvények
87. 147/2010. (IV. 29.) Korm. Rendelet www.kdvkovizig.hu/letoltes/147/2010_Korm_rendelet.doc, (letöltés: 2012.11.14)
88. 1993. évi XLVIII. „Törvény a bányászatról”,- http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99300048.TV, (letöltés: 2012.11.14)
89. 1995. évi LIII. törvény http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99500053.TV, (letöltés: 2012.11.14)
90. 2000/06/EK irányelv <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:hu:HTML>, (letöltés: 2012.11.14)
91. 2009/28/EK irányelv <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:hu:PDF> (letöltés: 2012.11.14)

92. 219/2009/EK irányelv
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:087:0109:0109:HU:PDF> (letöltés: 2012.11.14)
93. 80/68/EGK irányelv
http://www.aquadocinter.hu/themes/VKI_hirek/EU_joganyag/31980L0068HU.pdf,
(letöltés: 2012.11.14)
94. A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. Törvény
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99500057.TV (letöltés: 2012.11.14)
95. <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/Oceanografia/images/m7efed7f6.jpg>
96. <http://player.slideplayer.hu/10/3023598/data/images/img9.jpg>
97. http://astro.uszeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/01030302Hold/arapaly1.jpg
98. Strober I.- Bucher K.: Geothermal energy: from theoretical models to exploration and development, Spinger, London, ISBN 978-30642-13351-0, ISBN 978-30642-13352-7 eBook, DOI 10.1007/978-3-642-13352-7, 252-254pp.

Egyéb felhasznált szakmai anyagok

99. Árpád-Agrár Zrt.: Szentlászlói kertészet geotermikus energiával való ellátása – Megvalósíthatósági tanulmányterv, 2007.
100. Árpád-Agrár Zrt. fejlesztési koncepció 2014-2020

M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk*Lektorált cikk idegen nyelven*

1. **Nagygal, J.,**Tóth, L., Horváth, B., Fogarassy, Cs. (2017): Thermal water utilization in the hungarian greenhouse practice. Thermal Science Year International Scientific Journal, 2017 Vol. OnLine-First (00) , Issue 4, DOI:10.2298/TSC1160831011N, (IF 0,98*).
2. **Nagygal, J.,** Tóth, L., Beke, J., Szabó, I. (2015): Comparison of possible greenhouse energy sources. pp. 47-53. Published online: <http://hae-journals.org/>. HU ISSN 0864-7410 (Print) / HU ISSN 2415-9751(Online) DOI: 10.17676,
3. **Nagygal, J.,** Tóth, L., Horváth, B., Bártfai, Z., Szabó, I. (2015): Enhancing The Effectiveness Of Thermal Water Consumption Via Heat Pumping Applied Studies in Agribusiness and Commerce Official Periodical of the International MBA, Network in Agribusiness and Commerce AGRIMBA, Vol. 11. Number 4. pp. 53-99. HU-ISSN 1789-221X – Electronic Version: ISSN 1789-7874 Home Page: <http://www.apstract.net>
4. **Nagygal, J.,** Tóth, L. (2016): Used thermal water reinjection. Hungarian Agricultural Engineering N° 30/2016, pp. 41-47. Published online: <http://hae-journals.org/> HU ISSN 0864-7410 (Print) / HU ISSN 2415-9751(Online) DOI: 10.17676

Lektorált cikk magyar nyelven

5. **Nagygal J.,** Tóth L. (2011): Termesztő berendezések energia- és klímajellemzői, Agrárium 20. évf. 2011/10. október 38-40. o.
6. **Nagygal J.,** Tóth L. (2014): Növényházaknál használható energiahordozók összehasonlító elemzése. Mezőgazdasági Technika, 12. 0sz. 2-5. o. http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_652/novenyhazaknal_hasznalható_energiahordozók_összehasonlító_emezese_14_12.pdf
7. **Nagygal J.,** Tóth L., Schrempf N. (2016): Energiaellátás, jelen és jövő Mezőgazdasági Technika Gödöllő, 2. sz., 2-6. o., Index: 25 569, HU ISSN 0026 1890, www.mgitech.hu
8. **Nagygal, J.,** Schrempf N., Tóth L. (2016): A geotermikus energia felhasználása kertészetekben Mezőgazdasági Technika Gödöllő, 5. sz., 2-6. o., Index: 25 569, HU ISSN 0026 1890, www.mgitech.hu
9. **Nagygal J.** (2007): A geotermikus energia hasznosítása a mezőgazdaságban. Agrárunió szaklap, VIII. évfolyam 4. szám, 28-29. o. ISSN: 1589-6846
10. **Nagygal J.,** Vas A. (2002): Hibrid hajtás mezőgazdasági erőgépeken. Mezőgazdasági Technika. 2002. 43. 5., 2-4. o.
11. **Nagygal J.** (2010): Nemzetgazdasági Minisztérium Új Széchenyi Terv, Termál Egészségipar fejezet, 56-59. o. http://www.polgariszemle.hu/app/data/szechenyiterv_vitairat.pdf

Idegen nyelvű konferencia kiadvány

12. **Nagygál, J.**(2005): Geotermische Energieversorgung in Ungarn. Ungarn – Nordrhein-Westfalen, Workshop über Erneubare Energien, 2005. Essen, pp. 12-18.
13. **Nagygál, J.**(2005): District Heating and Agriculture, Thermal water complex and direct use in Hungary. World Geothermal Congress, 2005, Antalya, pp. 34-36
14. **Nagygál, J.**(2007): Thermal water complex and direct use in Agriculture in Hungary. European Geothermal Congress, 2007. München-Unterhaching, pp. 34-35
15. **Nagygál, J.**:Experiences of the Geothermal Project in Szentes, Hungary, IGC 2014. Freiburg, pp. 16-17.
16. **Nagygál, J.** - Bálint, A. - Szanyi, J. – Kohl, T. (2014): Unexpected growing of formation pressure in an over-exploited porous aquifer. International Geotermal Association, Karlsruhe. pp. 134-135.
17. **Nagygál, J.** - Szanyi, J. - Kovacs, B. - Czinkota, I. – Bálint, A. (2015): Sustainability of Szentes Geotermal Field operations. “Groundwater risk assessment in urban areas ”2nd IAH-CEG Conference 2015, Constanta, Romania, pp.173-182.
18. **Nagygál, J.** (2015):Questions of thermal water utilization. Workshop of the research team „Geothermal And Renewable Energy” TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0011 Interdiszciplináris nemzetközi kutatói teamek létrehozása Békés megyében, Szarvas, 2015.10.14, pp. 111-114.
19. **Nagygál, J.** - Tóth, L. - Schrempf, N. – Bártfai, Z. (2015): Enhancing the effectiveness of thermal water consumption via heat pumping. SYNERGY 2015, SZIE GÉK, Gödöllő, pp. 14-17.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

20. **Nagygál, J.** (2008): A geotermikus energiahasznosítás fejlesztési lehetőségei, A megújuló energiaforrásokról a környezet tudatosság jegyében, A geotermia szakmapolitikai kérdései, 50 éves a geotermális energiaforrások hasznosítása. Magyarországon,1-12.o.
http://www2.sci.uszeged.hu/geotermika/eloadasok_081028/szentes_nagygal.pdf
21. **Nagygál, J.** – Szongoth, G. – Barcza, M. – Kiss, S.-.: Termálkutak állapotának változásai Szentes térségében geofizikai vizsgálatok alapján. Szegedi Tudományegyetem, Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, 2010. Szeged, 20-22. o. <http://www.geo-log.hu/uploads/docs/201005>

Egyéb kiadvány

22. **Nagygál, J.** (2016): Hagyományos és megújuló energiarendszerek. (Szerk. Tóth, L.), Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 181-192. o., ISBN 978-615-5224-70-6,
23. **Nagygál, J.** (2012): Alternatív energiaellátási rendszerek az agrárgazdaságban, (Szerk. Tóth, L.) Magyar Agrárkamara, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 208-215. o., ISBN 978-615-5224-22-5
24. **Nagygál, J.** – Barcza, M. – Kiss, S. – Szongoth, G. (2010): Termálkutak állapotának változásai Szentes térségében geofizikai mérések alapján. Pál-Molnár Elemér (Szerk.): Medencefejlődés és geológiai erőforrások, SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Geolitera, Szeged, 37-40. o., ISBN 978-963-306-016-2

M3. A termálenergia hazai szabályozása

A vízvédelmi jogszabályok környezetvédelmi célkitűzésként fogalmazzák meg, hogy a környezetvédelemről szóló 1995. évi LIII. törvényben (továbbiakban: Kvt). meghatározott időpontig (azaz 2015. XII. 22.-ig) el kell érni a vizek jó mennyiségi és minőségi állapotát.

1995. évi LIII. törvény 18.§ (1) bekezdés, 2003. évi CXX. Törvény 11. §, 219/2001 (VII. 21.) Korm. rendelet 4. § (4-5) bekezdés

Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Magyar Állami Földtani Intézet

A termálvízre vonatkozó hazai jogszabályi és hatósági keretrendszer három jól elkülöníthető ágazat adja: energetika, bányászat, környezet- és vízgazdálkodás. Azonban a jelenlegi jogszabályhalmaz az átlagpolgár és a hasznosítók számára is átláthatatlan, ellentmondásokkal, jöghézagokkal, szakmai pontatlanságokkal és ismétlésekkel terhelt.

Komoly akadályt jelent a földhöz feletti megosztott állami felügyelet és hatósági engedélyezési fórum. A közigazgatás egymással versengő, és csak részben egymást kiegészítő vízügyi és bányászati szabályozást hozott létre. Ezen jogszabályok az alábbiak:

Jogszabályok

A jelenleg hatályos jogszabályok, melyek az energetikai célú termálvíz hasznosítás vízjogi engedélyeztetését, valamint az engedély szakmai előírásait, követelményeit tartalmazzák:

- 1) a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény
- 2) a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény [a továbbiakban: 1995. évi LVII. törvény]
- 3) a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény [a továbbiakban: 1993. évi XLVIII. törvény]
- 4) a 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásáról szóló 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet
- 5) a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról szóló 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet]
- 6) a vízjogi engedélyezési eljáráshoz szükséges kérelemről és melléleteiről szóló 18/1996. (VI. 13.) KHVM rendelet [a továbbiakban: 18/1996.(VI. 13.) KHVM rendelet]
- 7) a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről szóló 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet [a továbbiakban 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet]
- 8) a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet]
- 9) a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet [a továbbiakban: 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet] –
- 10) 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségének védelméről
- 11) a termelt és szolgáltatott vizek gázmentesítéséről szóló 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet [a továbbiakban: 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet]
- 12) a vízkészletjárulék kiszámításáról szóló 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet [a továbbiakban: 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet]
- 13) a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól szóló 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet [a továbbiakban: 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet]

- 14) a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet [a továbbiakban: 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet]
- 15) a felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet]
- 16) a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól szóló 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet]
- 17) a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet]
- 18) a vízügyi és a vízvédelmi hatósági eljárások igazgatási szolgáltatási díjairól szóló 13/2015. (III. 31.) BM rendelet [a továbbiakba: 13/2015. (III. 31.) BM rendelet]
- 19) az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program adatgyűjtéseiről és adatátvételeiről szóló 288/2009. (XII. 15.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 288/2009. (XII. 15.) Korm. rendelet]
- 20) az ásványi nyersanyag és a geotermikus energia természetes előfordulási területének komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatáról szóló 103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet]
- 21) 1002/2012. (I. 11.) Korm. határozat a mezőgazdasági termelés területén energiahasznosítás céljából kitermelt termálvíz visszatáplálására vonatkozó kötelezettség felfüggesztéséről

Jogszabályi értelmezések

A fenti jogszabályokhoz hozzáadódik továbbá a megkeresendő szakhatóságok állásfoglalásaihoz kapcsolódó jogszabályi háttér halmaz, illetve a szakhatóságok hozzájárulásának szakmai követelményei, valamint előírásai.

1993. évi XLVIII. „Törvény a bányászatról”,- foglalja magába a geotermikus energia kutatásának, kinyerésének és hasznosításának szabályait. Tudni kell, hogy az ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia természetes előfordulási helyükön állami tulajdonban vannak, de a bányavállalkozó által kitermelt ásványi nyersanyag a kitermeléssel és utána energetikai célokra kinyert geotermikus energia, a hasznosítással, a bányavállalkozó tulajdonába megy át.[3. § (1)]

A geotermikus energia kinyerését és hasznosítását, valamint az ehhez szükséges – külön jogszabályban meghatározott – földalatti és felszíni létesítmények megépítését és használatba vételét, ha a tevékenység nem vízjogi engedély köteles a bányafelügyelet engedélyezi. [5. § (1) g)]

A mostani jogszabályok értelmében a kitermelt ásványi nyersanyag és geotermikus energia után az államot részesedés, bányajáradék illeti meg, ezt a 20. § részletezi. Érdekesség képen említem meg, hogy nem kell bányajáradékot fizetni a 30 °C-ot el nem érő energiahordozóból kinyert geotermikus energia után, valamint a kitermelt geotermikus energia 50%-ot meghaladóan hasznosított mennyisége után. Zárt területen a geotermikus energia kutatásának, kinyerésének és hasznosításának engedélyezésére a szénhidrogén-bányászat engedélyezésére vonatkozó sajátos szabályokat kell megfelelően alkalmazni. A geotermikus energiát kinyerni a földkéregből csak az e célra elhatárolt részből (geotermikus védőidom) szabad. A geotermikus védőidomot a bányafelügyelet jelöli ki. Nyílt területen a geotermikus energia kinyerése és hasznosítása nem vízjogi engedély köteles akkor bányafelügyelet hatáskörébe tartozó, építményfajtákra vonatkozó külön jogszabályi rendelkezéseit kell alkalmazni. A természetes felszíntől mért 20 méteres mélységet el nem érő földkéregből történő geotermikus energia kinyerés és hasznosítás nem engedélyköteles. Ez a rendelkezés nem mentesíti a tevékenységet végzőt a más jogszabályban előírt engedélyek megszerzése alól. [22/B.§]

A környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény célja elősegíteni a természeti erőforrások megőrzését, fenntartását, az azokkal való ésszerű takarékos és az erőforrások megújulását biztosító gazdálkodást (1. §). Természeti erőforrás: a – mesterséges környezet kivételével – társadalmi szükségletek kielégítésére felhasználható környezeti elemek vagy azok egyes összetevői. A föld védelme kiterjed a föld felszínére és a felszín alatti rétegeire, a talajra, a kőzetekre és az ásványokra, ezek természetes és átmeneti formáira és folyamataira (14. §). A víz védelme kiterjed a felszíni és felszín alatti vizekre, azok készleteire, minőségére és mennyiségére, a felszíni vizek medrére és partjára, a víztartó képződményekre és azok fedőrétegeire, valamint a vízzel kapcsolatosan megkülönböztetett védelem alatt álló területekre (18. §).

A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény 15. § (3) rendelkezik arról, hogy az ásvány-, gyógy- és termálvizek felhasználásánál előnyben kell részesíteni a gyógyászati, gyógyüdülési használatot. A kizárólag energia hasznosítás céljából kitermelt termálvizet – külön jogszabályban megfogalmazottak szerint – vissza kell táplálni.

A hazai szabályozás ellentétes az Európai Unió Víz Keretirányelvében megfogalmazottakkal. A VKI nem kötelező jelleggel írja elő a visszasajtolást, hanem éppen ellenkezőleg, feltételes módban fogalmaz, és úgy rendelkezik, hogy a víz visszasajtolása engedélyezhető.

A vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokat a 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet foglalja magába.

A felszín alatti víz energetikai célú kitermelése, fűtés, hűtés vagy elektromos energiahasznosítás céljából, annak hőmérsékletétől függetlenül lehetséges.(2.§)

A kizárólag energetikai célú kitermelést úgy kell tervezni, telepíteni, kialakítani és üzemeltetni, hogy hatásuk ne érintse károsan a források és a karsztforrások hozamát és hőmérsékletét. A felszín alatti vizet a hasznosítást követően ugyanazon vízadó rétegbe kell visszatáplálni.

A termálvíz gyógyászati, egyéb egészségügyi, továbbá ivóvíz, ásványvíz, fürdővíz, használati melegvíz, hőellátási és villamosenergia-előállításra célra hasznosítható. A termálvíz-hasznosítás tervezésénél a többcélú, ismételt és víztakarékos felhasználásra kell törekedni. Vizsgálni kell az esetleges kísérő gázok hasznosításának lehetőségét is. Termálvízmű telepítésekor a hasznosításból kikerülő termálvizek ártalommentes elvezetéséről, elhelyezéséről, különösen visszatáplálásáról gondoskodni kell. A termálvízkút telepítése során a felszíni befogadó kiválasztásánál a környezetvédelmi szempontok mellett a vízkészlet-utánpótlási viszonyokat is figyelembe kell venni. A használati melegvíz ellátás céljából kitermelt termálvizet házi vízelosztó rendszerbe csak akkor lehet vezetni, ha az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló kormányrendeletben meghatározott minőségi követelményeknek megfelel.(10.§)

A törvény alapján a visszatáplálási kötelezettség alól a kizárólag energia hasznosítás céljából termálvizet kitermelő vízjogi engedélyes

a) a vízgyűjtő-gazdálkodási tervekben gyenge vagy romló mennyiségi állapotúnak minősített víztestek esetében legkésőbb 2014. december 22. napjáig,

b) a vízgyűjtő-gazdálkodási tervekben jó mennyiségi állapotúnak minősített víztestek esetében legkésőbb 2020. december 22. napjáig mentesül. (15. §)

Az Árpád-Agrár Zrt. termálkútjainak mérési menete

Szentés:

V/2	2009.09.22.	DH,TL,GR
V/1	2009.09.23.	DH,TL,GR
V/2	2009.09.24.	medd□ kivonulás
V/2	2009.09.25.	TL/FLOW,TL,OPT,RM/Pgrad/Prise/REF/KAP/G
V/1	2009.09.30.	TL/Pgrad/Prise/REF/KAP
VII/2	2009.10.01.	DH,TL,GR
VII/2	2009.10.13.	FLOW,TL,OPT,RM/Pgrad/Prise/REF/KAP
VII/1	2009.10.14.	DH,TL,GR
VII/1	2009.10.20.	FLOW,TL,OPT,RM/Pgrad/Prise/REF/KAP/G
VII/3	2009.10.21.	DH,TL,GR
VII/3	2009.10.27.	FLOW,TL,OPT,RM/Pgrad/Prise/REF/KAP
Tartós kútvizs. V/1	2009.11.05	LMG telepítés
Tartós kútvizs. V/1	2010.02.25.	LMG kiolvasás / G
VII/2	2010.03.25.	G
V/2	2010.03.25.	G
VI/2	2010.03.26.	G
VII/3	2010.03.29.	G
III	2010.03.29.	G
I	2010.03.30.	G
II	2010.03.30.	G
AL/I	2010.04.01.	G
VIII	2010.04.13.	DH,TL,GR
VI/1	2010.04.19.	DH,TL,GR
VIII	2010.04.20.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise/G
VI/2	2010.04.26.	DH,TL,GR
VI/1	2010.04.27.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise
VI/2	2010.04.29.	DH,TL,GR
VI/2	2010.05.04.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise
III	2010.05.05.	DH,TL,GR
III	2010.05.11.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise
Tartós kútvizs. V/1	2010.05.11.	LMG kiolvasás
II	2010.05.13.	DH,TL,GR
II	2010.05.18.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise
I	2010.05.31.	DH,TL,GR
I	2010.06.02.	FLOW,TL,OPT,RM/REF/KAP/Pgrad/Prise
IV	2010.06.09.	DH,TL,GR
IV	2010.06.16.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
AL/II	2010.08.03.	DH,TL,GR
AL/I	2010.08.06.	DH,TL,GR
AL/I	2010.08.12.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
Tartós kútvizs. V/1	2010.08.12.	LMG kiolvasás
Egymásrahatás VII/2	2010.08.25.	LMG telepítés
Egymásrahatás VII/1,VII/3	2010.08.31.	LMG telepítés
Egymásrahatás VII/3	2010.09.14.	Q,H,T kiolvasás
Egymásrahatás VII/1,VII/2	2010.10.06.	LMG kiépítés

Egymásrahatás VII/3	2010.10.19.	LMG mentés
Tartós kútvizsgálat V/1	2010.11.10.	LMG kiolvasás,telepítés
AL/II	2010.11.18.	DH,TL,GR
AL/II	2010.11.25.	REF/KAP/Prise/Pgrad
VIII	2011.11.29.	G
VII/1	2010.11.30.	G
IV	2010.12.01.	G
Tartós kútvizsgálat V/1	2011.02.11.	LMG kiolvasás, 1250m-be telepítés
Tartós kútvizsgálat V/1	2011.04.19.	LMG kiolvasás
VI/1	2011.06.02.	G
VIII	2011.11.29.	G
AL/II	2011.11.30.	G

Szegvár:

I	2010.03.31	G
III	2010.03.31	G
III	2010.06.18.	DH,TL,GR
III	2010.06.23.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
II	2010.06.25.	DH,TL,GR
II	2010.06.30.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
VI	2010.07.05.	DH,TL,GR
VI	2010.07.07.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
IV	2010.07.12.	DH,TL,GR
IV	2010.07.14.	FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
V	2010.07.27.	DH,TL,GR/FLOW,TL,RM,OPT/REF/KAP/Prise/Pgrad
I	2010.08.17.	DH,TL,GR
I	2010.08.23.	FLOW,TL/REF/KAP/Prise/Pgrad
IV	2011.06.03.	G
II	2011.06.06.	G
VI	2011.06.07.	G
V	2011.12.01.	G

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Tóth László professzor úrnak a kutatómunkám végzéséhez szükséges feltételek, valamint a tudományos fórumokon való publikálási lehetőségek biztosítását, a biztatását és a szakmai segítséget.

Köszönöm a segítségét néhai Dr. Vas Attila professzor úrnak, előző témavezetőmnek, hogy elindított egy úton, biztatott, formálta a szemléletemet.

Köszönöm Dr. Csikai Miklósnak, az Árpád-Agrár Zrt. elnök-vezérigazgatójának, hogy lehetővé tette hogy munkám mellett kutatással is foglalkozhassak, ehhez az adatokat, a termálkutakat és az erőforrásokat biztosította.

Köszönöm Dr. Szanyi Jánosnak, a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék tudományos főmunkatársának a szakmai kérdéseim megválaszolását és segítségét a földtani adatok feldolgozásában.

Köszönöm a segítségét Bitay Endrének, a Vikuv Zrt. vezérigazgatójának, Szita Gábornak, a Porció Kft. ügyvezetőjének, valamint Szongoth Gábornak, a GeoLog Kft. ügyvezetőjének, hogy a termálkutak mérése és javítása során oly hasznos szakmai tanácsokkal láttak el.

Kiemelten köszönöm családom, barátaim és munkatársaim támogatását és mindenkori segítségét, türelmét.

Köszönetemet fejezem ki mindazok felé, akiket név szerint nem említettem meg, de valamilyen módon hozzájárultak e munka létrejöttéhez.

Szentes, 2016.06.12

Nagygál János